



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM-Estelí

Respuestas morfológicas de especies leñosas forrajeras a defoliación y estrés hídrico en el norte del trópico seco nicaragüense

Trabajo monográfico para optar

Al grado de

Ingeniero Ambiental

Autores

- **Madelyn Patricia Centeno Cruz**
- **Boanerge Concepción Pérez Ramírez**
- **Franci Stefani Palma Huete**

Tutora

- **MSc. Verónica Lisbeth Ruiz**

Asesores

- **MSc. Oscar Rafael Lanuza**
- **MSc. Kenny López Benavides**



Tabla de contenido

RESUMEN	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. OBJETIVOS	10
2.1. General	10
2.2. Específicos	10
III. MARCO TEÓRICO	11
3.1. Características generales de tres especies leñosas forrajeras.	11
3.1.1. Definición de especies forrajeras.....	11
3.1.2. Principales especies leñosas forrajeras:	11
3.2. Morfología	14
3.2.1. Fisiología Vegetal.....	14
3.3. Sequía.....	15
3.4. Tipos de sequía	15
3.4.1. Sequía meteorológica:	15
3.4.2. Sequía hidrológica:	15
3.4.3. Sequía agrícola o hidroedáfica:	16
3.4.4. Sequía socioeconómica:	16
3.5. Estrés hídrico	16
3.6. Estrés hídrico en las plantas.....	16
3.7. Crecimiento y distribución de biomasa en condiciones de estrés hídrico	17
3.8. Respuestas de las plantas al estrés por déficit hídrico	18
3.9. Herbivoría	¡Error! Marcador no definido.
3.10. Tipos de herbivoría.....	19
3.11. Algunos mecanismos de resistencia contra la herbivoría:.....	19
IV. HIPOTESIS	20
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
5.1. Área de estudio	21
5.2. Tipo de estudio.....	21
5.3. Diseño experimental	22

5.4.	Matriz de operacionalización de variables e indicadores.	24
5.5.	Etapas generales del proceso de investigación	25
5.5.1.	Etapa de gabinete:.....	25
5.5.2.	Etapa de campo:.....	25
5.5.3.	Etapa de laboratorio:.....	28
5.5.4.	Etapa de gabinete:.....	28
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
6.1.	Comparación del crecimiento y diámetro entre las tres especies leñosas forrajeras. 29	
6.2.	Producción total de biomasa seca aérea y radical de tres especies leñosas forrajeras. 31	
6.3.	Producción de peso seco total	34
6.4.	Relacionar el peso seco de raíz respecto al peso seco total de tres especies leñosas forrajeras.	35
VII.	CONCLUSIONES	36
VIII.	RECOMENDACIONES	36
IX.	BIBLIOGRAFÍA	37
X.	ANEXOS	39

DEDICATORIA

Br. Franci Stefani Palma Huete

Dedico este trabajo principalmente a mi madre, por haber sido y ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias. A mi padre, quien siempre mostró paciencia y entrega conmigo cuando necesite su apoyo, por siempre estar dispuesto a cualquier cosa por ayudarme y seguir con mis estudios. A mi amado hermano que también forma parte importante en mi vida y mi formación profesional. A mi tía Teresa, a quien aprecio mucho, por abrirme las puertas de su casa y criarme como una hija durante estos 5 años de estudio y por estar dispuesta a ayudarme en cualquier momento.

A mi abuela y demás familiares que directa e indirectamente me brindaron su ayuda para realizar mis estudios y no carecer de nada a mis compañeros y amigos Jorge, Hanier y Delver quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas en cualquier momento y a todos aquellos que durante el trabajo y el periodo de clase estuvieron a mi lado y me ayudaron a ser mejor persona y lograr mi objetivo.

Br. Madelyn Patricia Centeno Cruz

Esta tesis se la dedico a mi Dios quien supo guiarme por el buen camino darme fuerzas para salir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban enseñando a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy, para mis padres y mis tíos por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, por ayudarme en los recursos necesarios para estudiar y para cada uno de mis maestros que nos instruyeron para que el día de hoy pueda realizarme como profesional, por la paciencia y dedicación que tuvieron para compartir sus conocimientos. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Gracias también a mis queridos compañeros que me apoyaron y me permitieron entrar a su vida durante estos 5 años de convivir como familia dentro del salón de clases.

Br. Boanerge Concepción Pérez Ramírez

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijos, son los mejores padres.

A nuestros hermanos por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestra vida.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

Dios tu amor y tu bondad no tienen fin, nos permites sonreír ante todos nuestros logros que son resultado de tu ayuda, y cuando caemos y nos pones a prueba, aprendemos de nuestros errores y nos damos cuenta de todo lo que tú pones en nuestro camino para que mejoremos como seres humanos, y crezcamos de diversas maneras.

Este trabajo de tesis ha sido una gran bendición en todo sentido y agradecemos a Dios ya que no cesan nuestras ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.

Son muchas las personas que han contribuido al proceso y la conclusión de este trabajo, gracias a nuestra universidad por habernos permitido formarnos en ella. Gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes ya que fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de nuestro paso por la universidad.

Queremos agradecer a nuestra tutora de tesis MSc. Verónica Lisbeth Ruiz que nos apoyó de manera personal e institucional y nos alentó para que concluyéramos esta investigación, sin dejar atrás nuestros maestros guías MSc. Kenny López Benavides y MSc. Oscar Rafael Lanuza por el apoyo que nos brindaron en el transcurso de esta investigación desde la redacción hasta el análisis de los resultados.

Finalmente pero no menos importante gracias a nuestros padres, que fueron nuestros mayores promotores durante este proceso.

RESUMEN

Los sistemas sílvopastoriles son una alternativa para la conservación de la biodiversidad y captación de carbono. El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta de caracteres morfológicos de especies leñosas forrajeras nativas: *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. *Gliricidia sepium* Jacq. Kunth ex Walp y una especie foránea *Moringa oleífera* Lam. Se utilizó un diseño factorial que cruzo la disponibilidad de agua (con estrés, sin estrés) con defoliación (corte, sin corte) siguiendo un Diseño Completamente al Azar (4 tratamientos * 3 especies * 3 repeticiones * 10 plántulas para un total de 360 plántulas). La altura y diámetro se midió cada 30 días durante 3 meses, y el peso fresco y seco al finalizar el experimento. El análisis de varianza indico que, la altura entre especies vario por efecto de la defoliación y el estrés ($p < 0.001$), sin defoliación *G.sepium* fue la especie con mayor altura (32.18 ± 0.98), y con estrés, *M. oleífera* y *G.sepium* fueron las especies con mayor altura (30.63 ± 0.98 y 28.82 ± 0.98 respectivamente). De igual manera, sin corte y sin estrés *G.sepium* fue la especie con mayor diámetro (6.79 ± 0.15 y 6.05 ± 0.14). *G. sepium* (sin corte y sin estrés) también fue la especie con mayor producción de biomasa seca total, en comparación con las otras dos especies ($p < 0.001$). Por último, *G. sepium* fue la especie con la menor relación de peso seco de raíz respecto al total ($p = 0.0125$). *G. sepium* es la especie que mejor tolera la defoliación y el estrés hídrico por lo tanto consideramos que es una especie clave en el funcionamiento de los sistemas sílvopastoriles en el trópico seco.

Palabras claves: *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium* y *Moringa oleífera*, biomasa y estrés hídrico.

I. INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales que limitan el crecimiento de las plantas también limitan su productividad por tanto, afectan el bienestar de la población humana, no solo en lo que refiere a la calidad y cantidad de alimentos sino también la calidad del medio ambiente.

Una de las estrategias para contribuir a la solución de esta problemática es implementar sistemas de mejoramiento dirigidos a la obtención de cultivos forestales y agrícolas que presenten mayor adaptación a condiciones ambientales que imponen una limitación de agua e implementarlos tanto en sistemas sílvopastoriles como agroforestales y que presenten un mejor desarrollo en cualquier zona.

Por ello que es importante que se conozca cuáles son las especies leñosas forrajeras que muestren mejor adaptación a los factores limitantes estresores como; la falta o disponibilidad de agua y la defoliación que impidan el desarrollo normal de estas en épocas de sequía.

