



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**Aspectos agronómicos de la propagación sexual
y asexual de Macadamia**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

P R E S E N T A:

EDUARDO GARCÍA JIMÉNEZ

ASESOR: Dr. GUSTAVO MERCADO MANCERA
COASESOR: M.C. VICTOR MANUEL CISNEROS SOLANO

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Aspectos agronómicos de la propagación sexual y asexual de Macadamia

Que presenta el pasante: EDUARDO GARCÍA JIMÉNEZ

Con número de cuenta: 41502658-3 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 07 de Febrero de 2020.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en E. Elva Martínez Holguín	
VOCAL	Dr. Gustavo Mercado Mancera	
SECRETARIO	M. en C. Oscar Horacio Guillén Ayala	
1er. SUPLENTE	Ing. Asunción Martínez Vázquez	
2do. SUPLENTE	Ing. Ana Karen Granados Mayorga	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/nrm*

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien, gracias a la sabiduría, fortaleza, y perseverancia con los que me dotó, guiarme por el buen camino, darme la fuerza para seguir adelante y no dejarme caer en los problemas que se presentaron, y por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que me brindaron su mano en momentos cuando más lo necesitaba.

A la Máxima Casa de Estudios: la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme abierto sus puertas al conocimiento permitiéndome ser parte de su historia, formándome académicamente y llenándome de valores y principios como persona para servicio de la sociedad.

A toda la comunidad de la carrera de Ingeniería Agrícola por sus enseñanzas recibidas dentro y fuera de sus aulas, que poco a poco me adentraron al camino de una de las profesiones más dignas y hermosas que existen, donde se debe ser fuerte, valiente y perseverante para generar cambios reales y significativos en nuestro país.

Con gran admiración quisiera reconocer el gran trabajo de mi asesor de Tesis y Servicio Social, el Dr. Gustavo Mercado Mancera, mismo que con su ayuda incondicional, sus enseñanzas, la disponibilidad, paciencia y esas ganas de hacer las cosas posibles, lograron la realización de esta Tesis. No existen las palabras perfectas para agradecerle todo el apoyo brindado para cumplir esta meta, este sueño. Muchas gracias Doctor.

Un especial agradecimiento al M.C. Víctor Manuel Cisneros Solano quien, con sus apreciables aportaciones, su valioso tiempo, asesoramiento y constancia de principio a fin en este proyecto han sido fundamentales para la culminación de este mismo.

Al Técnico Alejandro Paz González, por su apoyo incondicional para la realización de este trabajo en campo.

Al Jurado evaluador de este trabajo, por su valiosa aportación, la cual hizo posible mejorarlo. Gracias por el tiempo y conocimientos que invirtieron en él.

El destino se encargó de sembrar buenas y sinceras amistades que con el paso del tiempo me permitió disfrutar de una abundante cosecha. Les doy las gracias a cada uno de ustedes amigos míos, por compartir demasiados momentos juntos; ser parte de mis alegrías, penas, logros y experiencias de trabajo, no puedo estar más agradecido de tenerlos en mi vida.

A quienes sin conocerme me abrieron las puertas de su casa, dándome lo necesario para poder continuar mi camino, brindándome más que un apoyo una amistad, y un significativo: no estás solo, familia González García.

A todos aquellos que siempre me apoyaron de una u otra forma para concluir esta etapa más en vida, gracias muchas gracias por todo lo que hicieron y hacen por mí.

DEDICATORIA

*“Trabajo bruto, pero con orgullo
Aquí se comparte, lo mío es tuyo”*

“En un país donde la lucha diaria por conseguir una vida digna gracias a un trabajo honesto, la educación se vuelve la herencia más grande de amor que nos regalan nuestros padres y maestros”

L.B. Margo.

A Don Irineo y Doña Victorina, las personas más importantes de mi vida: mis padres, a quienes les debo todo; les agradezco por apoyarme siempre y darme la oportunidad de salir adelante, no fue fácil, confieso que hubo momentos en los que creí no poder continuar, pero ustedes siempre estuvieron allí creyendo en mí, dándolo todo y guiando mi camino para poder llegar hasta aquí, sin ustedes nada de esto sería posible, papá, mamá los amo y este logro es de ustedes y para ustedes.

A mis hermanos Rene, Francisco y Adolfo, quienes siempre han estado conmigo y me han ayudado en cada momento de mi vida, con quienes he crecido compartiendo experiencias de felicidad y hermandad, siempre con ese buen sentido del humor que nos caracteriza a cada uno de nosotros. Gracias por ser los mejores hermanos que puedo tener y llegar juntos hasta aquí, este logro no solo es mío, es de todos nosotros juntos, la familia: García Jiménez.

De todo corazón, a mi novia L. Brenda Marini (Margo), por su gran dedicación hacia mí, paciencia, cariño, amor, por ser tal como es. Brendita eres mi inspiración y está de más decir lo afortunado que soy de haberte conocido, me llenas de tantas cosas buenas que me hacen ser mejor persona, nunca podré agradecerte todo lo que haces por mí, por tanta bondad, cuánta verdad, tantos abrazos fueron mi paz, pintas el cielo, eres el tiempo, la tempestad que vino a cambiar mi sequía. Simplemente gracias por estar conmigo.

En memoria de mis abuelos: Antonio Jiménez Martínez (f) y Francisco García Espinoza (f), al cual con mucho cariño recuerdo como abuelo Pancho, gracias a Dios por poder vivir y disfrutar parte de mi vida a su lado, donde día con día me demostró su aprecio y amor a través de sus sabios consejos, gracias por siempre creer en mí y jurar que llegaría a ser una persona de bien, con triunfos y cumplir todo lo que me propusiera.

Un abrazo hasta el cielo abuelo Pancho, este trabajo también es gracias a usted. Se concluye una etapa importante de mi vida, no fue nada fácil, pero el destino conspiró a mi favor ante la adversidad, poniendo en mi camino “algo bonito”, a pesar de no darme cuenta, siempre estuviste conmigo, siendo el mejor regalo que me dio la vida, la fuerza que me empuja a seguir adelante, dándome la motivación de lograr todo lo que me proponga. Esto es tan solo una manera de recordarte, aunque no te pueda ver, no estamos distantes, siempre estaré para ti, así como tú lo has estado para mí. L.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>i</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>ii</i>
RESUMEN	<i>iii</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.1.1. Objetivo particulares	2
1.2. Hipótesis	2
II. ANTECEDENTES	3
2.1. Importancia del cultivo de macadamia en México	3
2.2. Características generales del cultivo de macadamia	4
2.2.1. Descripción botánica	5
2.2.2. Descripción morfológica	6
2.2.3. Descripción fenológica	7
2.3. Aspectos fisiológicos de la germinación de semilla	9
2.3.1. Tratamientos pregerminativos	12
2.4. El injerto en frutales	14
2.4.1. Aspectos fisiológicos	16
2.4.2. Aspectos agronómicos	17
2.5. Experiencias en el manejo de la propagación de macadamia	18
III. METODOLOGÍA	21
3.1. Localización del área experimental	21
3.2. Metodología	22
3.2.2. Análisis estadístico	23
3.3. Materiales	23

	Página
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1. Germinación de semillas	25
4.1.1. Porcentaje de germinación	25
4.1.2. Tiempo de germinación	31
4.1.3. Altura de planta	33
4.1.4. Grosor del tallo	35
4.1.5. Longitud de raíz	36
4.2. Prendimiento del injerto	38
V. CONCLUSIONES	41
VI. LITERATURA CITADA	42
ANEXOS	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Corte longitudinal del fruto de macadamia (Sol, 2011).	7
Figura 2. Fases de la imbibición de agua por una semilla, medida mediante el incremento en peso fresco durante el proceso de germinación (Universidad Politécnica de Valencia, 2003).	10
Figura 3. Germinación hipogea de la macadamia (Universidad Politécnica de Valencia, 2003).	11
Figura 4. Injerto simple (Millán y Salvador, 2018).	15
Figura 5. Injerto de púa (Esau, 1976, citado por Cartagena, 1998).	16
Figura 6. Localización de la comunidad de Auyantla, municipio de Huatusco, Veracruz (CEIEG, 2019).	21
Figura 7. Porcentaje de germinación de semillas de macadamia sometidas a diferentes tratamientos pregerminativos (Elaboración propia).	25
Figura 8. Germinación de semillas de macadamia con método pre germinativo exposición al sol (Elaboración propia).	28
Figura 9. Semillas de macadamia escarificadas por golpeo físico, se observa la fisura que se realizó en la concha debido al golpe (Elaboración propia).	29
Figura 10. Semillas de macadamia sin germinar, sometidas a inmersión en agua durante 24 horas (Elaboración propia).	30
Figura 11. Emergencia de la plúmula de semillas de cuatro variedades de macadamia (Elaboración propia).	31
Figura 12. Número de semillas germinadas de macadamia sometidas a diferentes tratamientos pregerminativos (Elaboración propia).	32
Figura 13. Altura de plántula de semillas de macadamia en función de los tratamientos aplicados (Elaboración propia).	34
Figura 14. Altura de plántula de semillas de macadamia por variedad (Elaboración propia).	34
Figura 15. Temperatura ambiente presente durante el desarrollo del trabajo.	39
Figura 16. Humedad ambiental presente durante el desarrollo del trabajo.	40

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1.	Anova del porcentaje de germinación de semillas de macadamia, sometidas a diversos tratamientos pregerminativos.	26
Tabla 2.	Prueba de separación de medias por el método de Tukey a $p \leq 0.1$, para tratamientos pregerminativos y variedades de macadamia empleadas.	26
Tabla 3.	Anova del grosor de tallos de plántulas de macadamia, sometidas a diversos tratamientos pregerminativos.	35
Tabla 4.	Prueba de separación de medias por el método de Tukey a $p \leq 0.1$, para tratamientos pregerminativos y variedades de macadamia empleadas.	36
Tabla 5.	Anova de la longitud de raíz de las plántulas de macadamia, sometidas a diversos tratamientos pregerminativos.	37
Tabla 6.	Prueba de separación de medias por el método de Tukey a $p \leq 0.1$, para tratamientos pregerminativos y variedades de macadamia empleadas en cuanto a longitud de raíz en cm.	37
Tabla 7.	Número de injertos prendidos y muertos de macadamia, realizados en dos fechas.	38

RESUMEN

La macadamia (*Macadamia sp.*) es considerada como un cultivo no tradicional o exótico con buen valor comercial; por sus requerimientos ecológicos puede adaptarse muy bien en las zonas cafetaleras, sin embargo, presenta problemas en la propagación sexual para producción de plantas en vivero, por lo que este trabajo tuvo como objetivo analizar los aspectos agronómicos de la propagación sexual y asexual de macadamia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche), en condiciones de clima semicálido, en Huatusco, Veracruz. Se utilizaron semillas de las variedades: Huatusco, Victoria, Lewis y A-527, que fueron sometidas a diversos tratamientos pregerminativos, así como plantas de seis meses de edad de la variedad A-527, con los cuales se llevó a cabo la práctica de injerto, sometiéndoles a cuatro tratamientos (injerto de púa sin cubierta de botella de plástico, injerto de púa con cubierta de botella de plástico, injerto de yema sin cubierta de botella de plástico, injerto de yema con cubierta de botella de plástico). Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, tiempo de germinación, altura de planta, grosor de tallo, longitud de raíz, porcentaje de prendimiento y sobrevivencia del injerto. Los factores experimentales tuvieron un modelo completamente al azar, tanto para las semillas como en las plantas de macadamia injertadas. Los resultados mostraron diferencias significativas para la mayoría de las variables. El tratamiento pregerminativo exposición al sol de las semillas mostró los mayores porcentajes de germinación, así como el menor tiempo de germinación, y la variedad A-527 presentó el mayor número promedio de porcentaje de germinación, grosor de tallo y longitud de raíz, respecto a las demás variedades. El mayor porcentaje de sobrevivencia y prendimiento de los injertos en macadamia fue el injerto de púa y yema con el cubrimiento con botella de plástico y en el injerto sin botella se presentó la mayor mortalidad de los injertos. En la variedad A-527, el injerto de yema fue el que presentó un 30 % más de prendimiento con respecto al injerto de púa.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de frutales perennifolios conlleva el manejo de la propagación como medio para obtener mejores individuos, que se adapten a las condiciones edafoclimáticas del lugar donde se proyecta producir estos cultivos.

El cultivo de macadamia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) está considerado como un cultivo no tradicional o exótico con alto valor comercial, por la diversidad de usos y la apreciación monetaria en el mercado de la nuez. En la actualidad se presenta como una alternativa para la diversificación de la producción agrícola, ya que por sus requerimientos ecológicos puede adaptarse muy bien en las zonas cafetaleras (Díaz, 2015).

Sin embargo, se han observado problemas en la propagación sexual con fines de producción de plantas en vivero. Así se ha buscado en la propagación asexual el medio para conseguir mayor homogeneidad en la plantación y disminuir el periodo de juvenibilidad de los árboles (Chum, 2011).

Las primeras plantaciones de macadamia en México se establecieron por medio de semillas, sin tomar en cuenta que la macadamia es de polinización cruzada, por lo cual las plantas reproducidas por semillas presentaron alta variabilidad genética, lo que afectó la uniformidad de la plantación (Díaz, 2015).

Debido a la gran demanda comercial de plantas de macadamia para establecer nuevas plantaciones y renovar huertas con nuevos cultivares, es importante estudiar métodos de propagación asexual, pues con las técnicas tradicionales generalmente se obtiene una baja eficiencia en la sobrevivencia de plantas injertadas, además la producción de plantas lleva de dos a tres años en vivero (Nicolás *et al.*, 1998).

En el Estado de Veracruz se presentan condiciones favorables para la producción del cultivo de macadamia, principalmente en la franja cafetalera donde se ubica el municipio de Huatusco, y en la búsqueda de mejorar la producción de plantas en vivero se definieron los siguientes objetivos del trabajo de investigación.

