SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

GERMINACIÓN Y EFECTO DE LA NUTRICIÓN EN ACHIOTE (*Bixa orellana* L.)

TESIS

Que presenta:

Karina Guadalupe Cubias Nuñez

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Eduardo Villanueva Couoh

Conkal, Yucatán, México

Enero, 2019.

TecNM

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México, *30 de enero del 2019*.

El comité de tesis del candidato a grado: Karina Guadalupe Cubias Núñez, constituido por los CC. Dr. Eduardo Villanueva Couoh, Dr. Luis Leonardo Pinzón López, y M.C. Daniel Eduviges Cituk Chan, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: "Germinación y efecto de la nutrición en achiote (*Bixa orellana* L.)", que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Eduardo Villanueva Couoh
Director de Tesis

Dr. Luis Leonardo Pinzón López
Co-director de Tesis

M.C. Daniel Eduviges Cituk Chan
Asesor de Tesis

30 de enero de 2019

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Ing. Karina Guadalupe Cubias Núñez

DEDICATORIAS

A mi madre **Consuelo Núñez,** por su apoyo y el haber estado a mi lado cuando más lo necesitaba para poder superarme día con día.

A mi hermano **Ricardo Alonso**, la gran dicha de tenerte y estar conmigo.

A mi esposo **Jorge Armando,** por su paciencia, confianza y por ser parte fundamental en mi vida.

A mis hijos **Armando Uriel**, **Silvia Elizabeth, Jorge Alberto** por las lecciones de vida que aprendemos juntos para ser mejores y nunca olvidando que la humildad es la base.

A mi cuñado **Román** y concuña **Silvia** dos personas que me han apoyado cuando más lo he necesitado y nunca lo olvidare.

A mis suegros **Don Humberto** y **Doña Elizabeth** por haberle dado vida al hombre que más amo en esta vida.

A una gran maestra y amiga **Minerva Chávez,** primero me enseño en las aulas de la universidad ahora lo hace en la escuela más difícil…. La vida.

A mis **verdaderos amigos,** de hoy y siempre, por los grandes momentos compartidos y por esos recuerdos inolvidables.

AGRADECIMIENTOS

Al consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado durante mi formación como Maestra en ciencias. (No. De registro 604343)

Al Instituto Tecnológico de Conkal y al laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal por el uso de sus instalaciones para la realización de este trabajo.

Al personal docente de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI) que contribuyo de manera especial en mi formación profesional.

Al Dr. Esaú Ruiz por su paciencia y gran ayuda para animarme a terminar mis estudios.

A mis asesores que formaron parte del consejo Dr. Eduardo Villanueva C., Dr. Luis Pinzón L., al M.C. Daniel Cituk C. a los que considero más que maestros, amigos.

A cada uno de mis profesores en especial al Dr. Rene Garruña Hernández, Dr. Carlos Fuentes Cerda, M.C. Gaspar Pereyda por sus grandes aportaciones que realizaron cada uno para finalizar esta tesis.

ÍNDICE

CONTENIDO

PÁGINA

	Portada ……...…	i
	Hoja de firmas……	ii
	Declaración de propiedad……...	iii
	Dedicatoria…….	iv
	Agradecimientos……	v
	Índice de contenido…….	vi

CAPÍTULO I

	INTRODUCCIÓN GENERAL……	8
1.1	Introducción……...	8
1.2	Características del achiote……	9
1.2.2.1	Clasificación taxonómica…….....	10
1.2.2.2	Morfología……	10
1.2.2.3	Requerimientos climáticos……...…….	13
1.2.2.4	Propagación del achiote……	14
1.2.2.5	Fertilización…….	16
1.2.2.6	Ciclo del cultivo...……	18
1.2.2.7	Manejo post-cosecha……	18
1.2.2.8	Usos del achiote……	20
1.2.3.0	Tratamientos pregerminativos…….	21
1.2.3.1	Tipos de latencia en las semillas ……	22
1.2.4.	Germinación de las semillas……	22
1.2.4.1.	Etapas de la germinación…….	22
1.2.5.	Estructura y germinación de la semilla de achiote……	25
1.2.6	Prueba de viabilidad con tetrazolio……...	31
1.2.7	Tratamientos pregerminativos para eliminar la latencia …….....	32
1.2.8.3	Beneficios de fertilizantes de algas marinas como estimulante para la germinación de semillas……	34
1.2.8.4	Fertilizantes orgánicos e inorgánicos……	35