Sin dejar atrás que existen otros estudios enmarcados en el estudio de las respuestas morfológicas de las plantas en ambientes de estrés por lo tanto se tomaran en cuenta para enriquecer nuestra investigación en parámetros morfológicos, ante el estrés hídrico, modelación del crecimiento, acumulación de biomasa entre ellos:

Efecto de la poda y fertilización orgánica en *M. oleifera* Lam. En la región centro de Veracruz, México, donde se evaluó el efecto de la fertilización orgánica y la poda sobre el crecimiento vegetativo de *M. oleifera*, durante 20 semanas se monitorearon plantas provenientes de semillas, de cuatro años de edad. Los resultados indicaron que existe una diferencia significativa ($P=0.03$) en el contenido de clorofila, siendo mayor en el tratamiento de la lombricomposta. En las demás variables no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($P<0.05$). (Gabina Sol Quintas, 2016)

Efectos de la fuente de nitrógeno y la defoliación sobre el crecimiento y la fijación biológica de di nitrógenos de las plántulas de *G. sepium*, con el objetivo de ver los efectos de cuatro fuentes de N y dos tratamientos de defoliación sobre el crecimiento y la actividad de la nitrogenasa de *G. sepium* en condiciones de invernadero. La actividad de la nitrogenasa de las plántulas parcialmente defoliadas fue sólo el 87% del valor de la pre-exfoliación. La actividad de la nitrogenasa se correlacionó fuertemente con el crecimiento del follaje en las plántulas completamente defoliadas, pero no en las plántulas parcialmente deshojadas. (Pekka Nygren, 1998)

Efectos del estrés por sequía y micorrizas arbusculares en el crecimiento de *G. sepium* (Jacq.) Walp y *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. En condiciones simuladas de suelo erosionado, para determinar el efecto de la micorriza arbuscular y la sequía en el crecimiento de dos árboles de leguminosas de seto tropicales. La actividad fijadora de N de *Gliricidia sepium* se benefició de la inoculación de *Glomus deserticola*, mientras que la de *L. leucocephala* no se vio afectada significativamente en la capa superior del suelo. La

colonización micorrízica se redujo para ambas especies de árboles en el subsuelo en comparación con la capa superior del suelo, mientras que se incrementó significativamente para ambas especies en el subsuelo en comparación con la contraparte del subsuelo no inoculado. (O.Fagbola, 2001)

La investigación tiene como objeto de estudio Evaluar la respuesta de caracteres morfológicos de especies leñosas forrajeras nativas: Madero negro (*G. sepium*) y Guanacaste (*E. cyclocarpum*) y una especie foránea Marango (*M. oleifera*), sometidas a defoliación y estrés hídrico para que se han consideradas en el diseño de sistemas pastoriles, agrícolas e incluso forestales, conocer las especies forestales con mejor adaptación y resistencia a las sequías estacionarias que se presentan por periodos largos en el país y trópico seco, para reconocer la importancia de estas especies en los sistemas sílvopastoriles y agroforestales, ya que no solamente sirven para aportar nutrientes como alimento a los animales que están dentro del sistema, de igual forma que sirvan como conectividad funcional y estructural en el bosque.

La presencia de leñosas perennes en sistemas ganaderos puede contribuir de manera directa a la productividad del sistema, regulando o contrarrestando la intensidad de factores climáticos adversos para el animal e indirectamente creando un micro clima que favorece el crecimiento y la calidad de las pasturas que los animales consumen y para los cultivos que se puedan establecer dentro del sistema (Ibrahim, 1999) de todas las especies leñosas que se introducen en los sistemas de producción se escogieron estas tres (*E.cyclocarpum*), (*G. sepium*) y (*M. oleifera*) porque son las que más se usan en el campo tanto para alimento del ganado como para obras de conservación, por lo tanto se decidió realizar una investigación para conocer el efecto de la defoliación y estrés hídrico sobre el crecimiento de plántulas de especies arbóreas en el norte del trópico seco nicaragüense.

Los resultados de esta investigación ofrecen herramientas que pueden facilitar la toma de decisiones para el establecimiento de sistemas productivos que involucren poblaciones de árboles de la especie objeto de evaluación, para que sea utilizado en el desarrollo forestal y agroforestal del país.

II. OBJETIVOS

2.1. General

2.1.1. Evaluar la respuesta de caracteres morfológicos de especies leñosas forrajeras nativas: *Gliricidia sepium* y *Enterolobium cyclocarpum* y una especie foránea *Moringa oleifera*, sometidas a defoliación y estrés hídrico para que se han consideradas en el diseño de sistemas pastoriles.

2.2. Específicos

2.2.1. Comparar el altura y diametro entre las tres especies leñosas forrajeras con respecto a los tratamientos.

2.2.2. Calcular la producción de biomasa aérea y radical de especies leñosas forrajeras nativas: (*G. sepium*) y (*E. cyclocarpum*) y una especie foránea (*M. oleifera*)

2.2.3. Relacionar el peso seco de raíz respecto al peso seco total de tres especies leñosas forrajeras.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Características generales de tres especies leñosas forrajeras.

3.1.1. Definición de especies forrajeras

Las plantas forrajeras, son plantas, arbustos o árboles que forman parte de la vegetación natural o han sido introducidos por el hombre y que los animales consumen como parte de su dieta. Se distinguen de los pastos en que casi nunca están como cultivos solos, sino mezclados con otras plantas con los mismos pastos, las plantas forrajeras constituyen comúnmente el principal recurso utilizado en la alimentación de rumiantes (bovinos, ovinos y caprinos), ya que poseen el aparato digestivo adecuado para su consumo.

Estas plantas tiene varias características importantes de mencionar tales como:

- Producen abundante cantidad de hojas.
- Permanecen verdes durante el verano.
- Sus hojas son ricas en compuestos nutritivos para los animales.
- Algunas producen frutos que son de alto valor nutritivo.
- Se reproducen fácilmente.
- Permanecen por muchos años en los potreros.

3.1.2. Principales especies leñosas forrajeras:

- **MADERO NEGRO** (*Gliricidia sepium* Jacq. Kunth ex Walp)

Esta especie pertenece a la familia *fabaceae* su nombre científico *Gliricidia sepium* conocida también como madre cacao, madero, mata ratón, palo de hierro, michiguiste (Nicaragua) es una especie nativa de América, se extiende desde México centro América hasta Suramérica. Se ha naturalizado en Colombia Guayanas y las antias. En su habitat se le encuentra en lugares con precipitaciones de 900 a 1500 mm anuales y cinco meses de estación seca. Puede crecer en lugares con precipitaciones menores de 500 a 600 mm al año, también se ha presentado en lugares húmedos hasta n 1500 mm al año, se encuentra en un rango de temperatura de 22 a 30 C. Crece bien en suelo seco y húmedo incluso en suelos que tiene gran concentración de calcárea.(Marena/Inafor, 2002)



Se utiliza en sistemas agroforestales como: árboles para sombra permanente de café, para soporte de pimienta negra y ñame, cercas vivas, cortinas rompe vientos, bancos proteicos, cultivos en callejones y otros. Especialmente este último sistema ha mostrado que entre las bondades de la especie está la de permitir la recuperación de suelos degradados a través de la adición de un mantillo beneficioso. Además, es una excelente fijadora de nitrógeno.

Características sobresalientes.

Esta especie de uso múltiple es importante por su capacidad de fijar Nitrógeno, lo cual la convierte en favorita para la recuperación de suelos degradados. La adaptabilidad a diferentes condiciones adversas, la resistencia a períodos prolongados de sequía y la capacidad de prosperar en suelos relativamente pobres, hacen del Madero Negro una opción inevitable en la escogencia de especies para zonas difíciles que cumplan con sus requerimientos ambientales. Asimismo, es una de las más recomendadas y utilizadas en los sistemas agroforestales. La madera de esta especie sirve para construcciones pesadas, postes, mangos de herramientas, artículos de artesanía, implementos agrícolas. Es excelente para leña y protección y restauración de suelos por ser fijador de Nitrógeno; producción de forraje y abonos verdes. También es muy usado como prendón para cercas vivas y como tutor para cultivos de enramada como la uva, granadilla, paste, pitahaya, etc.

➤ **GUANACASTE** (*Enterolobium cyclocarpum* Jacq.) Griseb.

Esta especie pertenece a la familia *mimosaceae* su nombre científico: *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. Se conoce por su nombre común, Guanacaste de Oreja y por otros como Guanacaste Negro, Choreja, Guanacaste, Orejón y Oreja este es originario de zonas cálidas semihúmedas con estación seca prolongada. Se da bien en zonas húmedas como Rio San Juan y Nueva Guinea, se encuentra en precipitaciones de 760 a 3,000 mm anuales con una estancia seca mínima de dos a cuatro meses. Se puede encontrar en suelos de textura arenosa, franco-arenosa y arcillosa, con ph neutro o ácido.(Marena/Inafor, 2002).



Fenología

Follaje. Caducifolio. Los árboles pierden sus hojas cuando fructifican, de febrero a abril. Floración. Florece de febrero a junio. En Chamela, Jalisco, florece de abril a mayo. Fructificación. Los frutos maduran durante abril y julio. Polinización. Entomófila. La polinización es llevada a cabo por palomillas y abejorros pequeños de actividad nocturna.

Descripción

Árbol hasta de 30 m. de altura y hasta 3 m. de diámetro a la altura del pecho. Fuste cilíndrico con pequeñas gambas, copa muy grande y extendida. Corteza lisa a ligeramente fisurada color gris claro a parduzco con lenticelas elípticas suberizadas de 0.5 a 1cm. Hojas compuestas, bipinadas, alternas con cinco a 15 pares de pinas y cada pina con 20 a 30 pares de hojuelas. Inflorescencia en cabezuelas axilares con flores pequeñas, sésiles color blancuzco a verde claro con numerosos estambres. Frutos en vainas enroscadas, leñosas, lustrosas, indehiscentes de color café claro a oscuro cuando maduras, asemejándose a la forma de una oreja humana y con diez a 15 semillas ovoideas y aplanadas. El nombre Guanacaste proviene del náhuatl y significa “árbol de las orejas”. *Enterolobium cyclocarpum* es una especie nativa tradicionalmente apreciada por los campesinos por ser un árbol de múltiples usos con importante potencial forrajero y maderero. Al igual que el Genízaro *Albizia saman*, es un árbol de buen porte, apreciable belleza y aspecto majestuoso, plantado en parques, calles, avenidas y también muy conocido por la población urbana.