1.1. Objetivo general

- Evaluar los aspectos agronómicos de la propagación sexual y asexual de macadamia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche), en condiciones de clima semicálido.

1.1.1. Objetivo particular

- Comparar diversos tratamientos pregerminativos en semillas seleccionadas de cuatro variedades de macadamia, en Huatusco, Veracruz.
- Determinar el porcentaje de prendimiento de dos tipos de injerto en esta planta.
- Analizar los factores agronómicos y morfológicos que influyen o determinan el éxito de la propagación sexual y asexual de la macadamia.

1.2. Hipótesis

- Con un manejo adecuado se incrementa el porcentaje de germinación de semillas y prendimiento de injerto del cultivo de macadamia.

II. ANTECEDENTES

2.1. Importancia del cultivo de macadamia en México

Ante la problemática cafetalera que ha enfrentado el país, fue necesario buscar alternativas que contribuyeran a la diversificación productiva en zonas cafetaleras; tal es el caso de la macadamia, árbol frutal de origen australiano, cultivado de manera incipiente en México, que ha cobrado importancia en la zona central del estado de Veracruz (Robledo y Escamilla, 1988).

La introducción de la macadamia a México se promovió principalmente por el extinto Instituto Mexicano del Café (INMECAFÉ) en los años sesentas, época de crisis cafetalera por su bajo precio internacional (Velázquez, 2017). Esta introducción se llevó a cabo mediante un programa de diversificación de especies en las áreas cafetaleras, donde se distribuyeron cientos de árboles de esta nuez, que generó el interés entre los productores, por lo que en 1971 el Programa Nacional del Café importó cerca de 1,000 árboles procedentes de semillas de San Diego California, Estados Unidos, y los distribuyó en los estados de Guerrero, Jalisco, Nayarit, Michoacán y Veracruz. De estas primeras plantas hasta 1991 se conservaban árboles en producción, distribuidos en huertos del estado de Michoacán y Veracruz (Trinidad, 2010).

La nuez de macadamia posee un alto valor nutricional, característica importante que impacta positivamente en la calidad de la dieta alimenticia familiar si es consumida. Asimismo, proporciona al cafetal la sombra necesaria para su desarrollo, y el fruto, esto es, la nuez de macadamia, puede comercializarse a precios altos. En el estado de Veracruz es poco cultivada de manera comercial; sin embargo, su producción en forma intercalada con el cultivo del café ha venido en aumento (Landeros *et al.*, 2011). El cultivo de la macadamia ha despertado mayor interés en estados donde el café juega un papel importante gracias a su característica, de ser establecida en las plantaciones cafetaleras en forma asociada, sin necesidad de desplazarlo, sino en una forma asociada, lo que permite y así contar con dos ingresos (Trinidad, 2010).

Durante el periodo 2001-2011 la producción de macadamia en México se concentró en los estados de Puebla, Veracruz, Michoacán y Chiapas, En 2013, estas entidades tuvieron una participación en la producción nacional de 71 %, 16.5 %, 6.3 % y 3.9 %, respectivamente. Hacia

2014 Puebla tuvo la mayor producción de macadamia con 1,829.70 toneladas al año, seguido de Veracruz con 456 toneladas al año (Velázquez, 2017).

México por su privilegiada ubicación geográfica es uno de los pocos países donde hay una gran biodiversidad de especies endémicas y no endémicas; gracias a sus diversos ambientes se puede desarrollar una gran cantidad de especies, como lo es el cultivo de macadamia. Así, existen en el país alrededor de 3'029,200 hectáreas (ha) aptas para ser cultivado, la mayoría en las vertientes de barlovento de las principales cadenas montañosas, sin embargo, en la actualidad solo 1,307 ha son cultivadas con esta especie frutal (Antaramián y Ramírez, 2009).

La nuez de macadamia es un frutal considerado como la reina de las nueces debido a su gran valor nutritivo y potencial de alto valor agregado, perteneciente al segmento de cultivos no tradicionales, o exóticos. Por su alto contenido de aceite monoinsaturado, es un alimento de excelente calidad, utilizado en una buena cantidad de platillos, consumida en forma natural o industrializada para botana, en galletas, confitería, paletas y nieves. Con base a estas características se la relaciona con el mercado gourmet (Torres, 2012).

2.2. Características generales del cultivo de macadamia

La macadamia es originaria de Australia, de los bosques lluviosos tropicales y subtropicales del norte de Nueva Gales del Sur y del sur de Queensland; este árbol frutal fue descubierto por Allan Cunningham, botánico inglés, que en 1828 colectó el primer ejemplar y lo clasificó dentro del orden de Proteaceae (Robledo y Escamilla, 1988). En 1857, Ferdinand von Mueller, botánico australiano junto con Walter Hill, realizaron una exploración botánica recolectando diferentes tipos de plantas en los bosques australianos a lo largo del río Pine en el sur de Queensland, y allí se hizo la primera recolección botánica de esta planta. Ferdinand von Mueller la bautizó formalmente como género *Macadamia* en honor a su amigo John Macadam, famoso científico australiano (Sol, 2011). En un principio, los aborígenes australianos llamaron a este frutal kindal-kindal, luego se le llamó nuez de Queensland y después nuez de Australia. Su distribución se localiza principalmente en el hemisferio sur: África, Asia, Malasia, América del Sur. Los principales países productores del mundo son: Australia, Estados Unidos (Hawái), Sudáfrica,

Kenia, Malawi, Guatemala, Brasil y Costa Rica. Se considera como el cultivo mejor desarrollado comercialmente en Australia donde las plantaciones se ubican en Queensland y sur de Gales; se estima que se han instalado 700 fincas productoras de esta nuez en ese país, con una superficie total de 12,000 ha, donde 98 % de las plantaciones pertenecen a la especie *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche, por su preferencia comercial (Velázquez, 2017).

El género *Macadamia* (Proteaceae), se compone de cuatro especies de árboles de hoja perenne endémica de las selvas tropicales y subtropicales, franjas de selva tropical de Australia del este. Dos especies, *M. jansanii* y *M. ternifolia*, no son comestibles debido a la presencia de altos niveles de glucósidos cianogénicos. *M. integrifolia* y *M. tetraphylla* son los cultivares de que contienen niveles bajos de glucósidos en sus núcleos maduros y pueden comestibles (Trueman, 2013).

2.2.1. Descripción botánica

De acuerdo a Lozano (2013), la clasificación taxonómica de la macadamia es:

Reino: Vegetal

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsidae

Orden: Protales

Familia: Protáceae

Subfamilia: Grevilleoideae

Género: *Macadamia*

Especie: *integrifolia* Maiden & Betche.

tetraphylla L.

La macadamia, tiene 10 especies ya identificadas, aunque solamente *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche y *Macadamia tetraphylla* L., junto a algunos híbridos generados entre ambas, son las especies de esta familia que actualmente tienen importancia económica (Reyes y Lavín, 2014).

2.2.2. Descripción morfológica

Los árboles son grandes y extensos, llegando a medir de 15 a 18 m de altura. Existen tipos más erguidos que se seleccionan por su aptitud para plantaciones más cerradas. La corteza es rugosa, café y rojo oscuro cuando se corta. Las ramillas son cilíndricas y están recubiertas con pequeñas lenticelas. El crecimiento en el árbol maduro ocurre en dos rebrotes anuales, un rebrote a mitad de verano y uno en primavera. El último rebrote se asocia con floración o sigue a la floración. En árboles jóvenes pueden ocurrir cuatro rebrotes. La elongación puede ser de 300 a 500 mm, está compuesto de 7 a 10 nudos y está definido en su base por un nudo sin hojas. El nudo está formado a partir de hojas rudimentarias de la punta del rebrote anterior, las cuales no se expanden con el rebrote nuevo (Sol, 2015). Las hojas son de forma espatulada, color verde oscuro brillante en el haz y opacas en el envés, de 6 a 30 cm de largo por 2 a 12 cm de ancho. La *M. tetraphylla* L. posee cuatro hojas por nudo, los bordes son aserrados y con espinas; mientras que *M. integrifolia* Maiden & Betche, presentan tres por nudo y con márgenes lisos (Carvajal y Bedoya, 2010).

La macadamia tiene raíces proteoides, las cuales se presentan como racimos de raicillas en hileras bien definidas alrededor del eje de la raíz madre. La función principal de las raíces proteoides parece ser la de incrementar el área de la superficie del sistema de raíces para una máxima absorción. Se ha encontrado que la tierra trasladada de árboles bien establecidos promoverá el desarrollo de estas raíces en plantas de vivero (Sol, 2015).

Las flores se desarrollan en forma de racimos colgantes de 10 a 25 cm de longitud conteniendo entre 100 y 300 flores, ubicadas en grupos de 3 a 4 por axila, aunque solo un pequeño porcentaje de estas llega a formar nueces maduras. Los árboles maduros pueden producir hasta 2,500 racimos en cada estación de floración. Cada flor está sostenida individualmente por un pedúnculo corto, el cáliz tiene forma de tubo de 10 a 14 mm de largo y puede ser blanco o rosado, según la especie y variedad (Mapel, 2014). Los racimos florales nacen de las axilas de las hojas. Los frutos se originan de un pequeño porcentaje de las flores del racimo floral (75 a 100 % por racimo), presentándose en pares a lo largo de la inflorescencia. Esto permite obtener alrededor de 10 a 12 frutos por estructura floral, siendo raro encontrar más de 20 (Lavín *et al.*, 2001).

El fruto es un folículo (Figura 1) más o menos esféricos de 2.5 a 5 cm de diámetro con un ápice duro y corto. El pericardio que es carnosos y verde, contiene una nuez, que en *M. tetraphylla* es ligeramente elíptica y la cascara rugosa, a diferencia de la *M. integrifolia* donde la nuez es redonda y de cascara

lisa. Las nueces de color café contienen a su vez la almendra que es la parte comestible que madura siete meses luego de la floración (Carvajal y Bedoya, 2010).

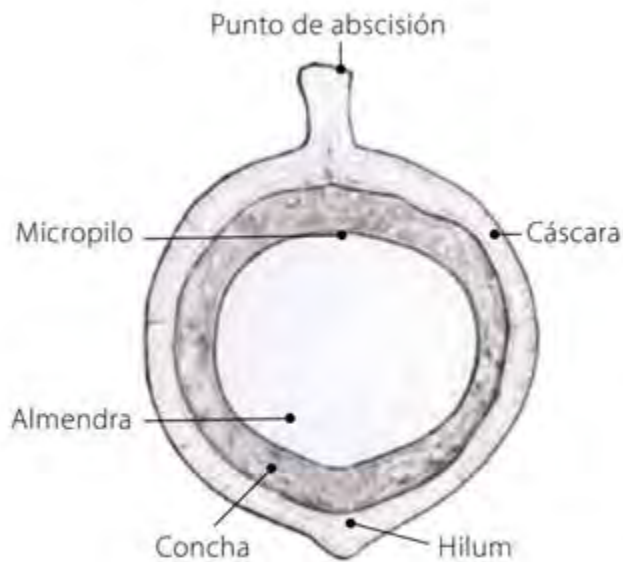


Figura 1. Corte longitudinal del fruto de macadamia (Sol, 2011).

2.2.3. Descripción fenológica

En la zona centro de Veracruz, que incluye el municipio de Huatusco, Robledo y Escamilla (1988), definieron seis etapas fenológicas para la macadamia, con variaciones de acuerdo a las especies cultivadas, destacando floración, fructificación y cosecha. Lozano (2013) describió las siguientes etapas.

a) Primera etapa: Fase vegetativa: El sistema radical se extiende en los primeros 30 cm del suelo, la raíz es pivotante y puede alcanzar una profundidad de 75 a 80 cm. El árbol puede alcanzar de 9 a 12 m de altura en estado silvestre. En cultivo alcanza de 9 a 15 m donde tiende a extenderse y ramificarse. La madera es de grano grueso; no se rompe fácilmente. Las hojas son de forma espatulada, coriáceas, de color verde oscuro brillante en el haz y opaca en el envés, de 10 a 30 cm de largo por 3 a 8 cm de ancho, con bordes marcadamente ondulados con espinas o sin ellas según el cultivar. La *Macadamia integrifolia* adulta tiene tres hojas por nudo y en estado juvenil solo presenta dos hojas. De acuerdo con Robledo y Escamilla (1988), los valores más altos de crecimiento vegetativo estacional se registran durante los meses de abril-junio y julio-

septiembre, coincidiendo con la época de lluvias y el incremento de la temperatura durante el verano en la zona de Huatusco, Ver.

b) Segunda etapa: Fase reproductiva: El ciclo de floración y fructificación se inicia con la inducción floral a partir de la diferenciación de la yema floral. Tras un periodo de reposo y maduración, la yema se desarrolla dando lugar a la flor, la cual pasa por diversos estados fenológicos que terminan en el cuajado del fruto (Gastigar, 1998). De acuerdo con Lozano (2013) esta incluye la inducción floral y la polinización.

c) Tercera etapa: Etapa de fructificación: Esta etapa, como lo mencionó Montes *et al.* (2009) se puede dividir en las etapas de amarre, crecimiento y madurez fisiológica del fruto.

- El **amarre de frutos** comprende el periodo entre la polinización de la inflorescencia hasta el momento cuando alcanzan un diámetro entre 0.7 y 0.9 cm. En el comienzo de este periodo el cuajado es abundante, pero muchos frutos jóvenes se desprenden y caen al suelo. Esta etapa tiene una duración de 42 días después de la fecundación.

- El **período de crecimiento del fruto** comprende desde el momento cuando el fruto alcanza un diámetro aproximado de 0.9 cm hasta que empieza la madurez fisiológica. En este periodo se lleva a cabo una gran actividad de división celular, lo que origina aumento de volumen y peso hasta alcanzar el tamaño normal, siendo característico de cada variedad.