1.3 HIPÓTESIS…… 41
1.4 OBJETIVOS ……. 41
1.4.1. Objetivo General……. 41
1.4.2. Objetivos Específicos …… 41
1.5 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL…… 42
1.6 LITERATURA CITADA……. 44

II. CAPÍTULO

2. TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE TRES COLECTAS DE ACHIOTE (*Bixa orellana L.)* DE YUCATÁN…… 45
2.1 Resumen y abstract……... 45
2.2 Introducción…… 47
2.3 Materiales y métodos……. 48
2.4 Resultados y discusión…… 50
2.5 Conclusiones……... 57
2.6 Literatura citada……. 58

III. CAPÍTULO

3. EFECTO DE LA NUTRICIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA EN PLANTAS DE ACHIOTE (*Bixa orellana* L.) …… 59
3.1 Resumen y abstract……. 60
3.2 Introducción…… 61
3.3 Materiales y métodos…… 63
3.4 Resultados y discusión……. 66
3.5 Conclusiones…… 75
3.7 Literatura citada……. 76

V. ANEXO…… 77

I. CAPÍTULO 1.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Introducción

El cultivo del achiote ha tenido importancia desde épocas precolombinas debido a que se ha explotado con la finalidad de obtener una pasta que ha sido utilizada en la elaboración de condimentos, cosméticos, en rituales religiosos y medicamentos. (Bonilla 2009)

En México el cultivo del achiote representa una gran opción para la producción de colorantes naturales, sin embargo, su distribución se encuentra muy localizada, pues prácticamente está restringido a la península de Yucatán; sin embargo, la producción no es suficiente para satisfacer esta demanda, pues la superficie sembrada es poca y la mayoría de traspatio. (Godoy, 2014)

El principal constituyente colorante del achiote es la Bixina, que se encuentra en la cubierta exterior de la semilla del fruto o cápsula, representando más del 80% de los pigmentos presentes. Actualmente, este colorante es de gran interés comercial debido a que su uso está exento de certificación y puede ser empleado en la industria alimentaria, en la de cosméticos y la farmacéutica, en el mercado nacional e internacional. (Bonilla 2009)

Por otro lado debido también a la prohibición del uso de colorantes químicos en la elaboración de alimentos por parte de la OMS, se ha ido despertando el interés en su explotación. Su propagación se ha evaluado tanto en forma sexual como asexual, siendo la primera la más utilizada, aun cuando existe variabilidad en la descendencia y bajo porcentaje de emergencia, siendo necesaria la aplicación de tratamientos pregerminativos. Por ello se debe evaluar la efectividad de los tratamientos pregerminativos como lo es las horas de remojo en agua, escarificación química con ácido sulfúrico en diferentes tiempos, así como la aplicación de fertilizante líquido a base de algas para estimular la germinación, sobre la emergencia y vigor de las semillas.

1.2. Características del achiote

La palabra achiote es una castellanización del náhuatl *achiotl*. La etimología del nombre binomial corresponde a *Bixa* por pertenecer a la familia botánica bixácea; *Orellana*, dedicado al explorador español Francisco de Orellana descubridor del Rio Amazonas (1490-1546)

El uso inicial del achiote fue para pintura y tatuaje del cuerpo, como se utiliza aun entre ciertas tribus nativas del sur de América, protegiéndose así de los insectos de la época, prácticamente todas las etnias indígenas amazónicas y centroamericanas están familiarizadas con su uso. (León, 1968).

Las consideraciones de Alejandro Humboldt, con respecto a los indígenas que habitaban tierras aledañas al Rio Orinoco, no usaban ninguna prenda de vestir, su único ropaje consistía en cubrirse todo el cuerpo con pintura extraída del achiote.