➤ **MARANGO** (*Moringa oleifera* Lam)

El Marango pertenece a la familia de *moringaceae* se conoce por el nombre común de Marango, Moringa, Paraíso, Paraíso Blanco en Centroamérica su nombre científico es el *Moringa oleifera* Lam. es originario del sur de Himalaya, noreste de India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán. En América latina y Centroamérica fue introducido y naturalizado en los años 20 siglo XX como árbol ornamental, cerca viva y cortina rompe viento, se encuentra en zonas con temperaturas de 6 a 38°C. Es resistente al frío por corto tiempo pero no menos de 2 a 3°C. Se puede plantar en sitios con precipitaciones de 500 a 1500 mm, se localiza desde el nivel del mar hasta 1,800 sobre el nivel del mar; no obstante se desarrolla en la época seca, en la cual también existen menos peligros de pudrición de los frutos. Es una especie adaptada a una gran variedad de suelos. (Marena/Inafor, 2002)



Características sobresalientes

Además de ser un excelente poste vivo o prendedizo, esta especie tiene una característica especial que consiste en que es rico en néctar y polen y es una planta melífera por excelencia. También es alimento humano y planta medicinal. Como suplemento proteínico (la torta de semilla contiene un 60% de proteína y la semilla entre el 32 y el 40% de grasa) para raciones de ganado vacuno y ovino es un elemento esencial para la alimentación en época seca. El aceite industrial que se extrae de su semilla es de gran utilidad en la industria de maquinarias finas, además de ser utilizado en la industria de pinturas para textiles. Asimismo es útil en la industria de pulpas y jugos para flocular y sedimentar fibras y en la industria cervecera para la sedimentación de levaduras eliminando la turbidez y dándole brillo a la bebida.

3.2. Morfología

La morfología es una ciencia que describe las características de las plantas en este caso, y estos caracteres en la actualidad han sido la base fundamental para ser usados en otras disciplinas de la botánica moderna como son la taxonomía numérica (Schlee, Sneath, Sokal, & Freeman, 1975), la cladística o fenética, relaciones filogenéticas basadas en morfología y secuencia de *rbcL* o DNA.

La **morfología** vegetal estudia la *estructura externa*; es decir, los **órganos** que componen el cuerpo de la planta (hojas, tallos, raíces, etc.) es una de las bases de la botánica y tiene por objeto estudiar y documentar formas y estructuras de las plantas. Es utilizada entre otras cosas, en el auxilio a la clasificación de las plantas (también conocido como sistemáticas) y en la fisiología vegetal.

Las plantas nos ofrecen una gran infinidad de formas particulares y el objetivo de la morfología es comparar, lo que significa que el especialista examina estructuras en diversas plantas de la misma o de diferentes especies y enseguida, hace comparaciones y formula ideas sobre las semejanzas.

3.2.1. Fisiología Vegetal

La fisiología vegetal es la ciencia que estudia los fenómenos vitales de los organismos vegetales vivos. El estudio de las plantas puede abordarse bajo diferentes puntos de vista y esto ha originado una serie de ramas de la Botánica como son la Anatomía, la Morfología, la Genética, la Patología, y naturalmente la Fisiología. La Fisiología Vegetal como toda ciencia se basa en la premisa fundamental de que los fenómenos naturales resultan de la relación entre causa y efecto. Un suceso ocurre a causa de otros hechos anteriores que son las causas; que si se repiten bajo las mismas condiciones producirán los mismos resultados que son los efectos. (Taiz & Zeiger, 2004)

3.3. Sequía

La sequía se define como déficit de lluvias durante un período de tiempo prolongado –una temporada, un año o varios años– en relación con la media estadística multianual de la región en cuestión. La falta de lluvia da lugar a un suministro insuficiente de agua para las plantas, los animales y los seres humanos. Por su parte, la sequía puede resultar en otros desastres: inseguridad alimentaria, hambrunas, malnutrición, epidemias y desplazamiento de poblaciones.

3.4. Tipos de sequía

3.4.1. Sequía meteorológica:

Se dice que se está en sequía meteorológica cuando se produce una escasez continuada de las precipitaciones. Es la sequía que da origen a los restantes tipos de sequía y normalmente suele afectar a zonas de gran extensión. El origen de la escasez de precipitaciones está relacionado con el comportamiento global del sistema océano-atmósfera, donde influyen tanto factores naturales como factores antrópicos, como la deforestación o el incremento de los gases de efecto invernadero. (Tipos de sequía, s.f.)

La definición de sequía meteorológica está vinculada a una región específica, ya que las condiciones atmosféricas que producen déficit de precipitación son muy variables de una región a otra. Además este tipo de sequía también puede implicar temperaturas más altas, vientos de fuerte intensidad, humedad relativa baja, incremento de la evapotranspiración, menor cobertura de nubes y mayor insolación; todo ello puede traducirse finalmente en reducciones en las tasas de infiltración, menor escurrimiento, reducción en la percolación profunda y menor recarga de las aguas subterráneas. En muchos casos el indicador primario de disponibilidad de agua es la precipitación.

3.4.2. Sequía hidrológica:

Puede definirse como aquella relacionada con periodos de caudales circulantes por los cursos de agua o de volúmenes embalsados por debajo de lo normal. Una definición más precisa sería la disminución en las disponibilidades de aguas superficiales y subterráneas en un sistema de gestión durante un plazo temporal dado, respecto a los valores medios, que puede impedir cubrir las demandas de agua al cien por cien.

A diferencia de la sequía agrícola, que tiene lugar poco tiempo después de la meteorológica, la sequía hidrológica puede demorarse durante meses o algún año desde el inicio de la escasez pluviométrica o si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegar a manifestarse.

3.4.3. Sequía agrícola o hidroedáfica:

Puede definirse como déficit de humedad en la zona radicular para satisfacer las necesidades de un cultivo en un lugar en una época determinada. Dado que la cantidad de agua es diferente para cada cultivo, e incluso puede variar a lo largo del crecimiento de una misma planta, no es posible establecer umbrales de sequía agrícola válidos ni tan siquiera para un área geográfica. En zonas de cultivos de secano va ligada a la sequía meteorológica con un pequeño desfase temporal dependiente de la capacidad de retención de humedad del suelo edáfico. En zonas irrigadas la sequía agrícola está más vinculada a la sequía hidrológica.

3.4.4. Sequía socioeconómica:

Entendida como afección de la escasez de agua a las personas y a la actividad económica como consecuencia de la sequía. Para hablar de sequía socioeconómica no es necesario que se produzca una restricción del suministro de agua, sino que basta con que algún sector económico se vea afectado por la escasez hídrica con consecuencias económicas desfavorables. La creciente presión de la actividad humana sobre el recurso agua hace que cada vez sea mayor la incidencia de la sequía socioeconómica, con pérdidas económicas crecientes.

3.5. Estrés hídrico

El estrés hídrico es una de las principales causas de muerte en plantas, ocurre cuando la transpiración excede el agua absorbida por las raíces. Este tipo de estrés por sequía se conoce como sequía hidroedáfica o agrícola y no hay que confundirla con aridez, algo intrínseco a una región y por lo tanto dependiente del clima, a diferencia del estrés por sequía que se considera un episodio es una de las limitaciones ambientales que afecta principalmente la distribución de las especies vegetales y su desarrollo. Los efectos del estrés hídrico sobre la fisiología de las plantas varían en función de la especie y su grado de tolerancia al fenómeno, y también en función de la magnitud de la falta de agua y de la rapidez con la que experimenta la carencia de ella. (Luna-Flores, Estrada-Medina, Jiménez-Osornio, & Pinzón-López, 2012)

3.6. Estrés hídrico en las plantas

El agua es indispensable en la vida de las plantas e influye en su crecimiento y productividad. La poca disponibilidad de agua en el suelo puede ocasionar que la transpiración exceda el agua absorbida por las raíces, lo que se conoce como estrés hídrico. La intensidad y duración del estrés hídrico influye en los efectos y la capacidad de las plantas para resistirlo, entre los principales efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento está la reducción en la altura, tallo, raíces, área foliar, peso foliar específico y biomasa de la planta (Luna-Flores et al., 2012).

La resistencia de la sequía es la capacidad que tienen las plantas de soportar periodos de déficit hídrico (Paz, 2003). Esta capacidad es una característica compleja y existen tres mecanismos para enfrentar los periodos de sequía: los mecanismos de escape, se presentan en plantas de gran plasticidad, con un desarrollo fenológico rápido, que adaptan su ciclo vegetativo y reproductivo a la disponibilidad de recursos y a las condiciones climáticas. Los mecanismos de evitación están destinados a retrasar la deshidratación de la planta, para evitar y reducir al mínimo sus pérdidas, a través, del aumento en profundidad y densidad de las raíces, reducción del área foliar y de la radiación absorbida.