- La **madurez fisiológica** comienza cuando finaliza el crecimiento del fruto y se extiende hasta cuando éste cae del árbol. En esta etapa se produce una serie de transformaciones bioquímicas que le dan las características de acumulación de aceite y sabor especiales. Una vez termina la madurez fisiológica se presenta el agrietamiento de la cáscara y finalmente la caída.

- El **desarrollo final del fruto** esta en función del número de células producidas durante el periodo de división y del volumen alcanzado por ellas durante el engrosamiento y maduración del fruto propio de cada variedad.

Una vez que el fruto llega a la madurez fisiológica, se desprende del árbol y cae al suelo donde es recogido posteriormente. La **época de cosecha** varía de acuerdo a las localidades y especies, reconociéndose dos periodos bien establecidos: julio-septiembre para las zonas cálidas y semicálidas, y noviembre-febrero para las templadas (Robledo y Escamilla 1988).

2.3. Aspectos fisiológicos de la germinación de semilla

La germinación es el proceso que se inicia con la toma de agua por la semilla seca (imbibición) y termina cuando una parte de ésta atraviesa las estructuras envolventes que la rodean (emergencia) (Azcón y Talón, 2013).

La germinación involucra todos aquellos procesos que comienzan con la absorción de agua por la semilla quiescente, y terminan con la elongación del eje embrionario. La señal visible de la finalización de la germinación es, en general, la emergencia de la radícula embrionaria a través de las cubiertas seminales, aunque en el ámbito de la producción es aceptado que la señal de la germinación suele tomarse como la visualización de la plántula viable emergiendo del suelo (Varela y Arana, 2011).

Para que la semilla tenga una recuperación de su actividad biológica, es necesario que se den una serie de condiciones ambientales favorables como son: un sustrato húmedo, suficiente disponibilidad de oxígeno que permita la respiración aerobia y, una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos y para el desarrollo de la plántula. Así, la germinación consiste en tres fases parcialmente simultáneas (Universidad Politécnica de Valencia, 2003).

a) Fase de hidratación: la absorción de agua es el primer paso de la germinación, sin el cual el proceso no puede darse. Durante esta fase se produce una intensa absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman la semilla. Dicho incremento va acompañado de un aumento proporcional en la actividad respiratoria.;

b) Fase de germinación: representa el verdadero proceso de la germinación. En ella se producen las transformaciones metabólicas, necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse.

c) Fase de crecimiento: es la última fase de la germinación y se asocia con la emergencia de la radícula (cambio morfológico visible). Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria (Figura 2).

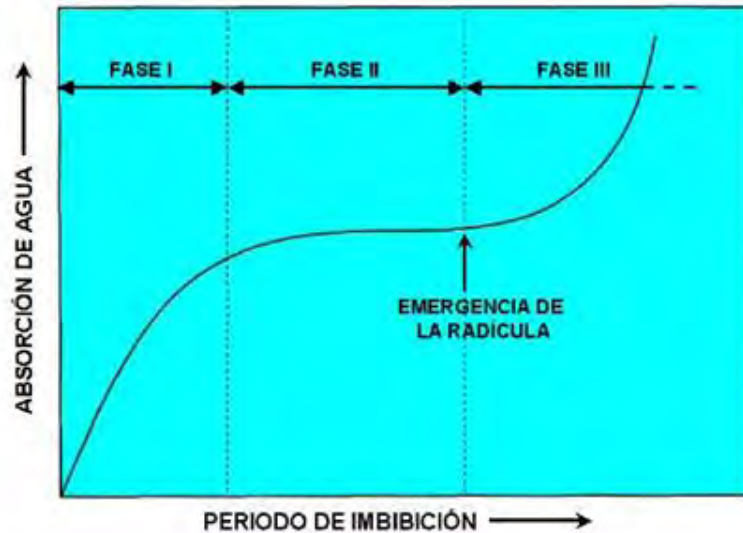


Figura 2. Fases de la imbibición de agua por una semilla, medida mediante el incremento en peso fresco durante el proceso de germinación (Universidad Politécnica de Valencia, 2003).

La emergencia radicular es el proceso por el cual la radícula o el eje embrionario atraviesa los tejidos envolventes y pasan de un metabolismo preferentemente anaerobio a otro típicamente aerobio. La emergencia marca el fin de la germinación y el comienzo del crecimiento de la plántula. Este proceso lo conduce básicamente la elongación celular (Azcón y Talón, 2013).

En la mayoría de las semillas la radícula del embrión está cerca del micrópilo, por donde el agua se absorbe con más facilidad y rapidez que atravesando la cubierta seminal. A medida que la radícula se hincha, ejerce una presión sobre la cubierta, que normalmente se abre por vez primera en este punto para liberar la radícula. Esto da lugar a la raíz primaria, que penetra en el suelo y produce pronto raíces laterales. Las fases siguientes dependen de si la especie presenta germinación epigea, donde el hipocótilo se alarga y los cotiledones se elevan por encima del suelo, en la germinación hipogea no se desarrolla el hipocótilo, y los cotiledones se quedan sobre el suelo o enterrados en él; las semillas de macadamia presentan germinación hipogea (Figura 3) (Universidad Politécnica de Valencia, 2003).

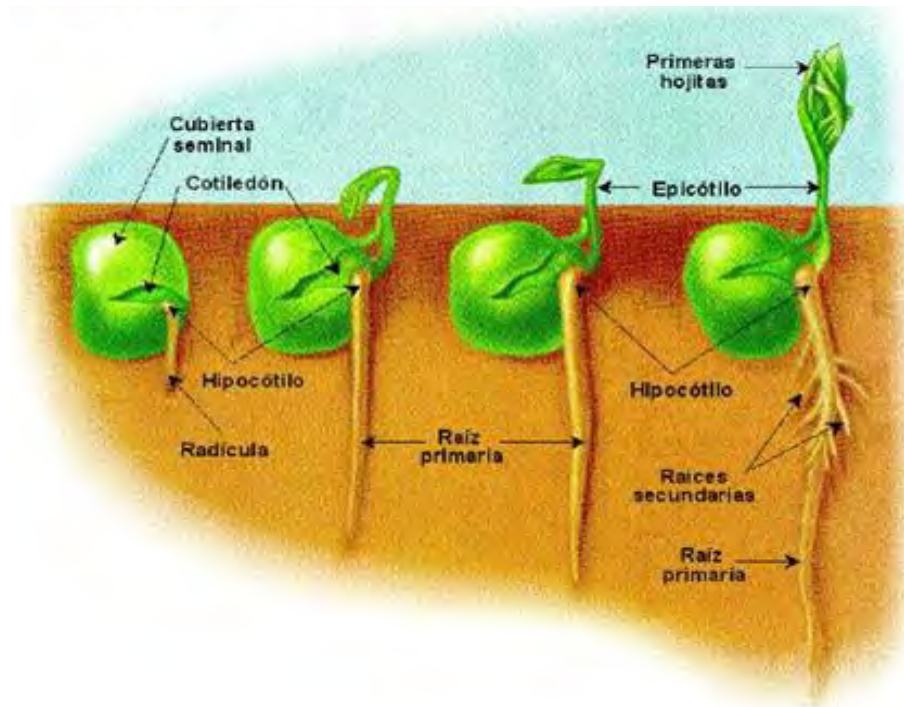


Figura 3. Germinación hipogea de la macadamia (Universidad Politécnica de Valencia, 2003).

En la germinación hipogea los cotiledones tienen únicamente la función de almacenamiento de nutrientes, mientras que en la germinación epigea pueden desempeñar también una valiosa función de fotosíntesis durante las primeras fases de crecimiento del germen.

Latencia o dormición es el estado en el cual una semilla viable no germina, aunque se coloque en condiciones de humedad, temperatura y concentración de oxígeno idóneas para hacerlo. De ello se deduce que las semillas pueden mantener su viabilidad durante largos períodos de tiempo. Gracias a ello, las semillas sobreviven en condiciones desfavorables y adversas, aunque no indefinidamente (Doria, 2010).

Las causas de latencia pueden radicar en las cubiertas seminales o en el embrión, y se manifiesta solamente en la semilla intacta mientras que el embrión aislado es capaz de germinar. La semilla es durmiente porque los tejidos que rodean al embrión ejercen una restricción que éste no puede superar. Si el embrión es durmiente en sí mismo, la eliminación de las cubiertas seminales no conlleva a su germinación (Pita, 1998). Los principales mecanismos por los cuales las cubiertas seminales imponen la dormición son los siguientes:

- Restricciones mecánicas
- Interferencia con la captación de agua
- Interferencia con el intercambio gaseoso
- Presencia de inhibidores (se presenta en las cubiertas)
- Interferencia a la salida de inhibidores

2.3.1. Tratamientos pregerminativos

Las semillas de algunas especies poseen una cubierta dura e impermeable que impide totalmente la imbibición de agua y a veces también el intercambio de gases. Sin imbibición e intercambios de gases son imposibles la reactivación del crecimiento embrionario y la germinación (Willan, 1991).

Así, los tratamientos pregerminativos son todos aquellos procedimientos necesarios para romper la latencia de las semillas, esto es, el estado en que se encuentran algunas tal que, aun estando vivas, no son capaces de germinar sino hasta que las condiciones del medio sean las adecuadas para ello (Varela y Arana, 2011). Tienen la finalidad de ablandar, perforar, rasgar o abrir la cubierta para hacerla permeable, sin dañar el embrión ni el endospermo que están en su interior. Comprenden métodos físicos y biológicos, calor seco y remojado en agua o soluciones químicas.

Por otra parte, todo tratamiento que destruye o reduce la impermeabilidad de la cubierta se denomina habitualmente escarificación. Por lo general basta destruir la impermeabilidad en un solo punto de la cubierta para que puedan producirse la imbibición y el intercambio de gases. La latencia química de la cubierta, debida a la presencia de sustancias químicas que están ubicadas en ella, inhiben la germinación del embrión, y puede romperse por lo general mediante algún tipo de tratamiento líquido que extrae esas sustancias químicas por lixiviación (Willan, 1991). Ante ello, de acuerdo con Varela y Arana (2011), los métodos pregerminativos más comunes son los siguientes:

a) Estratificación: Este tratamiento se utiliza para romper la latencia fisiológica, y consiste en colocar las semillas entre estratos que conservan la humedad, comúnmente arena o bien turba o vermiculita, en frío o calor. Puede ser de dos tipos:

- La estratificación fría: aquella donde se mantienen las semillas a temperaturas bajas (4 a 10 °C), sembrando a las condiciones de invierno, por un período que oscila entre 20 y 60 días, llegando inclusive hasta 120 días.

- La estratificación cálida: se basa en la necesidad de las semillas de estar sometidas a altas temperaturas para poder germinar. En este caso la temperatura empleada oscila entre los 22 y 30 °C, con un período de estratificación entre los 30 y 60 días.

b) Escarificación: esta puede ser de las siguientes formas:

- Mecánica: Consiste en raspar la cubierta de las semillas con lijas, limas o quebrarlas con un martillo o pinzas. Si es a gran escala se utilizan máquinas especiales como tambores giratorios recubiertos en su interior con papel lija, o combinados con arena gruesa o grava.

- Química: Consiste en remojar las semillas en compuestos químicos. Las semillas secas se colocan en recipientes no metálicos y se cubren con ácido sulfúrico concentrado en proporción de una parte de semilla por dos de ácido. Durante el período de tratamiento las semillas deben agitarse regularmente con el fin de obtener resultados uniformes. Al final del período de tratamiento se escurre el ácido y las semillas se lavan con abundante agua para quitarles el restante.

- Lixiviación: Las semillas son remojadas en agua corriente con la finalidad de remover los inhibidores químicos presentes en la cubierta. Este tratamiento también es empleado con el objetivo de ablandar la testa.

2.4. El injerto en frutales

El injerto es una técnica de multiplicación vegetativa que consiste en realizar la unión de determinadas partes de plantas distintas de manera que sigan creciendo como una única planta. Es un método de propagación o multiplicación vegetativa muy usado en especies leñosas y en particular en frutales, ya que permite disponer en un portainjerto, que proporcionará el sistema radicular, y una parte aérea (la variedad), que aportará las ramas, las hojas, flores y frutos (Casas y Centeno, 2016). Mediante el injerto se pueden fijar a lo largo del tiempo algunas características varietales que no se quieren perder, lo que podría ocurrir al realizarse la reproducción sexual por semillas. Pero además se practican injertos para adelantar fructificación, cultivar en terrenos muy duros o desfavorables (mediante patrones resistentes), reducir el tamaño de algunos árboles, para multiplicar variedades estériles e incluso para domesticar y mejorar especies silvestres (López *et al.*, 2014); y aún, para evitar algunas plagas del suelo como nematodos a través del uso de patrones tolerantes a ellos.

El injerto es una práctica necesaria en la macadamia, ya que con esto se homogeniza la calidad del fruto y se induce a la precocidad, pues si se utiliza planta obtenida de semilla se tiene el inconveniente de alargar el inicio de la producción de 8 a 12 años y con una calidad impredecible de frutos (Escamilla *et al.*, 2013).

Al árbol que actúa de sostén o soporte se le conoce con el nombre de patrón, pie o portainjeto, y la parte del vegetal sobre él implantado, sea un tallo, una yema acompañada de una porción de corteza o un fragmento de ramita de distinta longitud y grosor, se denomina injerto (Lamonarca, 2004).

Los patrones propagados por semilla se denominan patrones “francos”. Son patrones con una raíz pivotante profunda que favorece la adaptación a condiciones de escasez de agua. Son árboles de gran vigor y el principal inconveniente a la hora de su utilización en plantaciones comerciales, es su falta de homogeneidad de los árboles injertados en ellos (Espiau *et al.*, 2012).