Los españoles llevaron el achiote al viejo mundo para usarlo en la industria de textiles. En 1775, un textilero ingles lo introdujo a su país para utilizarlo en la tinción de seda, algodón y lana. Sin embargo, su uso se desechó rápidamente por lo inestable del color a la acción de los rayos solares.

Con el paso de los años, la importancia económica del achiote siguió en aumento, pues pronto se descubrió que podría utilizarse con éxito en la cloración de sopas, quesos, margarinas, mantequillas y muchos productos más.

En 1954 se prohibió en Gran Bretaña el uso de algunos colorantes artificiales, utilizados en productos alimenticios, por considerarlos tóxicos para la salud humana. En 1955 en los Estados Unidos de América se dejaron de usar algunos colorantes artificiales por la misma razón.

1.2.2.1. Clasificación Taxonómica

Reino:	**Plantae (vegetal)**
Subreino:	**Tracheobionta**
División:	**Embriofita**
Subdivisión:	**Diploidalia**
Sección:	**Espermatofita (fanerógamas)**
Subsección:	**Angiosperma**
Clase:	**Magnoliopsida (Dicotiledónea)**
Subclase:	**Arquiclamídea**
Orden:	**Violales (Parietales)**
Familia:	**Bixaceae**
Genero:	**Bixa**
Especie:	***Bixa orellana* L.**

Según la clasificación de Holdridge (1959)

1.2.2.3. Morfología

Las plántulas de achiote crecen rápidamente, a los 4 meses alcanzan una talla entre 15 y 20 cm. Los árboles son de lento crecimiento. Es un árbol que llega a vivir hasta 50 años en condiciones naturales y solo 30 años en plantaciones, árbol perene de rápido desarrollo, que puede alcanzar alturas que van desde los 3.0 m hasta los 6.5 m, en su hábitat natural, su aspecto es robusto, con flores muy vistosas de color blancas o rosadas según sea la variedad. Por lo general es ramificado desde su base. El tallo llega a medir de 10 a 30 cm de diámetro. Posee una copa densa, en forma globosa. Follaje extendido de más de 10 m de diámetro en arboles dejados a libre crecimiento, el fruto es una capsula de color pardo rojizo o amarillo verdoso que contiene de 30 a 45 semillas cubiertas por una delgada capa de arilo que, por su contenido de *Bixina*, es de color rojo o anaranjado. (Bonilla, 2009)

Tronco: Cuando se le deja a libre crecimiento normalmente desarrollan ramas leñosas de 2 a 6 ramas. El tronco alcanza un diámetro que va desde 10 a 30 cm. a una altura de 10 m. sobre la superficie del suelo. Las ramas normalmente son delgadas y leñosas. La corteza café claro, algo fisurada, se desprende fácilmente en largas tiras. Interna amarilla o amarillo-anaranjada, con savia anaranjada, pegajosa, ligeramente amarga. Bajo la corteza empieza a fluir el colorante hacia las semillas.

Inflorescencia: Consiste de flores grandes y vistosas, compuestas, actinomorfas, de sexualidad hermafrodita, dispuestas en corimbos terminales, estambres indefinidos y libres en la base; filamentos filiformes de color blanco, amarillo y violeta. El ovario es elevado por un ginóforo y adopta la apariencia de ser súpero, con rudimentos seminales que varían de 10 a 60 por cápsula, estilo filiforme, estigma bilobulado.

Cada rama suele tener de 2 a 4 flores de 4 a 5.5 cm de diámetro; cáliz de 5 sépalos y un anillo de glándulas debajo de este, verde castaño, que en ocasiones se caen; de prefloración imbricada, corola de 5 pétalos anchos y redondeados. (Viveros y Gonzales, 2008.)

La época de floración y madurez del achiote varía según la latitud y según la temperatura de la zona, siendo más temprana en las regiones cálidas y húmedas. En Centroamérica generalmente hay plantas de achiote que inician su floración entre julio y septiembre con un máximo de floración en agosto. La floración dura entre 3 y 4 meses y no es sincronizada.