El estrés hídrico en plantas afecta a la mayor parte de sus funciones vitales, de hecho, entre un 80-90% del peso fresco en especies herbáceas es agua, y su déficit afecta tanto a la morfología o estructura, como a su fisiología y metabolismo (Sánchez-Díaz & Aguirreola 2008). A nivel estructural el estrés por sequía puede causar varias alteraciones a nivel de planta entera, de órganos y células, como cambios en la distribución de las raíces en el suelo (Kuster et al. 2012), disminuciones en el número de hojas y /o su área foliar (Zhang et al. 2014), aumentos en la masa foliar por unidad de área. Estos cambios estructurales permiten a la planta perder menos agua mediante la transpiración al mismo tiempo que el cambio de distribución de su sistema radicular le puede permitir mantener la absorción de agua (Farooq et al. 2009)

Los mecanismos de tolerancia permiten que la planta siga siendo funcional aunque haya pérdida de agua y se produzca un déficit hídrico. Según (Acevedo, 1993), la resistencia a la sequía está asociada a potenciales hídricos bajos y separa los mecanismos en dos tipos; los destinados al mantenimiento de la turgencia celular (ajuste osmótico y ajuste elástico) y los que permiten la tolerancia a la deshidratación (tolerancia protoplasmática).

3.7. Crecimiento y distribución de biomasa en condiciones de estrés hídrico

Las condiciones de limitación de agua inducen en las plantas respuestas que afectan su morfología, fisiología y metabolismo. (Robles, 2007) Así, por ejemplo, las hojas cambian su ángulo de inclinación, se enrollan o se recambian, y se incrementa la relación del peso entre la raíz y la parte aérea (la raíz mantiene su velocidad de crecimiento, en tanto que la parte aérea la disminuye).

Entre los cambios fisiológicos y metabólicos que ocurren se encuentran la disminución en la síntesis de proteínas y, por tanto, en la velocidad de crecimiento, el aumento de cera en la cubierta de las hojas, cambios en la transpiración, en la respiración, en la fotosíntesis, en la distribución de nutrientes, etc. Todos estos cambios se inducen como parte de una respuesta adaptativa, de tal forma que aquellas especies que se han seleccionado en ambientes limitantes en agua inducen estas respuestas rápidamente y, por tanto, disminuyen su velocidad de crecimiento, su transpiración, su eficiencia fotosintética.

3.8. Respuestas de las plantas al estrés por déficit hídrico

El estrés hídrico es una de las principales causas de muerte en plantas, ocurre cuando la transpiración excede el agua absorbida por las raíces. Las plantas presentan diferentes estrategias para afrontar la sequía (Larcher, 1995; Levitt, 1980): desde las que eluden la sequía muriendo y dejando sus semillas para que germinen en la siguiente estación hasta las que la soportan (resistentes). En condiciones de estrés hídrico el suministro es menor o mayor, y las plantas presentan adaptaciones a la sequía orientadas a controlar el gasto de agua, como disminuir la superficie foliar, y con ella el crecimiento, aumentar la eficiencia en el uso de agua, para que las plantas al momento de abrir sus estomas, se pierda la menor cantidad de agua por molécula de CO₂ absorbida por la planta (Pearce, Millard, Bray, & Rood, 2005), incluso tirar las hojas para evitar la transpiración, o incrementar la proporción de biomasa radical (absorbe agua) frente a biomasa aérea (pierde agua).

La respuesta estomática de las plantas frente al estrés hídrico dista mucho de ser homogénea. Mientras algunas plantas cierran estomas muy rápidamente ante pequeños decrementos del potencial hídrico, y no sufren oscilaciones importantes del mismo (plantas isohídricas), hay otras que no cierran estomas hasta haber disminuido notablemente su potencial hídrico (anisohídricas). La aclimatación de las plantas al estrés hídrico incluye una serie de mecanismos que les permiten modificar la entrega de agua hacia su canopia, entre estos mecanismos se encuentra el control estomático, respuesta efectiva contra la reducción del contenido de agua. Cuando la sequía pasa de ser un fenómeno esporádico a convertirse en crónico, puede que el control estomático no sea suficiente para evitar el colapso del xilema y aparezcan respuestas adicionales.

3.9. Defoliación

La defoliación es un factor que regula la respuesta a la sequía, aunque no de una manera evidente, y en ocasiones con respuestas ambivalentes. La defoliación por fitófagos o ungulados de una planta, genera un aumento de la proporción de biomasa de raíces respecto a la superficie transpirante. (Paz, 2003) La reducción de superficie foliar y el aumento de la proporción de raíces puede no traducirse necesariamente de manera inmediata en una reducción de la fijación de carbono. Dicha reducción se ve compensada por el incremento de la tasa de fotosíntesis en las hojas restantes, debido en parte al aumento del aporte de agua y nutrientes a esas hojas. (Moreno F, 2009)

3.10. Tipos de defoliación

- Tipos clásicos: pastoreo, ramoneo.
- Herbivoría
- Minería de hojas
- Succión
- Barrenación
- Otros: granivoría, frugivoría, nectarivoría.

3.11. Algunos mecanismos de resistencia contra la defoliación:

- Defensas morfológicas: tricomas (espinas, pubescencia), hojas duras (esclerófilas).
- Defensas químicas (taninos, alcaloides).
- Baja calidad nutritiva.
- Expansión rápida de hojas nuevas.
- Verdecer tardío.
- Producción de hojas durante época seca.
- Producción sincrónica de hojas.

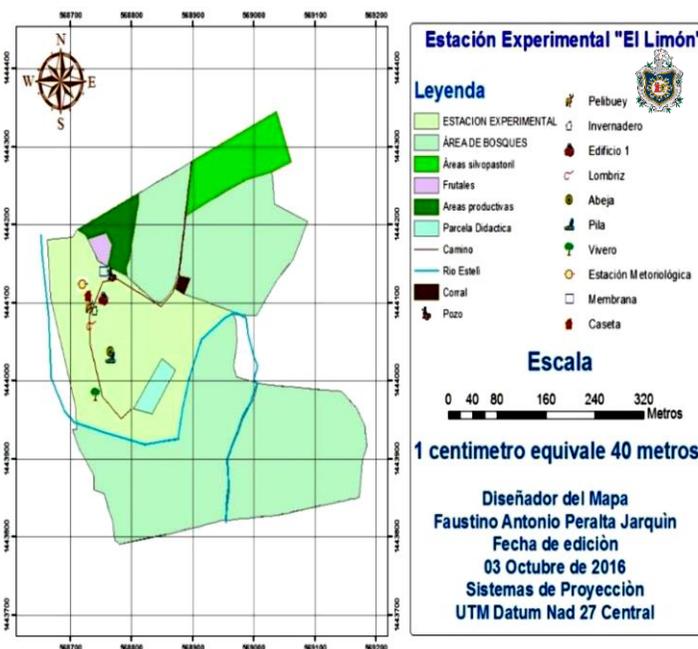
IV. HIPOTESIS

Las especies nativas (*G. sepium* y *E. cyclocarpum*) son resistentes a la defoliación y al estrés hídrico, mostrando mayor altura, diámetro y producción de biomasa, mientras que la especie foránea (*M. oleifera*) no se adapta a estas condiciones.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El estudio se realizó, en la Estación Experimental para el Estudio del Trópico Seco "El Limón", adscrita a la UNAN-Managua / FAREM- Estelí, Nicaragua ($13^{\circ} 05' 31''$ N, $86^{\circ} 21' 14''$ O), a 890 m.s.n.m. La temperatura media anual es de $22,3^{\circ}\text{C}$ ($16-33^{\circ}\text{C}$) y la precipitación media anual es de 804 mm, concentrada en la época lluviosa (mayo-octubre). El suelo es franco con abundantes rocas blandas, tiene un pH de 5,9; contenido de MO de 5,42%, nitrógeno 0,27 ppm; fósforo 62,3 ppm y potasio 0,675 meq/100g (López *et al.*, 2018).



5.2. Tipo de estudio

Según su enfoque filosófico es de tipo cuantitativo porque el fenómeno objeto de estudio se cuantifica a través de conteo y mediciones de las variables de interés de las especies leñosas forrajeras. Además se utilizó el método experimental el cual permitió el control de la variable explicativa (causa), sobre la variable explicada (efecto). Además se considera analítico porque se determinó causa y efecto a través de prueba de hipótesis estadísticas. Es de tipo explicativo porque determina la causa del fenómeno objeto de estudio en función de los factores controlados según el interés del investigador.

Esta investigación responde a la estrategia de la Protección de la Madre Tierra, Adaptación ante el Cambio Climático y Gestión Integral de Riesgo ante Desastre, contenida en el Plan Nacional de Desarrollo Humano de Nicaragua (PNDH, 2012- 2016). Además se responde a la línea de investigación de "Agroforestería y Sistemas Silvopastoriles" de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) / Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM-Estelí) / Estación Experimental para el estudio del trópico seco "El Limón".