Para la obtención de las yemas, es necesario realizar una buena selección de ellas ya que de ahí dependen los prendimientos. En primer lugar, hay que conocer el comportamiento de crecimiento del árbol durante el año para saber el momento más adecuado para cortar yemas, ya que se ha

observado que cuando se corta antes de que salgan brotes nuevos o antes de la floración se pueden mejorar los prendimientos. De esta manera, la yema para injertar debe tener las siguientes características: provenir de un árbol sano y que sus yemas se encuentren abultadas, que se encuentran en el lado donde la rama está más soleada, dependiendo del tipo y método de injertar, pero con un solo nudo es suficiente para un injerto (Escamilla *et al.*, 2013).

En macadamia se realizan diferentes tipos de injertos, los más comunes son el tipo incrustación o púa terminal y el injerto juvenil de púa terminal. A continuación, se describen estos dos métodos más de injertación de este cultivo (Escamilla *et al.*, 2013):

- Inglés simple: Este tipo de injerto es uno de los más sencillos de realizar y consiste en llevar a cabo un corte oblicuo y del mismo tamaño, tanto en patrón como en la vareta buscando que los tallos de ambos sean del mismo diámetro para que coincidan los cortes (Figura 4).



Figura 4. Injerto simple (Millán y Salvador, 2018).

- Injerto juvenil de púa terminal: En este caso, se realiza un procedimiento parecido al injerto en el cultivo de café, es decir, se siembra la semilla en semilleros o camas de germinación, en donde una vez germinada esta se convierte en patrón y se dejan hasta que tienen una altura de 10-15 cm, posteriormente los patrones son extraídos y antes de ser trasplantados a la bolsa son injertados (Figura 5).

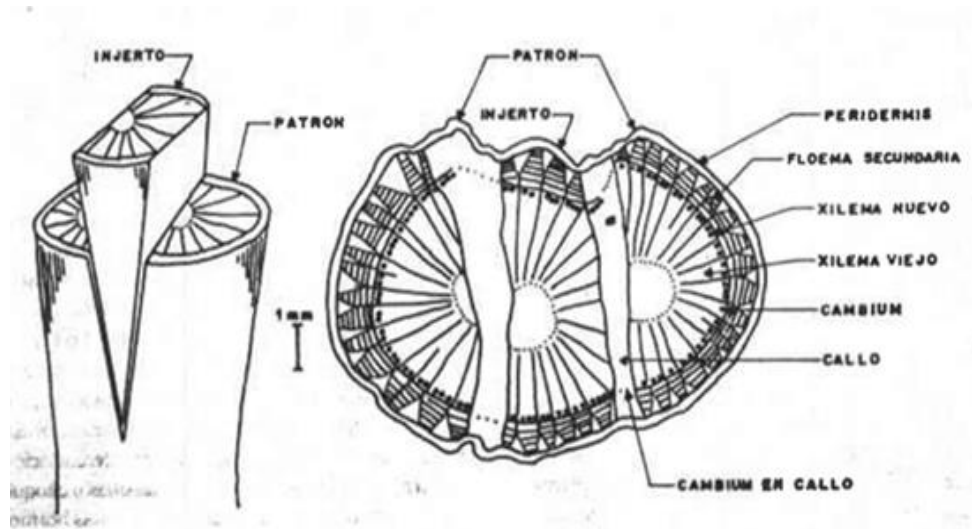


Figura 5. Injerto de púa (Esau, 1976, citado por Cartagena, 1998).

2.4.1. Aspectos fisiológicos

La cicatrización de un injerto puede considerarse como la cicatrización de una herida. Una herida similar a la que se produce cuando se parte longitudinalmente una rama. La lesión en el injerto se cicatriza rápidamente si las dos partes cortadas se unen y se atan estrechamente. La proliferación de células en la región cambial de ambas partes producen nuevas células de parénquima, formando callo, o se diferencian para producir las conexiones de xilema y floema entre las partes puestas en contacto (Cartagena, 1998). Es importante el contacto íntimo entre el cambium del patrón y del injerto, incluso en el caso de que ambos sean de distintos diámetros, las zonas cambiales deben estar en contacto, aunque sea parcialmente, en caso contrario, la unión no podría producirse aunque el callo se forme y ambas partes tardarían un tiempo en morir (Cristóbal, 2011).

Son varios los factores que influyen en la formación del callo y la diferenciación de tejidos de conducción. La adecuada actividad del patrón y la yema son importantes para tener éxito en el injerto. La técnica de injertación también es importante, algunas especies solo pueden propagarse con determinado método, en tanto que un viverista puede tener más éxito con una técnica que para otro es un completo fracaso (Cartagena, 1998).

La presencia de virus puede reducir el porcentaje de prendimiento al igual que algunos insectos pueden afectarlo porque se alimentan del callo que se forma en el sitio de unión. Asimismo, la presencia de hongos y bacterias en el sitio de contacto puede reducir considerablemente el número de plantas injertadas.

La incapacidad de dos plantas diferentes injertadas entre sí, para conducir con éxito una unión y desarrollarse satisfactoriamente como una planta compuesta, es llamada incompatibilidad. Los síntomas evidentes de este problema son que la unión del injerto no se concrete, también ocurre que la unión es satisfactoria, pero pasando un tiempo se generan deformaciones, crecimiento excesivo de una de las dos partes, amarillamiento del follaje con defoliación temprana y muerte prematura de la planta (Cristóbal, 2011).

2.4.2. Aspectos agronómicos

Para propagar la nuez de macadamia no se recomienda que se realice por semilla ya que el desarrollo de la plantación, así como la producción, puede resultar muy heterogénea. Las variedades recomendadas se deben propagar por injerto, para obtener precocidad y uniformidad tanto en el crecimiento como en la producción y lograr buena calidad.

El punto de partida es la obtención de patrones, para lo cual, las semillas se deben plantar en suelo poroso (arenoso) con un excelente drenaje, aproximadamente a 2 cm de profundidad y 8 cm de separación entre cada semilla. Esta cama de semillas debe estar ligeramente sombreada y debe regarse frecuentemente (Sol, 2011). Existen muchos tipos de sustratos, pero los más usados son las cascarillas, arena y tierra, solos o mezclados. Se debe buscar un sustrato que no produzca pudriciones ni requiera riegos continuos. El mejor sustrato para esta actividad es la arena (Escamilla *et al.*, 2013).

Dependiendo de la temperatura, las semillas germinan en un período de 1 a 3 meses; aunque en la mayoría de las nueces ocurre entre la tercera y quinta semana. En cuanto las plántulas tienen 5 cm de alto y de dos a tres hojas verdes, se trasplantan a bolsa (Sol, 2011).

Después que las semillas han germinado y las plántulas tienen de 10 a 15 cm de altura, con las primeras 4 o 5 hojas bien formadas, se procede a trasplantar al vivero. Se siembran las plántulas en bolsas de plástico negro, perforadas, de 60 cm de alto por 30 cm de ancho, llenadas de tierra

fértil y con el mismo material que el de las camas. Se colocan las fundas en doble hilera con una distancia entre plantas de 30 cm y entre hileras dobles de 1.5 m para facilitar el proceso de injertación. Las plántulas deben trasplantarse de forma que su sistema radical quede en posición vertical, sin torceduras, para evitar la mala formación de la raíz conocida como cola de marrano. Si la raíz pivotante es muy larga, debe cortarse a 10 cm del suelo (Díaz, 2006).

Se selecciona la vareta de los árboles de la variedad deseada, de preferencia que no sea en época de crecimiento vegetativo, y se le hace un anillamiento a la rama eliminando la corteza de 1 cm de ancho. Esto se realiza de 6 a 8 semanas antes de cortar la vareta; de esta manera la vareta acumula nutrimentos. Una vez cortada se procede a hacer la injertación (Sol, 2011). Los tipos de injerto más comunes son el tipo incrustación o púa terminal y el injerto juvenil de púa terminal. (Escamilla, 2003).

La injertación se realiza cuando el tallo del patrón tiene una altura de 40 cm o alcanza un diámetro de 1 cm, aproximadamente. Las varetas seleccionadas para la injertación deben proceder de árboles sanos, vigorosos y fuertes, alcanzar un diámetro similar al del patrón y una longitud de 10 cm o tener de dos a tres nudos (Díaz, 2006).

2.5. Experiencias en el manejo de la propagación de macadamia

De acuerdo con Villagómez (1993) con el fin de establecer cuál era la edad de la vareta y la época más apropiada de extraerla, así como el diámetro de patrón más adecuado para realizar el injerto en macadamia, utilizó plantas patrones de *Macadamia tetraphylla* que tenían un año de edad aproximadamente, las cuales injertó con el método de púa lateral. Estableció tres tratamientos que fueron: T1 (patrón de diámetro 0.8 a 1.2 cm y vareta de dos años de edad), T2 (patrón de diámetro 0.8 a 1.2 cm y vareta mayor de dos años de edad), T3 (patrón de diámetro 1.2 a 1.6 cm y vareta mayor de dos años de edad); y evaluó el porcentaje de prendimiento y la longitud de los brotes. Los resultados no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en estudio en ninguno de los dos parámetros evaluados; pero si encontró diferencias estadísticas para el porcentaje de prendimiento, con la mejor época correspondiente al mes de octubre con 56.6 %, seguida del mes de diciembre con 43.3 %. Además, el más alto

porcentaje de prendimiento lo obtuvo en el T2 del mes de octubre con 75 %. El tiempo promedio aproximado para el inicio de brotación fue de unos 40 días después de la injertación.

Por su parte Ávila (1999), con semilla recién cosechada de macadamia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) evaluó tratamientos de remojo en agua y ácido giberélico (AG₃) a 10, 100, 500, 1,000 y 5,000 mg L⁻¹, por 24 horas, así como tres posiciones de siembra: con la sutura abajo, lateral y arriba; y dos tipos de rajado de la cubierta: de forma manual y al sol. Concluyó que el ácido giberélico ayudó a acelerar la germinación y el crecimiento de la plántula tanto en semilla recién cosechada como rajado al sol. La dosis entre 500 y 5,000 mg L⁻¹ de ácido giberélico fueron las más adecuadas para acelerar la geminación y el porcentaje de semillas geminadas. La posición de siembra que resultó mejor fue con la sutura hacia abajo.

En su momento y con la finalidad de estudiar algunas prácticas para propagar asexualmente la macadamia (*Macadamia integrifolia* y *Macadamia tetraphylla*), Cruz *et al.* (2000), realizaron 200 injertos de enchapado lateral en plántulas de macadamia de 9 meses de edad, provenientes de semilla del híbrido L21, con varetas de los híbridos L46 y L80. Las plantas injertadas fueron introducidas en una cámara con nebulización intermitente. La variable evaluada fue el porcentaje de prendimiento. Concluyeron que el porcentaje de prendimiento de injertos sobre portainjertos provenientes de semilla de la selección de macadamia L21, fue diferencial con respecto al genotipo, con mayores valores para la selección L46 con un 65 % de éxito en comparación con varetas de la selección L80 con un 35 % de injertos prendidos.

Arenas *et al.* (2007) aplicaron tratamientos pregerminativos a las semillas de las variedades HAES 660 y HAES 333, los cuales fueron: remojo en agua por 12 horas, exposición al sol por 8 horas, remojo en agua 12 horas, remojo en AG₃ en por 12 horas en 1500 mg L⁻¹ y 3000 mg L⁻¹, escarificación en H₂SO₄ durante 15 y 10 minutos, remojo en ácido giberélico por 24 horas a 1500 mg L⁻¹ y 3000 mg L⁻¹, y el testigo. Concluyeron que el tratamiento pregerminativo de remojo en agua durante dos períodos de 12 horas con exposición al sol por 8 horas, incrementó la velocidad de emergencia, con aproximadamente un 99 % en las semillas de ambas variedades.

Dalastra *et al.* (2010) evaluaron la aparición y desarrollo de plántulas de nuez de macadamia en función de la escarificación mecánica y la concentración de ácido giberélico aplicado a las semillas, para lo cual realizaron incisiones de 0.5 cm de largo de la concha de las semillas,

dejando expuestas las almendras, posteriormente fueron sumergidas en ácido giberélico a concentraciones de 150, 300, 450 mg L⁻¹, durante 90 horas. Con esto concluyeron que remojar las semillas de nuez de macadamia en ácido giberélico durante 90 horas perjudica la emergencia de las plántulas. La incisión, como forma de escarificación, disminuye significativamente el porcentaje de emergencia y desarrollo de plántulas.

Chum (2011) determinó la efectividad del injerto a diferente altura del portainjerto para valorar el prendimiento y brotación en nuez de Macadamia (*Macadamia integrifolia*) en fase de vivero, en plantas con alturas 20, 25, 30, 35 y 40 cm de la variedad Keaau Haes 660; para ello realizó el injerto de púa terminal utilizando varetas de la variedad Ikaika 333. Con base a los resultados, concluyó que realizar el injerto de púa terminal en porta injertos de 35 cm de altura fue estadísticamente el mejor tratamiento, el cual alcanzó un 93.25 % de prendimiento y una relación costo-beneficio correspondiente a 1:3.

En el mismo sentido, Díaz (2015) evaluó el prendimiento de injertos realizados en patrones de tres edades: 4 meses, 8 meses y 12 meses, los cuales fueron el tratamiento 1, 2 y 3, respectivamente. Las plantas de macadamia que utilizó como porta injerto fueron de la variedad Kau344, y como injerto utilizó la variedad Ikaika 333. El tipo de injerto que utilizó para esta investigación fue el de púa terminal, para evaluar el prendimiento de injertos se efectuaron dos lecturas, la primera a los 20 días después de injertadas y una última a los 45 días después de injertadas. Concluyó que el tratamiento 1 (4 meses) fue el más rentable, aunque los tratamientos dos y tres (8 y 12 meses, respectivamente) que presentaron un buen promedio de brotes, estuvieron por debajo en la comparación de costos.