Polinización: En el cultivo del achiote la polinización es entomófila, proceso realizado por avispas, hormigas, abejas y mariposas, estas dos últimos siendo los principales insectos polinizadores en poblaciones naturales, sus flores se abren en la mañana entre las 4:00 y 5:00 am y el polen permanece viable durante 10 a 11 hrs, es común observar muchas abejas que se empujan y pelean para recolectar el polen. Además, el achiote florece en la época lluviosa, una época en que existe mucha escasez de polen y es frecuente en esta época que abejas de una colmena ataquen a otra para robarles alimentos. El achiote es polinizado por "polinización buzz": la abeja se cuelga en la flor y vibra con sus músculos para provocar que el polen se suelte de las anteras. (Wille, 1976).

Frutos y semillas: El fruto es una cápsula. En su forma pueden ser redondas, acorazonadas, lancetadas y oblongas. Está cubierto de muchos apéndices o setas, que pueden ser largos, medianos y cortos, aunque existen cultivares que no los tienen. También pueden ser abundantes y ralos. La coloración de la cápsula difiere según sea la variedad Las hay verdes, rojas, ocres y amarillas. Algunas variedades poseen dehiscencia y otras no. Esta puede ser completa e incompleta. (Anónimo, 1983).

La cápsula generalmente está compuesta de 2 lóbulos o segmentos, aunque debido a cruzamientos naturales hay frutos o cápsulas de tres segmentos conteniendo mayor número de semillas, lo cual aumentaría el rendimiento de llegar a tener una variedad que tuviera esta característica. El fruto contiene un número variable de semillas, entre 20 y 55, la cual parece estar ligada a la polinización entomófila o por insectos. El fruto en el exterior posee unas protuberancias de forma triangular y en el interior posee una placenta donde se aloja la semilla. La placenta es de color amarillo verdoso si la cápsula aún no ha madurado y cuando alcanza la madurez y se seca, el color cambia a café claro con una mancha de forma triangular color café oscuro en la parte central. En algunos tipos de achiote la placenta es de color café oscuro.

La semilla es muy pequeña de 3.5 a 5 mm. de longitud y está situada dentro de una placenta, siendo sostenida por un pedúnculo. La semilla tiene forma piramidal y está unida a la placenta por la parte más puntiaguda. En la parte más gruesa tienen una mancha circular, color negro. La semilla a su vez tiene una hendidura o fisura en un solo lado, que va desde la parte más puntiaguda de la semilla hasta la mancha circular en la parte más gruesa.

Hojas: Hojas simples, grande de 6 a 19 cm de largo por 6 a 11 cm de ancho, alternas con peciolo corto, cordiforme o acorazonado, tienen un ápice acuminado y un borde cordado, son brillantes de color verde oscuro y variables en su tamaño, cuando maduran el envés es de color plateado y se vuelven coriáceas y ásperas.

Cuando se pasa la temporada de cosecha el árbol tiende a botar la hoja madura e inmediatamente vuelve a brotar hoja nueva, por lo que siempre tiene follaje en forma

permanente. Los análisis químicos de las hojas muestran que el achiote tiene: Taninos, saponinas y terpenos. (Anónimo, 1992)

Raíz: La raíz del achiote es pivotante y bien desarrollada, por lo cual puede penetrar a profundidad si el suelo es pobre o si es apropiado. Son además leñosas, cilíndricas y ramificadas. (Ramos, 1991).

1.2.2.4. Requerimientos climáticos

La temperatura ideal para la producción de achiote se encuentra entre los 20º C y 38º C. La temperatura media anual es de 27º C. El tiempo luz que requiere consta de 10 hrs diarias, distribuidas uniformemente sobre su copa, con el objetivo de una mayor cantidad de fructificación, en la etapa de floración. Incluso puede crecer y producir bajo condiciones de sombra moderada.

La humedad relativa óptima para este cultivo varía entre el 60 y el 80%, si se sobrepasa, es propicia para el desarrollo de hongos especialmente el mildiu polvoriento y la antracnosis. También para la presencia excesiva de insectos dañinos.

La altura para esta especie oscila entre los 300 y 600 msnm. A mayor altitud el achiote crece lentamente, podría sufrir daños por frio, se desarrolla con limitaciones en la producción y tiene mayor incidencia de enfermedades (Arce, 1983).