5.3. Diseño experimental

Se estableció un Diseño Completamente al Azar (DCA), donde cada UE es homogénea, se realizaron 3 réplicas, donde cada replica se efectuó con tres especies leñosas forrajeras (*E. cyclocarpum*), (*G. sepium*) y (*M. oleifera*). En este diseño cada bloque tenía 4 tratamientos diferentes de los cuales dos eran testigos (SC y SS).

Tabla 1. Descripción de los Tratamientos experimentales.

<i>N°</i>	<i>Factor</i>	<i>Niveles</i>	<i>Letras</i>	<i>Códigos de tratamiento</i>
<i>1</i>	<i>Corte</i>	<i>Sin corte</i>	<i>SC</i>	<i>SC SS</i>
		<i>Corte 30 días</i>	<i>C30</i>	<i>SC CS</i>
		<i>Sin estrés</i>	<i>SS</i>	<i>C30 SS</i>
<i>2</i>	<i>Estrés Hídrico</i>	<i>Con estrés</i>	<i>CS</i>	<i>C30 CS</i>

Los factores fijos fueron: corte y estrés hídrico. Para el factor corte se obtendrán dos niveles: sin corte (SC), corte cada 30 días (C30), para estrés hídrico: sin estrés (SS) y con estrés (CS), obteniendo 4 tratamientos: (SC SS), (SC CS), (C30 SS), (C30 CS).

C30SS	C30SS	C30SS
SCSS	SCSS	SCSS
SCCS	SCCS	SCCS
C30CS	C30CS	C30CS

Figura 1. Ubicación de tratamientos



Figura 2. Diseño Experimental

5.4. Matriz de operacionalización de variables e indicadores.

Objetivo General	Objetivo Especifico	Variables	Indicadores
<p>Evaluar la respuesta de caracteres morfológicos de especies leñosas forrajeras nativas: Madero negro (<i>G. sepium</i>) y Guanacaste (<i>E. cyclocarpum</i>) y una foránea Marango (<i>M. oleifera</i>), sometidas a defoliación y estrés hídrico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comparar el crecimiento y diámetro entre las tres especies leñosas forrajeras con respecto a los tratamientos. • Calcular la producción de biomasa aérea y radical de especies leñosas forrajeras nativas: <i>G. sepium</i> y <i>E. cyclocarpum</i> y una especie foránea <i>M. oleifera</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altura planta (cm). • Diámetro (mm).
	<ul style="list-style-type: none"> • Relacionar la masa de raíz respecto al peso seco total de tres especies leñosas forrajeras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa seca de las plántulas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa Seca Aérea (g) • Biomasa seca Radical (g) • Biomasa Total (g)

5.5. Etapas generales del proceso de investigación

5.5.1. Etapa de gabinete:

Se consultaron fuentes de información, vinculadas al fenómeno objeto de estudio tales como: libros, artículos, revistas científicas impresas y digitales. También trabajos monográficos existentes en la biblioteca Urania Zelaya de nuestra Facultad. Permitiendo de esta manera familiarizarnos con la temática y tener una mayor visión de lo planteado en la investigación. Por otra parte se nos facilitaron los recursos metodológicos, para la elaboración del marco teórico y de esa manera analizar los resultados con mayor certeza para brindar una discusión con mayor calidad.

5.5.2. Etapa de campo:

Esta etapa se describe según el orden de los objetivos específicos.

Los arboles evaluados fueron: Guanacaste (*E. cyclocarpum*), Madero Negro (*G. sepium*) y Marango (*M. oleífera*).

Se colocaron a germinar 200 semillas de especies forrajeras leñosas, (*E. cyclocarpum*), (*G. sepium*) y (*M. oleífera*). Una vez que surgieron las hojas verdaderas (1 mes aproximado) se realizaron pruebas de capacidad de campo, esto con el objetivo de obtener la dosificación de riego, posteriormente se procedió trasplantar en bolsas, las bolsas tenían una mezcla heterogénea de suelo franco arcilloso con proporción de cascarilla de arroz luego serían establecidas en los bloques y comenzar con los periodos de riego y defoliación.



Figura 3. Llenado de bolsas

Para conocer la capacidad de campo se realizó el siguiente procedimiento:

Fueron seleccionadas tres bolsas con sustrato de tierra y cascarillas de arroz (proporción 3^a1) las cuales fueron humedecidas con agua hasta lograr saturarlo, luego se dejó reposar 1 hora para eliminar el exceso, posterior se tomó el peso fresco en una Balanza Digital Model Scout Pro SP4001 con unidad de medida en gramos (g) con un margen de error de 0.1g y se dejó 24 horas en una Estufa Digital De 1501 en el laboratorio de Ecología y Recursos naturales de la Estación Experimental "El Limón" a una temperatura de 150 °C, pasado este tiempo se tomó su peso, tomando en cuenta el peso fresco y el peso seco se calculó la diferencia por medio de una resta de esa manera se encontró el valor equivalente a 240ml que es la dosis de riego de cada plántula, la razón por la cual se realizó este procedimiento fue para conocer el nivel de saturación en cada unidad experimental.

Inició el ensayo durante un periodo experimental de 3 meses. Estas fueron sometidas a los siguientes tratamientos experimentales: defoliación al 50%, sin estrés hídrico (con riego cada 2 días), estrés hídrico (riego cada 7 días) sin defoliación, defoliación con estrés hídrico y control (sin defoliación y sin estrés hídrico) en un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Para cada tratamiento se usaron 30 individuos colocados en bolsas plásticas individuales con dimensiones de 5x8 equivalentes a (1 kg) para un total de 360 bolsas.

En el ensayo, la defoliación se realizó periódicamente cada 30 días durante 2 meses la defoliación se realizó usando tijeras de podar cortando completamente las hojas al azar a nivel del pecíolo, simulando así la herbivoría. Los cortes incluían hojas en buen estado a lo largo de los tallos presentes de cada planta según el tratamiento.

La cosecha de las plantas fue realizada luego del último evento defoliativo para evidenciar el efecto de este en las especies. Los datos colectados en el momento de la primer cosecha fueron: Longitud máxima (longitud del tallo medida desde el ápice de crecimiento hasta el límite del tallo con el suelo, usando una cinta métrica en centímetros) (Figura 4), Diámetro (grosor del tallo de la parte baja de la planta usando un pie de Rey en mm).

Para obtener la cosecha final, utilizamos baldes con agua, servilletas, tijeras manuales de poda y bolsas de papel kraft. Las plantas fueron introducidas en los baldes con agua (Figura 5) para que ella soltara totalmente la tierra y de esta manera obtener una raíz en buen estado, se les hacía dos lavados ya que la tierra presente en la raíz es un factor que altera el peso de la planta. Al final las plantas se cortaban donde iniciaba la parte aérea y se colocaban por separado cada parte de las plantas seccionadas (raíz, tallos) para obtener su peso fresco y posteriormente introducirlas al horno en un periodo 24 horas para obtener su peso seco.



Figura 4. Mediciones



Figura 5. Cosecha Final

5.5.3. Etapa de laboratorio:

Las plantas cosechadas fueron llevadas al laboratorio donde fueron pesadas en una balanza analítica para obtener los gramos de la biomasa en fresco, luego fueron introducidas a un horno de secado de plantas, durante 24 horas, hasta alcanzar un peso constante a una temperatura de 105°C. Una vez secas las secciones de las plantas fueron llevadas nuevamente al área de pesaje, para obtener el peso en seco. Se consideró la planta como unidad, sin embargo se consideró los tallos producidos de cada planta para ser pesados y la parte radical de manera individual.



Figura 6. Horno de secado



Figura 7. Bolsas de muestras

5.5.4. Etapa de gabinete:

El experimento se estableció como un diseño completamente aleatorizado (DCA). Las diferencias en la altura, (cm) diámetro, (mm), biomasa total (g) y la relación de la raíz respecto al peso seco total por especies se determinaron mediante análisis de varianza, usando modelos lineales, generales y mixtos, con tratamientos (corte, estrés, especie y la interacción doble y triple) como factores fijos.

Se probaron diferentes estructuras de varianza residual para considerar la falta de homogeneidad de varianza (Di Rienzo et al., 2011) para seleccionar el mejor modelo se usaron los criterios de información AIC y BIC, el supuesto de normalidad fue evaluado usando QQ-plot y la prueba de Shapiro- Wilks.

Todos los análisis estadísticos y gráficos fueron realizados con InfoStat versión 2015 (Di Rienzo, Casanoves, Balzarini, Tablada, & Robledo, 2015) y R versión 3.2.1 (R Core Development Team). En todos los casos se reportan las medias \pm 1 el error estándar, y las medias se compararon usando las pruebas LCD de Fisher ($p < 0.005$)

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Comparación del crecimiento y desarrollo entre las tres especies leñosas forrajeras.

Las plantas de *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium* y *Moringa oleifera* sometidas a corte mostraron un efecto sobre su altura ($p < 0.001$). La interacción de la especie foránea *Moringa oleifera* sometida a corte ($F: 26.86; p < 0.0001$) presentó mayor crecimiento en relación a las plantas nativas (*Enterolobium cyclocarpum* y *Gliricidia sepium*). Este dato fue consistente con (La, Fertilización, Del, & Del, 2016), el cual argumenta acerca del crecimiento en *M. oleifera* la cual a los seis meses de iniciada la investigación se midió nuevamente el DAP y la altura de los individuos. Se encontró en todas las plantas un incremento promedio de 1.39 cm del DAP y de 2.4 m de altura.