Finalmente, De León (2018) planteó utilizar ácido sulfúrico y agua oxigenada como nueva técnica de escarificación para las semillas de macadamia, a lo cual sumergió las semillas en ácido sulfúrico al 75 %, durante cinco minutos, después lavó las semillas con abundante agua, y dejó la semilla sumergida en agua durante 24 horas. Para la escarificación de agua oxigenada al 50 % de concentración, se colocaron en dicha solución durante 24 horas. Las semillas de macadamia que se encontraban en el ácido sulfúrico, al momento que se introdujo en el mismo, cambio a color negro mientras que las que se sumergieron en agua oxigenada no tuvieron un cambio a simple vista. Concluyeron que no es efectivo utilizar esta práctica para la escarificación de semillas de macadamia.

III. METODOLOGÍA

3.1. Localización del área experimental

El presente proyecto se llevó a cabo en la comunidad de Auyantla, municipio de Huatusco, Veracruz. Huatusco se encuentra entre el Eje Neovolcánico y la Llanura Costera del Golfo Sur, en plena zona central del estado. Se ubica a $19^{\circ} 09' 49.47''$ de latitud norte y $96^{\circ} 56' 33.89''$ de longitud oeste; a una altitud promedio de 1,250 msnm. En la Figura 6 se presenta la ubicación del municipio de Huatusco (CEIEG, 2019). Posee dos unidades de suelos, uno denominado cambisol y otro luvisol; el primero se caracteriza por presentar en el subsuelo aspecto de roca y susceptibilidad a la erosión, el segundo presenta acumulación de arcilla en el subsuelo y alta susceptibilidad a la erosión (INAFED, 2016). Esta zona cuenta con una temperatura media anual de 18.8°C , con precipitación pluvial media anual es de 1,825.5 milímetros, con clima semicálido húmedo con lluvias todo el año (INEGI, 2009).



Figura 6. Localización de la comunidad de Auyantla, municipio de Huatusco, Veracruz (CEIEG, 2019).

3.2. Metodología

El presente se desarrolló en dos etapas, que fueron:

a) Selección y germinación de semillas: Se llevó a cabo una colecta en la zona de Huatusco, Ver., para seleccionar de forma física y visual, semilla de cuatro variedades de macadamia (Huatusco, Victoria, Lewis y A-527), que fueron sometidas a diversos tratamientos pregerminativos, para lo cual se plantearon los siguientes tratamientos:

- Tratamiento 1: Exposición al sol hasta que abran solas.
- Tratamiento 2: Escarificación por golpeo físico.
- Tratamiento 3: Inmersión en agua por 24 horas, a temperatura ambiente.
- Tratamiento 4: Inmersión en agua caliente por 3 minutos y seguida de la inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas.
- Tratamiento 5: Inmersión en ácido sulfúrico al 0.1 %, por un minuto y lavado con agua.
- Tratamiento 6: Estratificación a 8 °C, durante 72 horas.

El diseño de esta etapa fue con un modelo completamente al azar, con 9 semillas por tratamiento, y tres repeticiones. Fueron 162 semillas por variedad, en total 648 semillas de macadamia.

Posteriormente las semillas tratadas se depositaron en camas de 1.0 m de ancho x 4.5 m de largo, con una profundidad de cama elevada de 35 cm.

La siembra se llevó a cabo el 1 de enero de 2019 y se terminó esta etapa del proyecto el día 30 de abril del 2019, día en el cual se tomó la última lectura de emergencia de plántula de macadamia.

Las variables evaluadas fueron:

- Porcentaje de germinación: Al final de la etapa en el almácigo se determinó el porcentaje total.
- Tiempo de germinación: Se contabilizó a partir del inicio de emergencia de plántulas hasta el cierre de esta etapa.
- Altura de planta: se registró a los 40 y 120 días después de la siembra, con el uso de una regla.

- Grosor de tallo: Se midió al cierre de la etapa, en una muestra de tres plántulas de cada tratamiento.
- Longitud de raíz: Con el uso de una regla se midió la longitud de la raíz en el momento de finalizar la emergencia y pasar la plántula a la bolsa.

b) Práctica de injerto: Se consiguieron plantas de macadamia de seis meses de vida aproximadamente, de la variedad A-527. Las varetas para injertar se colectaron de árboles vigorosos, sanos y productivos, de la zona de Auyantla.

Los tratamientos evaluados en esta etapa fueron:

- Tratamiento 1: Injerto de púa, sin cubierta con botella de plástico.
- Tratamiento 2: Injerto de púa, con cubierta con botella de plástico.
- Tratamiento 3: Injerto de yema, sin cubierta con botella de plástico.
- Tratamiento 4: Injerto de yema, con cubierta con botella de plástico.

El diseño de esta etapa fue con un modelo completamente al azar, con 15 plantas en bolsas de plástico por tratamiento, con tres repeticiones; en condiciones de vivero y malla sombra. En total fueron 60 plantas. Las botellas de plástico sirvieron para tapar el injerto de cada planta.

La variable a evaluar fue el porcentaje de prendimiento y sobrevivencia del injerto.

3.2.1. Análisis estadístico

Para las variables de respuesta se realizaron análisis de varianza y posteriormente pruebas de medias por el método de Tukey, en ambos casos se consideró un nivel de significancia del 0.05. Los procedimientos se realizaron con el software Statgraphics® (Statgraphics Inc., 2018).

3.3. Materiales

- 2 kilos de semilla de cada variedad: Huatusco, Victoria, Lewis y A-527.
- 60 plantas de macadamia variedad A-527 de seis meses de emergidas.
- Agua.

- 50 ml de ácido sulfúrico.
- 90 varetas de macadamia de las variedades A-527
- Navaja.
- Cinta para amarre de injerto (Parafilm).
- Un martillo.
- Vernier.
- Regla.
- Botellas de plástico de 2 litros de capacidad, abiertas y desinfectadas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Germinación de semillas

4.1.1. Porcentaje de germinación

Después de 120 días de haber realizado la siembra (1 de enero de 2019), En el tratamiento 1 (exposición al sol hasta que abran solas las semillas) se presentó el mayor porcentaje de germinación con un 59.2 %, seguido por el tratamiento 2 (escarificación por golpeo físico), quien obtuvo 49.9 %. En el tratamiento 4 no se presentó germinación de las semillas (inmersión en agua caliente por tres minutos y seguida de la inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas). En la Figura 7 se observa el porcentaje promedio de cada tratamiento.

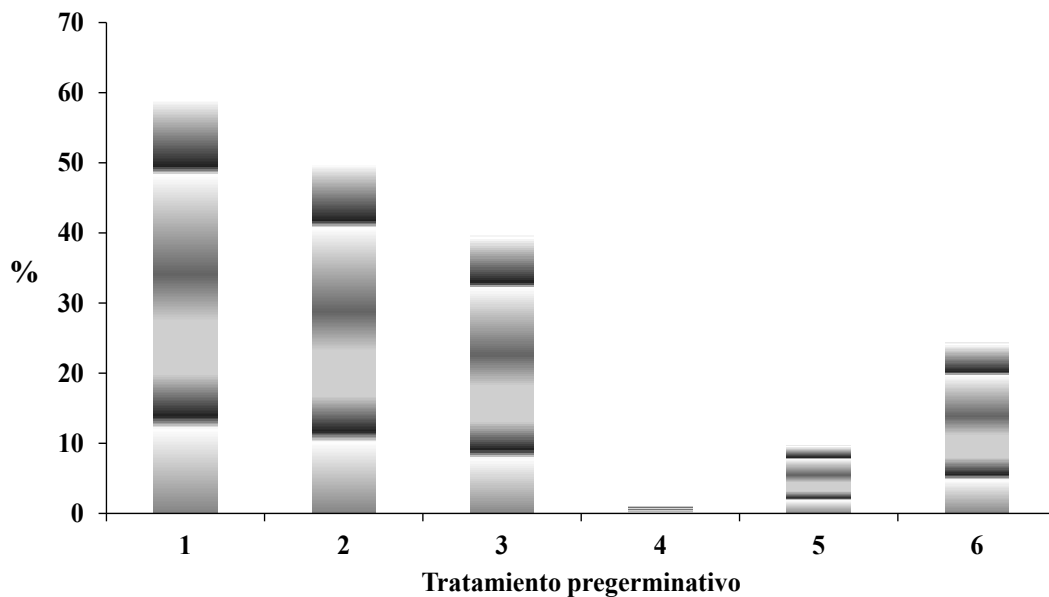


Figura 7. Porcentaje de germinación de semillas de macadamia sometidas a diferentes tratamientos pregerminativos (Elaboración propia).

Nota: Tratamiento 1: Exposición al sol hasta que abran solas. Tratamiento 2: Escarificación por golpeo físico. Tratamiento 3: Inmersión en agua por 24 horas, a temperatura ambiente. Tratamiento 4: Inmersión en agua caliente por 3 minutos y seguida de la inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas. Tratamiento 5: Inmersión en ácido sulfúrico al 0.1 %, por un minuto y lavado con agua. Tratamiento 6: Estratificación a 8 °C, durante 72 horas.

Se obtuvieron diferencias altamente significativas a $p \leq 0.1$, entre los tratamientos pregerminativos utilizados en las diferentes variedades (Tabla 1).

Tabla 1. Anova del porcentaje de germinación de semillas de macadamia, sometidas a diversos tratamientos pregerminativos.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadro Medio	F Calculada	F Tablas	
					0.05	0.01
Bloques	2	193.000	96.500	0.6244607	4.10 ^{NS}	7.56 ^{NS}
Tratamientos	5	31500.29167	6300.058333	40.768281	3.33 *	5.64 **
Error A	10	1545.333333	154.5333333			
Subtotal	17	33238.625	1955.213235			
Subtratamiento	3	7415.819444	2471.939815	13.390656	2.86 *	4.38 **
T x S	15	6396.763889	426.4509259	2.3101119	1.72 *	1.72 **
Error B	36	6645.666667	184.6018519			
Total	71	53696.875				

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio y la categoría estadística obtenida en la prueba de separación de medias por el método de Tukey a $p \leq 0.1$.

Tabla 2. Prueba de separación de medias por el método de Tukey a $p \leq 0.1$, para tratamientos pregerminativos y variedades de macadamia empleadas.

Tratamientos pregerminativos	Media
1- Exposición al sol	59.2 ^a
2- Escarificación	49.9 ^b
3- Inmersión en agua por 24 horas	39.7 ^c
6- Estratificación	24.3 ^d
5- Inmersión en Ácido sulfúrico	9.7 ^e
4- Inmersión en agua caliente	1 ^f
Variedades	Media
A-527	46.6 ^a
Victoria	32.3 ^b
Huatusco	22.5 ^c
Lewis	21.2 ^c

Nota: Letras iguales guardan igualdad estadística $p \leq 0.1$.

Las semillas de macadamia respondieron de forma diferencial al tratamiento pregerminativo aplicado. En este sentido, Ávila (1999) mencionó que el atraso en la germinación de la semilla de macadamia, dado lo duro de su testa, se puede reducir con distintos tratamientos, principalmente con la exposición al sol de las semillas hasta que abran por si solas, lo cual se corroboró en esta

investigación, que fue el tratamiento con mayor porcentaje de germinación. Asimismo, Arenas *et al.* (2007), mencionaron esta observación que se obtuvo en este trabajo.

La escarificación química con ácido sulfúrico concentrado en las variedades de semillas de macadamia, resultó ser uno de los tratamientos menos efectivos ya que en todas las variedades se obtuvo un bajo porcentaje de germinación lo cual fue señalado también por Arenas *et al.* (2007).

En cuanto a las variedades de macadamia utilizadas, existió diferencia altamente significativa entre ellas para la germinación. La variedad A-527 presentó el porcentaje de germinación más alto con 46.6 %, seguida de la variedad Victoria con 32.3 %; por su parte las variedades Huatusco y Lewis no presentaron diferencias estadísticas entre ellas, con 22.5 y 21.2 %, respectivamente.

En cuanto al tiempo de horas de sol que estuvieron expuestas, las semillas de la variedad A-527 fueron las que requirieron más tiempo (dos días) hasta que abrieron completamente todas las semillas; por el contrario, las semillas de la variedad Huatusco fueron las que necesitaron solo un día para abrir.

Al poner las semillas de macadamia al sol, hasta que abrieran por sí solas (tratamiento 1) se observó que, al abrirse la concha, la almendra quedó expuesta al exterior y esto ocasionó que la germinación fuera más rápida y uniforme en este tratamiento.

En las cuatro variedades utilizadas, la concha y la almendra no presentaron cambios a simple vista al momento de realizar la siembra. Con el transcurso de los días, algunas semillas de este tratamiento se fueron tornando de un color negro, principalmente en la concha, mientras que la almendra se deshidrató completamente hasta secarse, con la presencia de hongos (Figura 8); las semillas de macadamia con la concha de color negro, presentaron las características mencionadas anteriormente. En total se obtuvo 59.2 % de germinación en este tratamiento transcurridos los 120 días, mientras que el 40.8% de semillas murieron, y de ellas ninguna quedó con almendra o con signos visibles de estar viva, lo cual ocurrió en las cuatro variedades utilizadas.



Figura 8. Germinación de semillas de macadamia con método pre germinativo exposición al sol (Elaboración propia).