Suelo

Como todo cultivo o ser vivo responderán de manera adecuada, si se maneja en condiciones óptimas. Si lo sembramos en suelos profundos, fértiles, con buen drenaje interno y externo, sin compactación que afecte el crecimiento y desarrollo radicular, podemos asegurar buenos rendimientos; pero si lo sembramos en terrenos pobres, erosionados, con poca fertilidad los rendimientos son menores.

Por esto los suelos más adecuados son los francos, francos arenosos o francos arcillosos, con pendiente menor del 5%, buen drenaje, fértiles, gran contenido de materia orgánica, buena aireación y permeabilidad, con un rango de pH de 4.3-8.7. (Bonilla, 2009)

1.2.2.5. Propagación del achiote

El achiote es un cultivo de fácil propagación, ya que puede efectuarse por medio de semilla, acodo, injerto, estaca y por cortes de la raíz, y utilizando la técnica más moderna también puede propagarse por cultivo de tejidos.

Reproducción sexual por semilla

Esta es la forma más comúnmente utilizada y es necesario hacer una buena selección de la semilla para garantizar una buena plantación y establecer un vivero.
La mayoría de los árboles de achiote del mundo han sido sembrados mediante semilla y debido a que el achiote es un árbol de polinización abierta, la siembra mediante semilla produce una amplia variación en las plantaciones. Sin embargo, puede seleccionarse una buena semilla de árboles que sean buenos productores y que muestren tolerancia o resistencia natural a la enfermedad mildiú polvoriento, causado por el hongo *Oídium bixae*.

La desventaja de este método de siembra es que, debido a la polinización cruzada del achiote, produce una gran variabilidad de individuos y no se puede mantener la uniformidad y la calidad de los frutos. Para la obtención de las semillas se debe seleccionar los arboles más vigorosos y bien formados, de buen rendimiento, escogiendo las mejores capsulas. Las semillas tienen un alto poder germinativo. El sistema de propagación por semillas se puede efectuar de tres formas:

a) Siembra directa: Pueden colocarse entre tres o cuatro semillas por hoyo y posteriormente eliminar las plantitas más débiles, dejando solamente las mejores. Cuando las plantas están pequeñas se les debe proporcionar un poco de sombra para luego, cuando alcancen unos 30 cm de altura dejarlas a pleno sol.

b) Siembra en almácigo: El semillero debe hacerse en un lugar sombreado o confeccionar una enramada, ligeramente elevada, de 1 a 1.5 m de ancho. Es conveniente llevar a cabo una desinfección previa del suelo.

Las semillas se deben distribuir en línea a una profundidad de 1 cm y a una distancia de 10 cm entre sí. Cuando las semillas han germinado y se encuentran en estado de plántula, se ralean; cuando tengan entre 15 o 20 cm de altura se trasplantan al campo definitivo.

c) Siembra en bolsas: La semilla se siembra a un centímetro de profundidad. Si la siembra es a mayor profundidad la plántula no alcanza a emerger y se pudre. Es necesario mantener la humedad constante y no dejar muy húmeda la tierra porque la semilla se pudre. Y si se riega en forma irregular, se corre el riesgo de que la semilla ya turgente o hinchada por la humedad sufra estrés, pierda la capacidad de germinar y se pudra (Arce 1983)

Propagación asexual

Para mantener la pureza genética completa se utilizan otras formas de multiplicación. La propagación mediante injertos, acodos, estacas o esquejes, cortes de la raíz y la biotecnología son técnicas que puede ayudarnos a producir plantas de excelente calidad. Estos diferentes métodos nos permiten obtener clones. El método efectivo actual para la propagación vegetativa es el injerto de escudete. Mediante él se mantienen los beneficios mayores de la propagación vegetativa al conservar las características deseables de una planta de achiote seleccionada. Entre las características deseables se encuentra el contenido de bixina, el número de semillas por cápsula, el número de cápsulas por racimo, el número de racimos por árbol y la tolerancia al mildiú polvoriento. (Arce, 1983)

1.2.2.6. Fertilización.

Aunque aún no hay estudios de nutrición en achiote, se ha demostrado que las deficiencias de Hierro (Fe^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}), Potasio (K^{+}), Nitrógeno (N) y Molibdeno (Mo) son letales para las plántulas y que también son importantes los micro elementos Azufre (S), Calcio (Ca^{+2}), Manganeso (Mn^{+2}) y Zinc (Zn^{+2}).