Sin embargo la especie nativa *Gliricidia sepium* sin corte fue la especie con el mayor crecimiento y la de menor crecimiento fue *Moringa oleifera* sin corte. Por lo tanto, las plantas sometidas a estrés hídrico tienen un efecto sobre la altura de las especies evaluadas. La interacción especie estrés ($F: 14.90; p < 0.0001$) con relación a la altura muestran que la *Moringa oleifera* presentó un crecimiento considerable en comparación con las plantas que no fueron sometidas a estrés hídrico, Tabla 1. No obstante, *Gliricidia sepium* sin estrés mostró mayor crecimiento en relación a las demás especies.

Cabe destacar que de las tres especies leñosas forrajeras, sometidas a los distintos tratamientos, encontramos que la especie *Enterolobium cyclocarpum* tiene diferencia significativa en cuanto a la variable especie corte, sobre los tratamientos corte cada 30 días y sin corte de las especies antes mencionadas, en comparación con las dos especies restantes hubo disminución en su altura principalmente en el tratamiento corte sin estrés

Tabla 2. Altura (cm) de *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium* y *Moringa oleifera*, sometidas a defoliación y estrés hídrico.

Especie	Corte	Medias	Estrés	Medias
<i>E.c</i>	C30	25.55 ± 0.99 cd	CS	26.52 ± 0.99 b
<i>E.c</i>	SC	27.93 ± 0.98 bc	SS	26.97 ± 0.98 b
<i>M.o</i>	C30	29.05 ± 0.98 b	CS	30.63 ± 0.98 a
<i>M.o</i>	SC	22.68 ± 0.98 e	SS	21.10 ± 0.98 c
<i>G.s</i>	C30	24.30 ± 0.98 de	CS	28.82 ± 0.98 ab
<i>G.s</i>	SC	32.18 ± 0.98 a	SS	27.67 ± 0.98 b

Letras diferentes, implican diferencias significativas entre especies y tratamientos ($P > 0.05$), respectivamente.

E.c: *Enterolobium cyclocarpum*, *M.o*: *Moringa oleifera* y *G.s*: *Gliricidia sepium*

C30CS: con corte y con estrés, C30SS: con corte y sin estrés SCCS: sin corte y con estrés, SCSS: sin corte y con estrés

Las tres especies evaluadas sometidas a corte y estrés mostraron diferencia en el diámetro de su tallo ($p < 0.001$). La interacción de la especie nativa *Gliricidia sepium* sin corte (F:15.82; $p < 0.001$) mostró mayor diámetro en comparación con la especie foránea *Moringa oleifera* y la nativa *Enterolobium cyclocarpum*, (F:5.51; $p=0.0044$) mostraron diferencias significativas entre especies y todos sus tratamientos. Tabla 2. Comenta que la altura de la planta mostró comportamiento irregular durante el experimento, mientras que los tratamientos no afectaron el grosor del tallo (7.3- 14.1 mm) de igual manera con las hoja (0.2- 0.5 mm). El número de hojas/planta fue mayor cuando se cortó de 20-30 cm en el tercer corte (figura 1). En la interacción especie-estrés

Tabla 3. Diámetro (mm) de *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium* y *Moringa oleifera*, sometidas a defoliación y estrés hídrico. Interacción especie-corte, especie-estrés.

Especie	Corte	Medias	Estrés	Medias
<i>E.c</i>	C30	3.46 ± 0.15 e	CS	3.80 ± 0.15 cd
<i>E.c</i>	SC	4.51 ± 0.14 bc	SS	4.18 ± 0.14 c
<i>M.o</i>	C30	3.82 ± 0.14 de	CS	4.18 ± 0.14 c
<i>M.o</i>	SC	4.11 ± 0.14 cd	SS	3.75 ± 0.14 d
<i>G.s</i>	C30	4.88 ± 0.14 b	CS	5.62 ± 0.15 b
<i>G.s</i>	SC	6.79 ± 0.15 a	SS	6.05 ± 0.14 a

Letras diferentes, implican diferencias significativas entre especies y tratamientos ($P > 0.05$), respectivamente.

E.c: *Enterolobium cyclocarpum*, *M.o*: *Moringa oleifera* y *G.s*: *Gliricidia sepium*

C30CS: con corte y con estrés, C30SS: con corte y sin estrés SCCS: sin corte y con estrés, SCSS: sin corte y con estrés

6.2. Producción total de biomasa seca aérea y radical de tres especies leñosas forrajeras.

Las tres especies evaluadas mostraron variabilidad en cuanto a producción de biomasa seca aérea con diferencias significativas de ($p < 0.001$) entre especie y tratamientos, en este caso la especie que predominó en producción de biomasa seca aérea fue *Gliricidia sepium* en todos sus tratamientos ($F: 15.39; p < 0.0001$) lo que indica que esta especie presentó mejor producción de rebrotes, ramas y hojas en condiciones de poda y estrés, que contradice (Odunfa, 2001) en el cual las plantas estresadas por sequía tuvieron una biomasa significativamente menor en comparación con su adecuada contraparte, regadas para ambas especies arbóreas (*G. sepium* y *L. leucocephala*), sin embargo (Pekka Nygren, 1998) indica que la actividad en las plántulas de *G. sepium* deshojadas fue similar a lo observado en *M. sativa* nodulada.

La recuperación de la biomasa del follaje fue lenta pero la biomasa aprovechable fue mayor en los árboles de *G. sepium* podados al 50% cada 2 meses, estos resultados corroboran los de nuestra investigación, los datos de (G. Tarawali, 1996) indican que el corte en esta investigación aseguró el crecimiento vegetativo durante la estación seca temprana, con un mayor desarrollo de brotes observado a una altura de corte de 0.7m que a dos alturas más bajas. Bajo el régimen de doble cosecha el rendimiento de materia seca fue generalmente más alto en la primera cosecha y significativamente ($P < 0.05$) a una altura de corte de 0.3m que a 0.4 o 0.7m.

La adhesión produjo más materia seca que otras tres accesiones cosechadas una vez. Cortar a 0.7m produjo más hojas que cortar a alturas más bajas (Tabla 3). Cabe destacar que en segundo lugar está la especie nativa *Enterolobium cyclocarpum* y en tercer lugar la especie foránea *Moringa oleífera* con menor producción de biomasa seca aérea.

Tabla 4. Promedio de biomasa seca aérea de *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium* y *Moringa oleifera*, sometidas a defoliación y estrés hídrico. Interacción especie corte estrés (PS aéreo)

Especies	Tratamiento	Medias
<i>E.c</i>	C30CS	6.06 ± 0.25 e
<i>E.c</i>	C30SS	8.89 ± 0.06 c
<i>E.c</i>	SCCS	9.62 ± 0.25 b
<i>E.c</i>	SCSS	9.80 ± 0.06 b
<i>M.o</i>	C30CS	5.36 ± 0.20 f
<i>M.o</i>	C30SS	8.31 ± 0.03 d
<i>M.o</i>	SCCS	8.63 ± 0.19 cd
<i>M.o</i>	SCSS	8.37 ± 0.03 d
<i>G.s</i>	C30CS	10.03 ± 0.41 b
<i>G.s</i>	C30SS	9.67 ± 0.29 b
<i>G.s</i>	SCCS	13.80 ± 0.58 a
<i>G.s</i>	SCSS	15.05 ± 0.29 a

Letras diferentes, implican diferencias significativas entre especies y tratamientos ($P > 0.05$), respectivamente.

E.c: *Enterolobium cyclocarpum*, *M.o*: *Moringa oleifera* y *G.s*: *Gliricidia sepium*

C30CS: con corte y con estrés, C30SS: con corte y sin estrés SCCS: sin corte y con estrés, SCSS: sin corte y con estrés

Se encontró un efecto significativo entre especie, corte y estrés ($p < 0.001$). La especie *Gliricidia sepium* sometida a corte y sin estrés presento mayor producción de biomasa radicular (F: 62.43; $p < 0.0001$). No obstante la especie *Moringa oleifera* sometida a corte y con estrés mostro menor producción de biomasa radical (F: 15.42 y $p < 0.001$).

La producción de biomasa seca radical para *Gliricidia sepium* cuando no aplicamos corte son mayores, lo que significa que la planta tiene un alto grado de producción en raíz, pero disminuye cuando se le aplica corte (Tabla 4.).Según (Odunfa, 2001) en el subsuelo se disparan los pesos secos de *G. sepium* inoculados por sequía y *L. leucocephalano* fue significativamente diferentes a partir de plantas inoculadas (Introducir algo que crecerá o se reproducirá para producir inmunidad) en tratamientos de riego, adecuados, mientras que *G. sepium* no inoculada tuvo mayor biomasa tanto en condiciones de sequía como de regadío. El mismo efecto mostro *Enterolobium cyclocarpum* y con menor producción la especie foránea *Moringa oleifera*.