Al realizar la escarificación de manera manual, se observó que la variedad A-527 presentó una concha demasiado gruesa en comparación a las demás variedades, mientras que la variedad Huatusco presentó una concha delgada; a su vez, las variedades Victoria y Lewis quedaron en un punto intermedio en cuanto a grosor de concha. Al momento de realizar el golpeo físico, se dejó completamente expuesta la almendra a través de la fisura que se realizó en la concha (Figura 9), esto para las cuatro variedades, en las cuales la concha y la almendra no presentaron cambios a simple vista al momento de realizar la siembra. En este tratamiento, al transcurso de los días, algunas semillas desarrollaron las mismas características que en el tratamiento 1: la concha se tornó a un color negro, mientras que la almendra se deshidrató completamente hasta secarse, con la evidente muerte del embrión. La diferencia fue que algunas semillas presentaron estas características en las primeras semanas de haber sido sembradas, esto podría ser una muestra evidente que al realizar el golpeo físico, se dañó el embrión causándole la muerte al instante, y posteriormente al realizar la siembra, se inició un proceso de descomposición de la almendra, donde el embrión ya estaba muerto, dando como resultado un proceso de descomposición temprano (en todas las variedades). En este tratamiento se obtuvo 49.9% de germinación, mientras que 50.1 % de las semillas que no germinaron, tuvieron una muerte evidente, con las

características de concha de color negro, almendra deshidratada y con presencia de hongos, esto para las cuatro variedades.



Figura 9. Semillas de macadamia escarificadas por golpeo físico, se observa la fisura que se realizó en la concha debido al golpe (Elaboración propia).

En el tratamiento 3, una vez pasadas las 24 horas de estar sumergidas las semillas en agua, éstas se sacaron para ser sembradas; una vez sembradas no presentaron cambio a simple vista, lo mismo ocurrió en las cuatro variedades, la concha no presentó cambios ni fisuras. Una vez sembradas y en el transcurso de los días la germinación en este tratamiento se realizó de manera lenta en comparación a los tratamientos 1 y 2, donde la germinación comenzó en las primeras semanas de que habían sido sembradas; por su parte, en el tratamiento 3 la germinación ocurrió dos meses después de la siembra, las semillas se mantuvieron intactas, no presentaron cambios aparentes. En las semillas germinadas, se notó que a medida que emergía la radícula, ésta desarrolló una fisura en la concha, lo que provocó que se llevara más tiempo para que la radícula emergiera en comparación a los tratamientos pregerminativos donde la almendra quedó expuesta, ya que al emerger la radícula no tuvo resistencia con la concha de la semilla. La germinación en este tratamiento y en general para las cuatro variedades utilizadas se realizó de manera desuniforme y de manera lenta; dos meses después de la siembra las semillas se encontraron intactas, sin cambios ni signos de germinación. En este tratamiento se obtuvo 39.7 % de semillas

germinadas; y del 60.3 % que no germinaron, solo 8 % presentaron hongo, mientras que el 92 % de las semillas que no germinaron, se mantuvieron sin cambios en su estructura tanto en la concha y almendra (Figura 10), es decir que estas semillas se mantuvieron latentes sin poder germinar.



Figura 10. Semillas de macadamia sin germinar, sometidas a inmersión en agua durante 24 horas (Elaboración propia).

En el tratamiento 4, una vez puestas las semillas en agua caliente y posteriormente en agua a temperatura ambiente, no presentaron cambios en la concha, tampoco presentaron fisuras ni variaciones de color. Transcurridos 120 días después de la siembra, se observó que no hubo germinación, se notó una disminución del peso en comparación con el que se percibió al momento de realizar la siembra, fue entonces que al abrir la concha se observó que la almendra se había deshidratado y descompuesto; lo mismo ocurrió para todas las semillas utilizadas de las cuatro variedades. Esto se pudo deber a que al someterlas en agua caliente se ocasionó la muerte inmediata del embrión y como resultado hubo nula germinación con el 100% de muerte de las semillas.

Las semillas utilizadas en el tratamiento 5, después de haber estado expuestas en ácido sulfúrico y posteriormente lavadas con abundante agua para quitar todo exceso de ácido, al terminar de lavarlas, la concha presentó un ligero color negro y sin fisuras; lo mismo ocurrió en las semillas de las cuatro variedades utilizadas. Se obtuvo un porcentaje de 9.7 % de germinación, y se notó que la radícula de las semillas germinadas tuvo la misma condición que presentó el tratamiento 3:

conforme se fisuró la concha la radícula emergió de manera lenta. Del 90.3 % de las semillas que no germinaron en este tratamiento, solo 2 % tuvo presencia de hongo, mientras que el resto de las semillas no germinadas se mantuvieron intactas, sin presencia de fisuras, ni muestras de aparición de la misma.

En el tratamiento 6, las semillas tuvieron respuestas similares a los que presentaron las semillas del tratamiento 3: se mantuvieron intactas, no presentaron cambios aparentes, y se conservaron así hasta transcurridos tres meses, donde comenzaron a germinar las primeras, pero de manera desuniforme, y al llegar a los 120 días después de la siembra solo se obtuvo 24.3 % de germinación en este tratamiento. Del 75.7 % de semillas que no germinaron en este tratamiento, 10 % presentó hongos, mientras que 90 % de las demás semillas no germinadas, se mantuvieron intactas y sin cambios.

4.1.2. Tiempo de germinación

Se registró el tiempo de la germinación de las semillas de las cuatro variedades de macadamia sembradas en almácigo, y se realizó la lectura cada semana cuando fue visible la emergencia de la plúmula (Figura 11). Esta etapa de la investigación se llevó a cabo durante 120 días a partir de la siembra, fecha en la cual se tuvo un máximo de 59.2 % de emergencia de plántulas, con la exposición al sol.



Figura 11. Emergencia de la plúmula de semillas de cuatro variedades de macadamia (Elaboración propia).

A los 28 días después de la siembra se obtuvieron las primeras semillas germinadas, y éstas fueron del tratamiento 2, mientras que a los 35 días las semillas de los tratamientos 1 y 6 comenzaron a germinar, en el tratamiento 3 se presentaron las primeras plantas germinadas hasta los 50 días después de la siembra y en el tratamiento 4 no se presentó germinación. En la Figura 12 se muestra el tiempo de germinación de las semillas de dichos tratamientos.

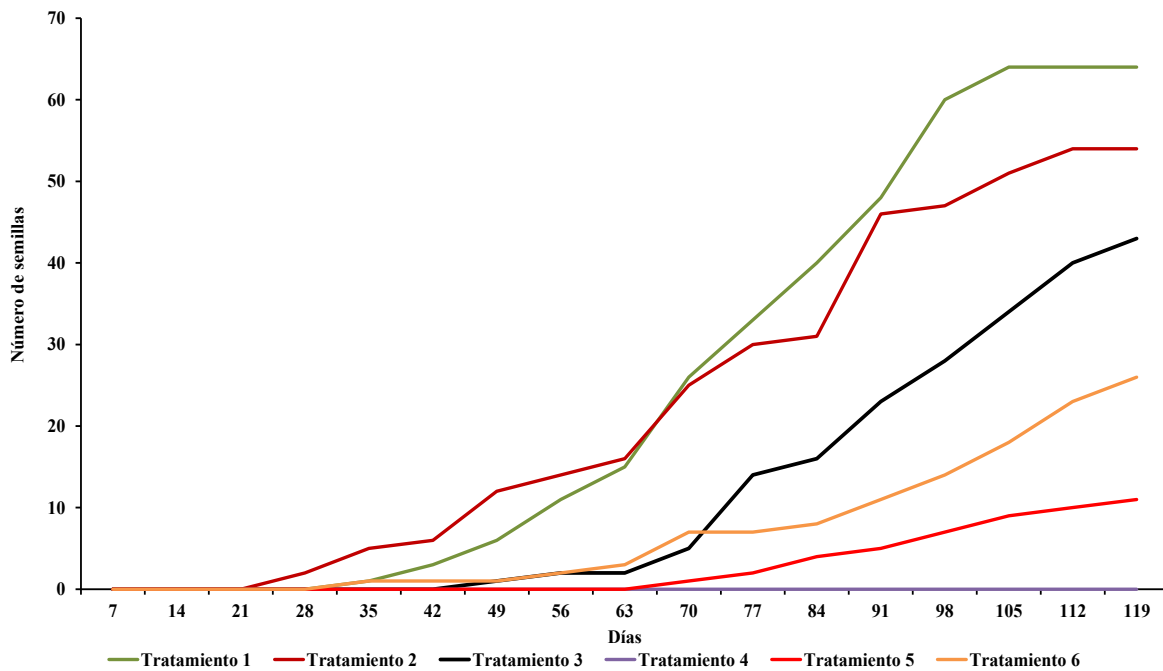


Figura 12. Número de semillas germinadas de macadamia sometidas a diferentes tratamientos pregerminativos (Elaboración propia).

Nota: Tratamiento 1: Exposición al sol hasta que abran solas. Tratamiento 2: Escarificación por golpeo físico. Tratamiento 3: Inmersión en agua por 24 horas, a temperatura ambiente.

Tratamiento 4: Inmersión en agua caliente por 3 minutos y seguida de la inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas. Tratamiento 5: Inmersión en ácido sulfúrico al 0.1 %, por un minuto y lavado con agua. Tratamiento 6: Estratificación a 8 °C, durante 72 horas.

En la Tabla 2 están señalados los porcentajes de germinación por tratamiento y por variedad, lo cual se complementa con lo expuesto en la Figura 12.

En la primera etapa de este trabajo, la exposición al sol de las semillas de macadamia rompió la cubierta dura e impermeable que impide la imbibición de agua y el intercambio de gases, tal como lo mencionó Willan (1991); sin la imbibición y el intercambio de gases es imposible el crecimiento embrionario y la germinación, y esto se corroboró con las semillas de macadamia

evaluadas en este trabajo, que fueron inmersas en agua a temperatura ambiente, otras fueron estratificadas a 8 °C, y otras que fueron inmersas en ácido sulfúrico al 0.1%, ya que no presentaron un ruptura en su cubierta. Asimismo, como mencionaron Arenas *et al.* (2007) en el tratamiento pregerminativo de exposición al sol, se incrementó la velocidad de emergencia, así como también los porcentajes finales.

Se comprobó lo que concluyó De León (2018) que no es efectiva la escarificación de semillas de macadamia con ácido sulfúrico, ya que no se obtuvieron porcentajes de germinación significativos con este tratamiento pregerminativo.

4.1.3. Altura de planta

Transcurridos los 120 días después de la siembra, se midió la altura de plantas, donde en el tratamiento 3 (inmersión en agua por 24 horas) se presentó la mayor altura de planta, con 18.2 cm, seguido del tratamiento 1 (exposición al sol) con 17.3 cm. En el tratamiento 2 (escarificación) se presentó una altura de 15 cm, mientras que en el tratamiento 4 (inmersión en agua caliente) no se presentó altura de plantas. En los tratamientos 5 (inmersión en ácido sulfúrico) y 6 (estratificación), se presentaron alturas de planta similares, con 11 cm (Figura 13).

En cuanto a la variedad se observó que Victoria presentó la mayor altura con 14 cm, seguida de la A-527 con 12.4 cm, en tanto que Lewis y Huatusco presentaron alturas de 11.3 y 10.6 cm, respectivamente (Figura 14).

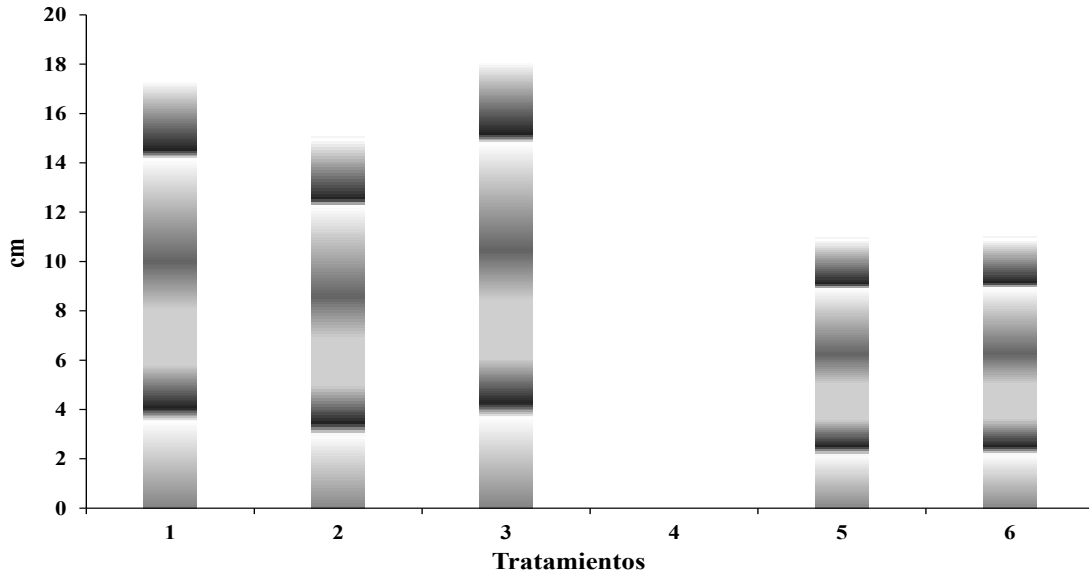


Figura 13. Altura de plántula de semillas de macadamia en función de los tratamientos aplicados (Elaboración propia).

Nota: Tratamiento 1: Exposición al sol hasta que abran solas. Tratamiento 2: Escarificación por golpeo físico. Tratamiento 3: Inmersión en agua por 24 horas, a temperatura ambiente.

Tratamiento 4: Inmersión en agua caliente por 3 minutos y seguida de la inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas. Tratamiento 5: Inmersión en ácido sulfúrico al 0.1 %, por un minuto y lavado con agua. Tratamiento 6: Estratificación a 8 °C, durante 72 horas.

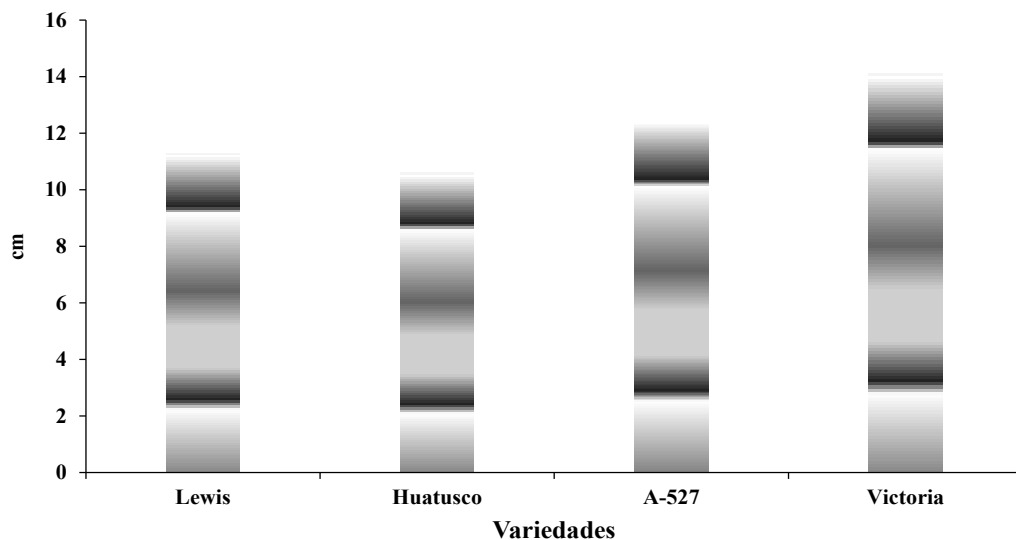


Figura 14. Altura de plántula de semillas de macadamia por variedad (Elaboración propia).

4.1.4. Grosor de tallo

El tratamiento 1 y el tratamiento 3 se encontró el mismo grosor de tallo, con 4.8 mm, el mayor valor al finalizar la etapa de almacigo. En el tratamiento 5 se presentó el más bajo promedio de grosor de tallo en las plántulas germinadas con 3.5 mm, y el tratamiento 4 quedó descartado en esta medición, ya que ninguna semilla germinó. En el tratamiento 2 y en el tratamiento 6 el grosor de tallo fue de 4.6 mm y 4.3 mm, respectivamente.

Por su parte, la variedad A-527 presentó el mayor promedio de grosor de tallo en sus plántulas con 4.2 mm; mientras que la variedad Hautusco presentó el menor promedio con 3.1 mm. En el caso de las variedades Lewis y Victoria, ambas presentaron promedios similares de grosor de tallos, con 3.8 mm y 3.6 mm, respectivamente.

Después de 120 días de haber realizado la siembra, se obtuvieron diferencias significativas a $p \leq 0.1$ en grosor de tallo de las plántulas de macadamia, mismas que antes de ser sembradas fueron sometidas a tratamientos pregerminativos (Tabla 3).

Tabla 3. Anova del grosor de tallos de plántulas de macadamia, sometidas a diversos tratamientos pregerminativos.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadro Medio	F Calculada	F Tablas	
					0.05	0.01
Bloques	2	5.063333333	2.531666667	0.58208155	4.10 ^{NS}	7.56 ^{NS}
Tratamientos	5	198.9245833	39.78491667	9.14735975	3.33 *	5.64 **
Error A	10	43.49333333	4.349333333			
Subtotal	17	247.48125	14.55772059			
Subtratamiento	3	10.09152778	3.363842593	0.53844615	2.86 *	4.38 **
T x S	15	42.05263889	2.803509259	0.44875428	1.72 *	1.72 **
Error B	36	224.9033333	6.247314815			
Total	71	524.52875				

En la Tabla 4 se presentan los valores promedio y la categoría estadística obtenida en la prueba de separación de medias por el método de Tukey a $p \leq 0.1$.

Tabla 4. Prueba de separación de medias por el método de Tukey a $p \leq 0.1$, para tratamientos pregerminativos y variedades de macadamia empleadas.

Tratamientos pregerminativos	Media
1- Exposición al sol	4.8 ^a
3- Inmersión en agua por 24 horas	4.8 ^a
2- Escarificación	4.6 ^b
6- Estratificación	4.3 ^c
5- Inmersión en ácido sulfúrico	3.5 ^d
4- Inmersión en agua caliente	1.0 ^e
Variedades	Media
A-527	4.2 ^a
Lewis	3.8 ^b
Victoria	3.6 ^c
Huatusco	3.1 ^d

Nota: Letras iguales guardan igualdad estadística $p \leq 0.1$.

4.1.5. Longitud de raíz

En el tratamiento 2 (escarificación por golpeo físico) se presentó la mayor longitud de raíz con un 24.8 cm, seguido por el tratamiento 3 (inmersión en agua por 24 horas) que presentó una longitud de 23.9 cm. El tratamiento 4 no presentó crecimiento (inmersión en agua caliente por tres minutos y seguida de la inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas). El tratamiento 1 (exposición al sol) presentó una longitud de raíz de 22.0 cm, mientras que el tratamiento 6 (estratificación) y el tratamiento 5 (inmersión en ácido sulfúrico) se registraron longitudes de raíz de 15.5 y 12.2 cm, respectivamente.

Existió diferencia estadística significativa a $p \leq 0.1$ en cuanto a la longitud de la raíz de las plántulas de macadamia (Tabla 5).

Tabla 5. Anova de la longitud de raíz de las plántulas de macadamia, sometidas a diversos tratamientos pregerminativos.

Fuentes de variación	de liberta	Suma de Cuadrados	Cuadro Medio	F Calculada	F Tablas	
					0.05	0.01
Bloques	2	41.20361111	20.60180556	0.31241457	4.10 ^{NS}	7.56 ^{NS}
Tratamientos	5	5306.496111	1061.299222	16.0939942	3.33 *	5.64 **
Error A	10	659.4380556	65.94380556			
Subtotal	17	6007.137778	353.3610458			
Subtratamiento	3	235.5316667	78.51055556	1.24586329	2.86 *	4.38 **
T x S	15	1185.851667	79.05677778	1.25453115	1.72 *	1.72 **
Error B	36	2268.611667	63.01699074			
Total	71	9697.132778				

En la Tabla 6 se observa este porcentaje promedio de cada tratamiento.

Tabla 6. Prueba de separación de medias por el método de Tukey a $p \leq 0.1$, para tratamientos pregerminativos y variedades de macadamia empleadas en cuanto a longitud de raíz en cm.

Tratamientos pregerminativos	Media
2- Escarificación	24.8 ^a
3- Inmersión en agua por 24 horas	23.9 ^b
1- Exposición al sol	22 ^c
6- Estratificación	15.5 ^d
5- Inmersión en Ácido sulfúrico	12.2 ^e
4- Inmersión en agua caliente	1 ^f
Variedades	Media
A-527	18.9 ^a
Victoria	17.4 ^b
Lewis	15.2 ^c
Huatusco	14.2 ^d

Nota: Letras iguales guardan igualdad estadística $p \leq 0.1$.

Por variedad (Tabla 6), A-527 tuvo la mayor longitud de raíz en sus plántulas, con 18.9 cm, seguida de la variedad Victoria con una longitud de raíz de 17.4 cm. Las variedades Lewis y Huatusco, presentaron promedios de longitud de raíz de 15.2 y 14.2 cm, respectivamente.

4.2. Prendimiento del injerto

Como fue señalado anteriormente, los tratamientos evaluados en la etapa de injertación fueron los siguientes (Anexo 1, 2 y 3):

Tratamiento 1: Injerto de púa, sin cubierta con botella de plástico.

Tratamiento 2: Injerto de púa, con cubierta con botella de plástico.

Tratamiento 3: Injerto de yema, sin cubierta con botella de plástico.

Tratamiento 4: Injerto de yema, con cubierta con botella de plástico.

La práctica del injerto se realizó con plantas de la variedad A-527, y se utilizaron 15 plantas de vivero por tratamiento, en dos fechas. La primera fue el 12 de julio del 2019 y la segunda el 26 de agosto del 2019. La segunda se realizó debido a la mortalidad de los injertos que se practicaron en la primera fecha, lo cual se debió a la temperatura y humedad ambiental presentes en este tiempo, que no favorecieron el prendimiento de los injertos.

En la Tabla 7 se presenta el número de injertos prendidos y los que no tuvieron éxito para las dos fechas en que se realizaron los injertos.

Tabla 7. Número de injertos prendidos y muertos de macadamia, realizados en dos fechas.

Fecha	Tratamiento	Prendimiento	Sobrevivencia	Muertos
12-jul-19	Injerto de púa sin botella	0	0	15
	Injerto de púa con botella	3	1	11
	Injerto de yema sin botella	0	0	15
	Injerto de yema con botella	2	0	13
26-ago-19	Injerto de púa sin botella	0	6	9
	Injerto de púa con botella	7	3	5
	Injerto de yema sin botella	0	4	11
	Injerto de yema con botella	10	3	2

En la segunda fecha se obtuvieron mejores resultados puesto que la temperatura disminuyó y la humedad se incrementó en el área de estudio, en comparación con el periodo cuando se practicó el primer injerto. Con base a los resultados de la Tabla 7, se observó que el mayor porcentaje de

sobrevivencia y prendimiento de los injertos en macadamia fue el injerto de púa y yema con el cubrimiento con botella de plástico (Anexo 4). En el injerto sin botella se presentó la mayor mortalidad de los injertos, y eso puede deberse a la deshidratación debido a las fuertes variaciones de temperatura y humedad ambiental. Asimismo, en la variedad A-527, el injerto de yema (Anexo 5) fue el que presentó 30 % más de prendimiento con respecto al injerto de púa (Anexo 6).

En las Figuras 15 y 16 se presentan las condiciones ambientales registradas durante el desarrollo de esta investigación, respecto al calendario juliano.

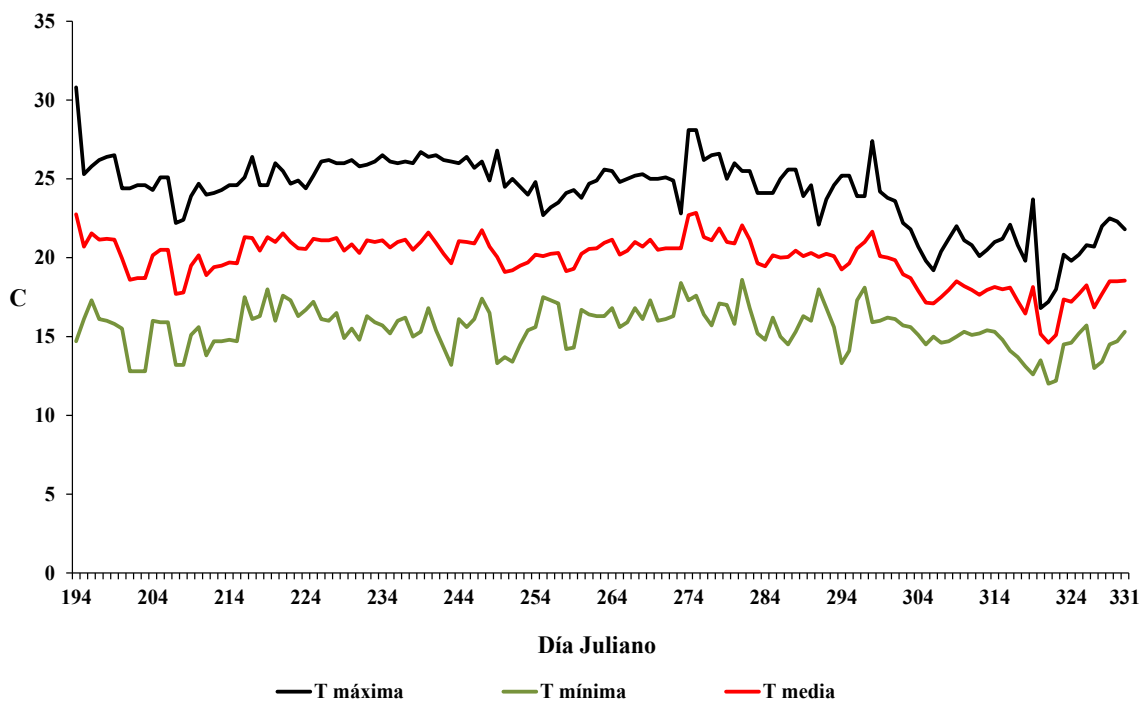


Figura 15. Temperatura ambiente presente durante el desarrollo del trabajo.

El día que se injertaron las plantas de macadamia (día Juliano 194 que corresponde al día 13 de julio) se registró una temperatura mínima de 15.0 °C, una máxima de 31.0 °C y una media de 23.0 °C (Figura 15); estas condiciones generaron la deshidratación repentina del injerto, puesto que se elevó la temperatura ambiental hasta los 31 °C. Durante el periodo de prendimiento del injerto, del día 194 hasta el día 240 (28 de agosto), la temperatura mínima osciló de 13 a 19 °C,

mientras que la máxima temperatura diaria osciló entre los 18 y 31 °C, lo que tuvo un efecto negativo para el éxito del injerto.

La humedad relativa máxima al inicio de la práctica de injerto fue del 95 %, y la oscilación de la humedad media en este periodo fue entre 55 y 87 % (Figura 16). La humedad relativa mínima osciló entre 22 y 75 %, lo cual no afectó el prendimiento del injerto, porque además, se mantuvieron hidratadas las plantas en sus respectivas bolsas.