Tabla 5. Producción de biomasa seca radical de *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium* y *Moringa oleifera*, sometidas a defoliación y estrés hídrico (PS radical).

Especies	Tratamiento	Medias
<i>E.c</i>	C30CS	6.48 ± 0.21 g
<i>E.c</i>	C30SS	8.91 ± 0.21 de
<i>E.c</i>	SCSS	9.90 ± 0.21 c
<i>E.c</i>	SCCS	10.26 ± 0.21 c
<i>M.o</i>	C30CS	4.85 ± 0.07 h
<i>M.o</i>	C30SS	8.43 ± 0.07 f
<i>M.o</i>	SCSS	8.64 ± 0.07 e
<i>M.o</i>	SCCS	8.82 ± 0.07 de
<i>G.s</i>	C30SS	8.99 ± 0.24 de
<i>G.s</i>	C30CS	9.24 ± 0.24 d
<i>G.s</i>	SCCS	11.63 ± 0.34 b
<i>G.s</i>	SCSS	13.86 ± 0.24 a

Letras diferentes, implican diferencias significativas entre especies y tratamientos ($P > 0.05$), respectivamente.

E.c: *Enterolobium cyclocarpum*, *M.o*: *Moringa oleifera* y *G.s*: *Gliricidia sepium*

C30CS: con corte y con estrés, C30SS: con corte y sin estrés SCSS: sin corte y con estrés, SCCS: sin corte y sin estrés

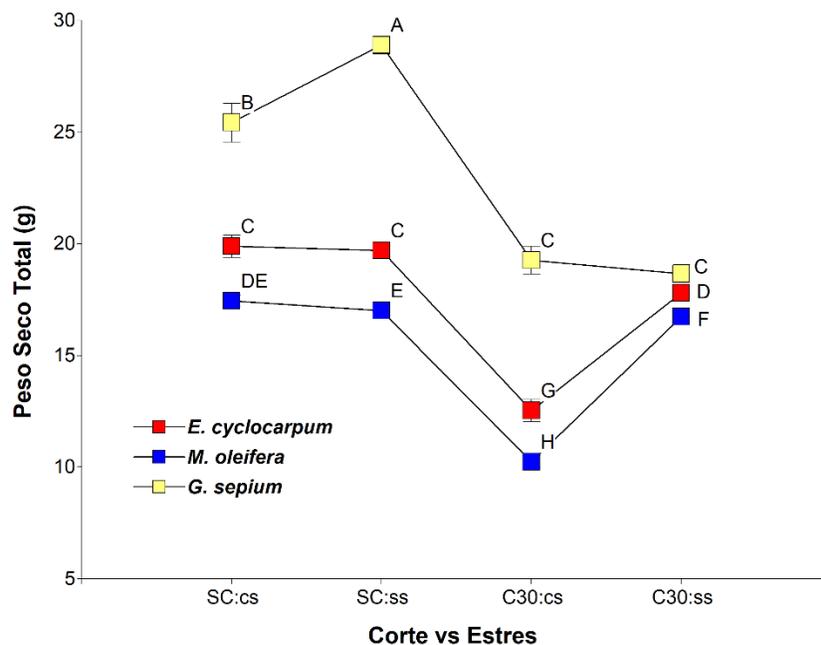
De las especies sometidas el efecto del tratamiento en cuanto al diámetro radicular se pudo constatar que *Enterolobium cyclocarpum* y *Moringa oleifera* mantienen su estabilidad en su diámetro mientras que *Gliricidia sepium* aumenta considerablemente en cuanto al diámetro de la raíz al estar sometida a la variable sin corte con estrés y sin estrés.

6.3. Producción de peso seco total

El peso seco total de las tres especies evaluadas nos indica la cantidad de biomasa seca aérea y radical que produjo cada planta. Durante la evaluación de los datos la planta con mayor producción de biomasa tanto aérea y radical fue *Gliricidia sepium* (F: 37.96; $p < 0.0001$) (Figura 6). Lo que significa que esta especie continua con su desarrollo normal siendo sometida a estrés.

Por otra parte el *Moringa oleifera* la especie con menor producción de materia seca reforzado por (Arragán, Uiz, Lvarado, Arranza, & Osa, 2016) quien menciona que el crecimiento y la producción de biomasa de *M. oleifera* fluctúan en relación con los periodos en que se desarrolle el cultivo, evidenciando a la temperatura ambiental como uno de los factores que marca la pauta en el desarrollo del cultivo siendo afectada por climas frío, en comparación con las otras dos especies que no muestran diferencia significativa en la producción de biomasa aun sin aplicar corte y sin inducir el estrés.

Cabe agregar que la producción de biomasa total en cuanto *Enterolobium cyclocarpum* permanece estable en los tratamientos sin corte con estrés y sin corte sin estrés, aunque en las otras especies antes mencionadas también declinan en corte con estrés.



Letras diferentes, implican diferencias significativas entre especies y tratamientos ($P > 0.05$), respectivamente.

E.c.: *Enterolobium cyclocarpum*, *M.o.*: *Moringa oleifera* y *G.s.*: *Gliricidia sepium*

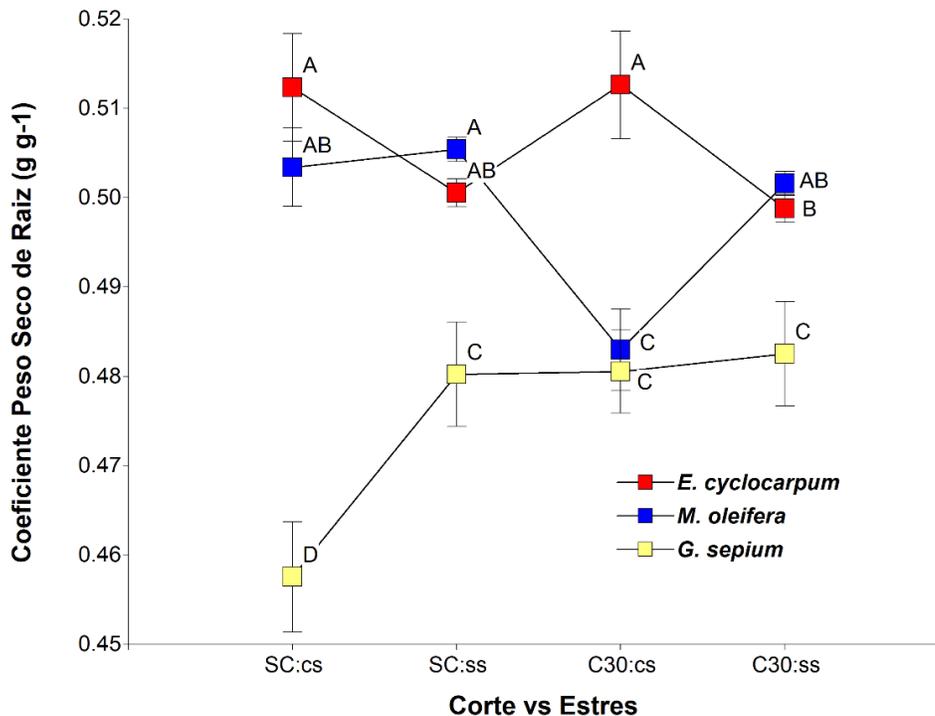
C30cs: con corte y con estrés, C30ss: con corte y sin estrés SCcs: sin corte y con estrés, SCss: sin corte y con estrés

Figura 7. Producción de materia seca de tres especies leñosas forrajeras

6.4. Relacionar el peso seco de raíz respecto al peso seco total de tres especies leñosas forrajeras.

En la interacción de la raíz con respecto al peso seco total, podemos apreciar que el *Gliricidia sepium* obtuvo una mayor producción de raíz inversamente en relación con las demás especies, es decir que el peso seco de la raíz condicionará inversamente al peso seco total. (Figura 8).

Las características más sobresalientes en *Enterolobium cyclocarpum*, desde su punto de vista morfológica en su capacidad de asimilar el estrés hídrico y la defoliación en condiciones controladas, por ejemplo las altas temperaturas inciden en el crecimiento de las misma (O.Fagbola, 2001). El análisis indico que el comportamiento *Gliricidia sepium* es la especie que sin importar los déficit de agua no se ve afectada, dirigiendo sus recursos al crecimiento. Según (Fournier, 1999). La longitud de biomasa de la raíz se afectó por excesos de agua acumulada, no así en el vástago. Los efectos de escasas de agua tendieron a manifestarse primero en el vástago que en las raíces. Lo que explica la razón por la cual *E.cyclocarpum* presento el mayor desarrollo radicular con respecto a las otras especies



Letras diferentes, implican diferencias significativas entre especies y tratamientos ($P > 0.05$), respectivamente.

E.c: *Enterolobium cyclocarpum*, *M.o:* *Moringa oleifera* y *G.s:* *Gliricidia sepium*

C30cs: con corte y con estrés, C30ss: con corte y sin estrés SCcs: sin corte y con estrés, SCss: sin corte y con estrés

Figura 8. Relación del peso seco de raíz respecto al peso seco total de tres especies leñosas forrajeras

VII. CONCLUSIONES

- La hipótesis de investigación se cumple, debido a que la especie nativa *G.sepium* se adaptó a las condiciones a las que fue sometida estrés y defoliación, *E.cyclocarpum* no sobresalió como se esperaba y la especie foránea *M.oleifera* fue la segunda especie con mejor adaptación.
- La especie foránea *M. oleifera* predominó en altura, mientras que la especie nativa *G. sepium* tuvo mayor diámetro en comparación con las otras especies en las distintas interacciones.
- Se observaron las variaciones que experimentan las especies en producción de biomasa seca aérea y radicular, la especie con mayor producción de biomasa aérea y radical fue la especie nativa *G. sepium* en todos los tratamientos.
- La aplicación de estrés hídrico y defoliación influyo en las variables evaluadas. Sin embargo en la relación de peso seco total de raíz respecto al peso seco total, la especie con menor masa radicular fue *G.sepium* y con mayor peso *E.cyclocarpum* en las mismas circunstancias.

VIII. RECOMENDACIONES

Realizar futuros estudios evaluando las respuestas morfológicas fuera de condiciones controladas, utilizando las mismas especies pero con diferentes tratamientos, para mejorar rendimiento, sobrevivencia y crecimiento en plantas y observar mejor su comportamiento e incluir otras especies en el estudio.

Incluir medidas y acciones para garantizar una mejor protección de las plántulas de plagas que puedan afectar el desarrollo y evitar la dispersión de datos en el momento de los análisis estadísticos.

Para el establecimiento en campo y sistemas de producción se sugiere incorporar la especie *G.sepium* en planta ya que esta tuvo una excelente adaptación y sobrevivencia, acompañada de las otras especies para obtener recursos adicionales.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, S. y. (1993). *Relaciones Hídricas de Atriplex repanda Phil a dos niveles de disponibilidad de agua*. Chile: Revista Chilena de Historia Natural 66:467-477.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, y C. W. (2011). InfoStat versión 2011. *Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*. URL [Http://www. Infostat. Com. Ar.](http://www.infostat.com.ar) <https://doi.org/http://www.infostat.com.ar>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Tablada, M., & Robledo, C. (2015). Grupo InfoStat. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Ibrahim, D. P. (1999). *Sistemas silvopastoriles*. Turrialba Costa Rica.
- La, E. D. E., Fertilización, P. Y., Del, D., & Del, P. (2016). Volumen 1 sumario, 1–168.
- Larcher, W. (1995). Photosynthesis as a Tool for Indicating Temperature Stress Events. In *Ecophysiology of Photosynthesis* (pp. 261–277). https://doi.org/10.1007/978-3-642-79354-7_13
- Levitt, J. (1980). *Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol. II. Water, Radiation, Salt and Others Stresses. Responses of Plants to Environmental Stresses*. [https://doi.org/10.1016/0160-9327\(81\)90047-8](https://doi.org/10.1016/0160-9327(81)90047-8)
- Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J., & Pinzón-López, L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas Caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 343–353. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/573/57325814006/>
- Marena/Inafor. (2002). *Guía de Especies Forestales de Nicaragua*.
- Moreno F, L. P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179–191.
- Paz, V. &. (2003). *Distribucion de biomasa de Barleria lupulina Lindl. en respuesta a tres regimenes de riego*. Revista de la Facultad de Agronomia 20:273-281.
- Pearce, D. W., Millard, S., Bray, D. F., & Rood, S. B. (2005). Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. *Tree Physiology*, 26(2), 211–218. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.2.211>
- Robles, A. A. C. (2007). Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua. *Biotecnología*, 14, 253–262.
- Schlee, D., Sneath, P. H. A., Sokal, R. R., & Freeman, W. H. (1975). Numerical Taxonomy. The Principles and Practice of Numerical Classification. *Systematic Zoology*. <https://doi.org/10.2307/2412767>

Tipos de sequía. (s.f.). Obtenido de <http://www.mapama.gob.es/es/>:
http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/que-es-la-sequia/Observatorio_Nacional_Sequia_1_1_tipos_sequia.aspx

Tomas Martinez Trinidad, J. V. (2002). Respuesta al Deficit Hídrico en *Pinus leiophylla*: consumo de agua y crecimiento en plántulas de diferente poblaciones. *Agrociencia*, 36 (3), 365-376.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2004). Fisiología vegetal. *Porto Alegre Artmed*.
[https://doi.org/10.1016/0307-4412\(76\)90121-7](https://doi.org/10.1016/0307-4412(76)90121-7)

X. ANEXOS

10.1. Cronograma de Tratamientos

<i>Octubre</i>						
						1
  2	3	 4	 5	 6	7	 8
 9	 10	 11	  12	13	 14	15
  16	17	 18	 19	 20	21	 22
 23	 24	25	  26	27	 28	29
  30	31					

<i>Noviembre</i>						
		 1	 2	 3	4	 5
 6	 7	8	   9	  10	 11	12
 13	14	 15	16	 17	18	 19

 Poda 50% cada 30 días	 Riego semanal de 240 ml	 Riego cada 2 días con 240 ml	 Medidas de altura cm	 Diámetro tallo
--	---	--	---	---



Figura 9. Diseño Experimental



Figura 10. Rotulación de los tratamientos

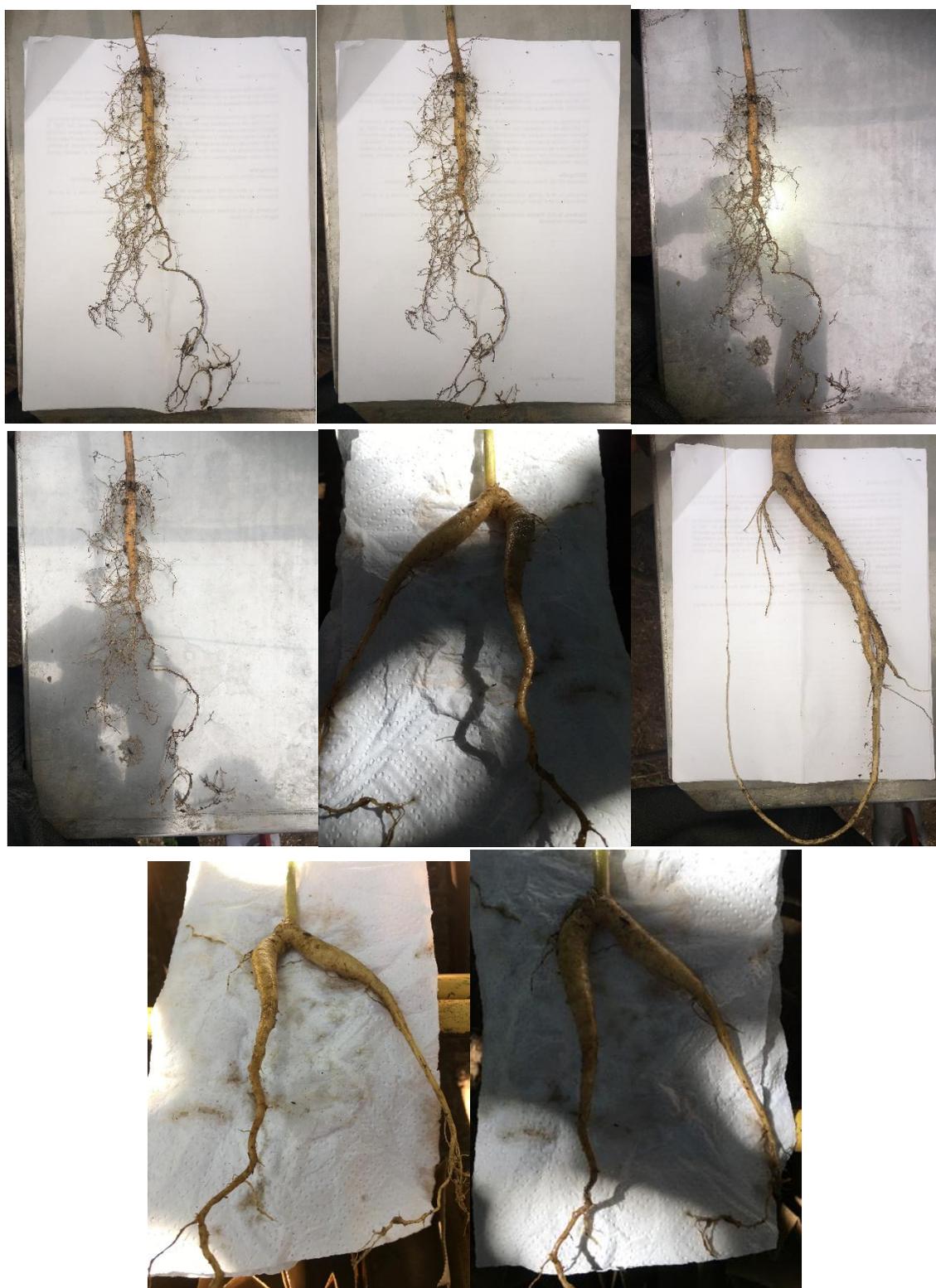


Figura 11. Cosecha final-Parte radicular