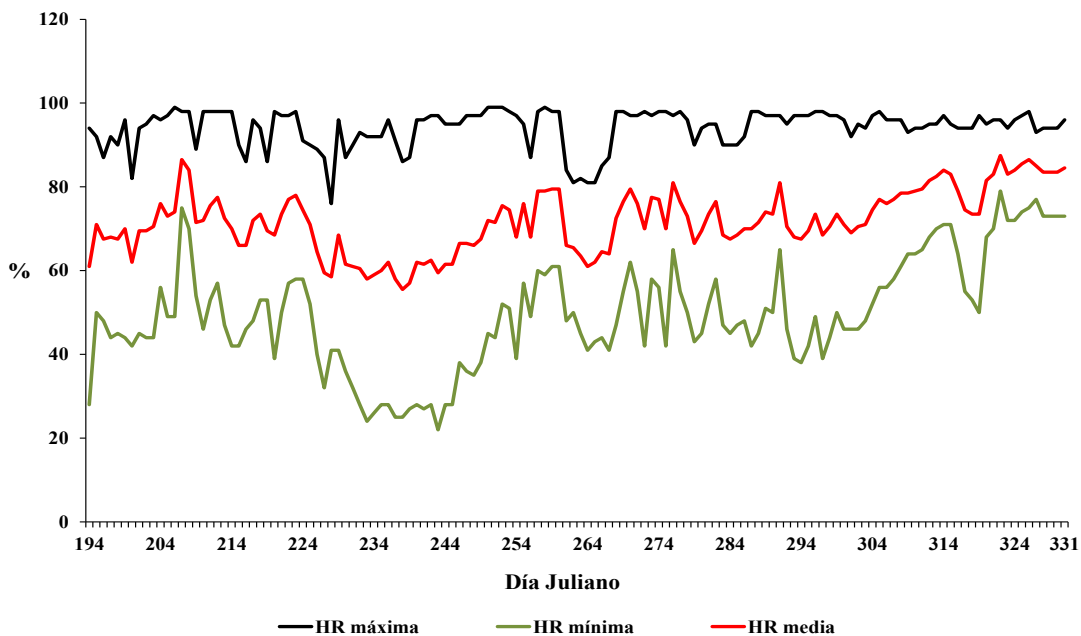


Figura 16. Humedad ambiental presente durante el desarrollo del trabajo.

En relación a la práctica de injerto, esta se vio influenciada por el tipo de injerto y por la condición de si estuvo tapado o no con la botella. En la Tabla 7 se observa que el injerto que fue tapado con botella fue el que tuvo mayor éxito comparado con los que no se taparon, debido al microclima que se formó dentro de la botella; esto se observó para los dos tipos de injerto, yema y púa.

Es importante señalar que para definir el tipo de injerto, sea con yema o con púa, se debe tener en cuenta el grosor del portainjerto para facilitar su prendimiento. Para el caso específico del de púa, sino empalman los grosores tanto del portainjerto como del injerto, el prendimiento de este será menor.

V. CONCLUSIONES

1. La hipótesis de este trabajo se acepta afirmando que, con un adecuado manejo, se incrementa el porcentaje de germinación de semillas y prendimiento de injerto del cultivo de macadamia.
2. El porcentaje de germinación y tiempo de germinación de las semillas de macadamia que fueron expuestas al sol presentaron el mayor porcentaje de germinación y el menor tiempo de germinación, respectivamente, mismas que junto a las que fueron inmersas en agua por 24 horas a temperatura ambiente presentaron el mayor número promedio en la variable de respuesta de grosor de tallo.
3. En la variable altura de planta las semillas que fueron inmersas en agua por 24 horas a temperatura ambiente, presentaron la mayor altura de planta respecto a los otros tratamientos, y la variedad Victoria presentó la mayor altura.
4. La Variedad A-527 presentó el mayor número promedio en las variables de respuesta porcentaje de germinación, grosor de tallo y longitud de raíz, respecto a las demás variedades.
5. Las semillas que fueron sometidas a escarificación por golpeo físico presentaron la mayor longitud de raíz.
6. El someter a las semillas en agua caliente durante tres minutos no presentó ningún efecto positivo sobre las variables evaluadas.
7. El mejor porcentaje de sobrevivencia y prendimiento de los injertos en macadamia que se obtuvo en el injerto de púa y yema fue con el cubrimiento con botella de plástico.

VI. LITERATURA CITADA

1. Antaramián, H.E., Ramírez, S.C.A. 2009. Determinación de áreas con aptitud para el cultivo de *Macadamia integrifolia* en México. *Revista Biológicas*, (11): 73-78.
2. Arenas, Y., Him de Freitez, Y., Arizaleta, M., Hernández, N., Díaz, J.G. 2007. Efecto de tratamientos pregerminativos en la emergencia de dos variedades de Nuez de Macadamia (*Macadamia integrifolia*). Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Cabudare. Lara. Venezuela, 51(1): 115-119.
3. Ávila. P. 1999. Tratamientos para acelerar la germinación y crecimiento inicial de la macadamia (*Macadamia integrifolia*). Tesis de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. Francisco Morazán, Honduras. 41 pp.
4. Azcón, B.J., Talón, M. 2013. Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGRAW-HILL-Interamericana de España, S.L., España. 551 pp.
5. Cartagena, V.J.R. 1998. Aspectos fisiológicos de la propagación de plantas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Espinal, Colombia. 13 pp.
6. Carvajal, J.J.M., Bedoya, M.D.F. 2010. Estudio físico-químico y de estabilidad del aceite de nuez de *Macadamia tetraphylla* cultivada en la región cafetera colombiana. Trabajo de Licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. 85 pp.
7. Casas, F.R., Centeno, M.A. 2016. Poda e injerto de frutales. Ediciones Nobel, S. A. España. 189 pp.
8. CEIEG (Centro de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave). 2019. Sistema de Información Municipal. Cuadernillos Municipales: Huatusco. En: http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2019/06/Huatusco_2019.pdf. Fecha de consulta el 25 de septiembre de 2019.
9. Chum, G.B.G. 2011. Efecto de la injertación a diferente altura del porta injerto sobre el prendimiento y brotación en macadamia (*Macadamia integrifolia*), en Finca Santa Emilia, Pochuta, Chimaltenango. Tesis de Licenciatura. Universidad Rafael Landívar. Escuintla, Guatemala. 61 pp.
10. Cristóbal, M.A.M. 2011. Determinación del mejor portador-injerto sobre la producción y calidad de la uva en la variedad Shiraz (*Vitis vinifera* L.) Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. 58 pp.

11. Cruz, C.J.G., Nicolás, C.M., Rogel, C.I. 2000. Propagación de la macadamia por injertación y estacado. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(1): 97-100.
12. Dalastra, I.M., Pio, R., Entelmann, F.A., Werle, T., Uliana, M.B., Scarpate, F.J.A. 2010. Germinación de semillas de nuez de macadamia sometidas a incisión e inserción en ácido giberélico. *Ciencia y Agrotecnología*, 34(3): 641-645.
13. De León, F.R.I. 2018. Informe Final de actividades realizadas en el cultivo de *Macadamia integrifolia* en Finca Patzulín, El Palmar, Quetzaltenango. Tesis nivel técnico. Universidad de San Carlos de Guatemala. Suchitepéquez, Guatemala. 68 pp.
14. Díaz, B.J.C. 2006. Proyecto de factibilidad para el cultivo orgánico de macadamia (*Macadamia integrifolia*) intercalada con café robusta (*Coffea canephora*) en Puerto Quito-Pichincha. Proyecto de grado. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador. 80 pp.
15. Díaz, D.C.E. 2015. Evaluación de injertos de macadamia (*Macadamia integrifolia*) en patrones de distintas edades. Tesis de Licenciatura. Universidad Rafael Landívar. Escuintla, Guatemala. 56 pp.
16. Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1): 74-85.
17. Esau, K. 1976. *Anatomy of seed plants*. Jhon Willey and Sons Inc. New York, N.Y. USA.
18. Escamilla, P.E, Robledo, M.J.D., García, S.E.I. 2013. La producción de nuez de macadamia en el trópico húmedo de México: avances y retos en la gestión de la innovación. Centro de investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. 117 pp.
19. Espiau, M., Pina, A., Errea, P. 2012. Propagación de Frutales por Injerto. Unidad de Fruticultura. CITA de Aragón. Gobierno de Aragón, España. 44 pp.
20. Gastigar, J. 1998. *Enciclopedia Biblioteca de la Agricultura*. Editorial Ideal Book. S.A. Segunda Edición. Barcelona, España.
21. INAFED (Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México). 2016. Estado de Veracruz Llave: Huatusco. En: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM30veracruz/municipios/30071a.htm>. Fecha de consulta el 15 de Octubre de 2019.
22. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Huatusco, Veracruz de Ignacio de la

Llave. En:
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30071.pdf. Fecha de consulta el 25 de septiembre de 2019.

23. Lamona, F. 2004. Los árboles frutales. Editorial De Vecchi. Barcelona, España. Pág. 38.
24. Landeros, S., Moreno, S., Escamilla, P.E., Ruiz, B. 2011. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado: Diversificación de cultivos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz. México. 469-471.
25. Lavín, A.A., Lemus, S.G., Contreras, C.M., Negrón, M.C., Orellana, S.A. 2001. Macadamia. En Lemus S., G. (ed) Curso: Frutales de nuez no tradicionales: Macadamia, pistacho, pecano, avellano europeo: Macadamia. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. Serie Actas N° 7. 2-26 pp.
26. López, P.S., Mariño, B.S., Álvarez, M.R., López, H.M. 2014. Poda e injerto de frutales. Editorial Elearning. España. 402 pp.
27. Lozano, M.M.E. 2013. *Macadamia integrifolia* Elemento clave del cultivo. Revista Comercio y Negocio, 3(1): 30-45.
28. Mapel, V.L. 2014. Caracterización física y química de la nuez y el aceite de variedades e híbridos de *Macadamia integrifolia* y *Macadamia tetraphylla* cultivadas en Coatepec, Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Veracruzana. Veracruz. 82 pp.
29. Millán, R.C.C., Salvador, P.M.I. 2018. Evaluación de cuatro tipos de injertos, bajo la influencia de las fases lunares para la especie forestal *Sapindus saponaria* L. en el área del plan piloto de restauración ecológica de bosque seco–proyecto hidroeléctrico, el quimbo. Tesis de Licenciatura. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Bogotá, Colombia. 79 pp.
30. Montes, R.C., Villegas, G.C., Lozano, M.M.E., Garzón, R.L.D. 2009. Fenología de floración y fructificación en *Macadamia integrifolia*. Acta Agronómica, 58(4): 277-284.
31. Nicolás, C.M., Cruz, C.JG., Rogel, C.I. 1998. Propagación de la macadamia por injertación y estacado. Memorias Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C. Coatepec Harinas, México. 82-89.
32. Pita, V.J.M. 1998. Germinación de semillas. Hojas Divulgadoras Num. 2090. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España. 20 pp.

33. Reyes, M.M., Lavín, A.A. 2014. Frutales de nuez. Cinco alternativas no tradicionales para el secano interior del Maule. Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Raihuén, Chillán. Chile. 103 pp.
34. Robledo, M.J.D., Escamilla, P.E. 1988. Diagnóstico y evaluación de macadamia (*Macadamia* spp) en el centro de Veracruz. Revista de Geografía Agrícola. 143-157.
35. Sol, Q.G. 2011. Manual técnico para productores de nuez de macadamia: Guía de siembra, manejo y procesamiento. Asociación Mexicana de Productores, Procesadores y Exportadores de Nuez de Macadamia, A.C. México. 18-17.
36. Sol, Q.G. 2015. Estrategia participativa para el diagnóstico y futuro del cultivo de la *Macadamia* spp., en el Municipio de Tlalnelhuayocan, Veracruz. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana. Veracruz. 158 pp.
37. Torres, G.C.A. 2012. La participación de las grandes cadenas de supermercados en las redes de comercialización de los pequeños productores. Nueva Antropología, 25(77): 109-132
38. Trinidad, A.Z. 2010. Desarrollo de una investigación de mercado de la nuez de macadamia en Xalapa, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 93 pp.
39. Trueman, S.J. 2013. The reproductive biology of macadamia. Scientia Horticulturae, 150(1): 354-359.
40. Universidad Politécnica de Valencia. 2003. Parte III: Tema 17. Germinación de semillas. En: http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema_17.htm#Proceso%20de%20Germinaci%C3%B3n. Fecha de consulta 04 de Octubre de 2019.
41. Varela, S.A., Arana, V. 2011. Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. Cuadernillo No. 3. Serie técnica: “Sistemas Forestales Integrados” Área Forestal-INTA EEA Bariloche. Argentina. 10 pp.
42. Velázquez, P.J.M. 2017. Zonificación agroecológica de la nuez macadamia (*M. tetraphylla*, *M. integrifolia*) en la región cafetalera de Huatusco, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Huatusco de Chicuellar, Veracruz. 85 pp.
43. Villagómez, I.M.R. 1993. Efecto de épocas de extracción, edad de la vara yemera y diámetro de patrón en la injertación de macadamia (*Macadamia tetraphylla* y *M. integrifolia*) en la Selva Central. Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 61 pp.
44. Willan, R.L. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales. FAO. En: <http://www.fao.org/3/AD232S/ad232s10.htm#ch8>. Fecha de consulta el 9 de Octubre de 2019.

ANEXOS

Anexo 1. Realización de los injertos en plantas de macadamia.



a

b

c



d



e

- a) C
- b) Corte del porta injerto.
- c) Vareta del injerto.
- d) Unión del injerto en el portainjerto.
- e) Amarre del injerto de púa.

Anexo 2. Injerto de púa practicado en plantas de macadamia.



- a) Corte de la planta de macadamia para introducir la vareta del injerto.
- b) Unión del injerto con el portainjerto.
- c) Injerto de púa realizado.

Anexo 3. Injerto de Yema practicado en plantas de macadamia.



a

b

c

d

a) Corte de la vareta que servirá como injerto.

b) Corte en el portainjerto.

c) Portainjerto listo para recibir al injerto.

d) Practicando los injertos en macadamia.

Anexo 4. Planta de macadamia injertada, sin (a) y con (b) cubierta con botella de plástico.



a



b

Anexo 5. Prendimiento del injerto de yema en planta de macadamia.



Anexo 6. Prendimiento del injerto de púa en planta de macadamia.