El **nitrógeno** Cuando hace falta el nitrógeno hay una inhibición en la capacidad de asimilación y formación de carbohidratos. Hay reducción del crecimiento y de la floración provocando la fruc**t**ificación fuera de la época normal en forma anticipada.

El **fósforo** es el componente esencial de las proteínas del núcleo, ácidos nucléicos, fosfolípidos, azúcares fosforilados y otros. Juega un papel importante en la germinación de la semilla, frutos y desarrollo de la raíz. Cuando hay deficiencia de fósforo el desarrollo radicular es raquítico. La floración y maduración es retardada, produciendo frutos y semillas pequeñas.

El **potasio** interviene en el metabolismo glúcido y proteico, equilibrio hídrico, apertura y cierra de las estomas, mantenimiento de la turgencia celular, absorción y reducción de los nitratos y la división celular. Cuando hay deficiencia del potasio hay crecimiento de entrenudos cortos, afecta la calidad de los productos en color, sabor, consistencia y tamaño de los frutos y semillas.

El **calcio** es el principal constituyente de las membranas celulares, es neutralizante de los ácidos orgánicos y participa junto al fósforo en el desarrollo de las raíces. Cuando hay deficiencia de calcio las yemas terminales mueren o aparecen distorsiones en el ápice o en la base de las hojas jóvenes. Además, el desarrollo de la raíz es raquítico y hay una disminución de la producción de las semillas.

El **magnesio** es imprescindible en el desarrollo de la actividad fotosintética y es activador de numerosas enzimas. Las deficiencias se presentan con frecuencia en suelos

ácidos arenosos deficientes también en calcio. Cuando hay deficiencia de magnesio hay defoliación de las plantas y afecta el desarrollo del sistema radicular.

El **azufre** es un constituyente de las proteínas y está relacionado con la formación de clorofila.

El **boro** interviene en la absorción y metabolismo de cationes sobre todo del calcio y en la formación de las paredes y membranas de las células vegetales, regulando su permeabilidad. Cuando hay deficiencia de Boro se detiene el desarrollo de las yemas florales y hay destrucción y necrosis de los tejidos más blandos.

El **cobre**, actúa en la síntesis de la clorofila. Forma parte de algunas enzimas que actúan en los procesos de oxireducción y de otras enzimas respiratorias estando ligado a los cloroplastos. Cuando hay deficiencia se presentan marchitamiento y enrollamiento de las hojas jóvenes, con inclinación de pecíolos y tallos.

El **hierro** es activador de diferentes enzimas en las que participa como grupo proteico y su principal función es en la formación de clorofila. La deficiencia de hierro es provocada por un exceso de calcio que impide su asimilación por la planta.

El **zinc** es activador de varios procesos enzimáticos, como la fosforilación de la glucosa y a través de ella, la formación de almidón, transforma los aminoácidos en proteínas e impide la destrucción de las auxinas. La deficiencia de zinc se da con mayor frecuencia en los suelos arenosos.

El **manganeso** participa en las reacciones de oxidación- reducción, actuando como activador de enzimas en diversos procesos metabólicos. Interviene junto al hierro en la síntesis de la clorofila. La deficiencia se observa en las nervaduras.

El **molibdeno** juega un papel importante en el metabolismo del nitrógeno. Su deficiencia está asociada a suelos ácidos y el síntoma más conocido es mantener las hojas color verde, pero deformes debido a la muerte de algunas células del parénquima.

El **cobalto**, interviene en la fijación del nitrógeno.

El **sodio**, contribuye al mantenimiento osmótico en las vacuolas celulares.

El **silicio** tiene un efecto principal en aumentar la cantidad de fosfato utilizable del suelo.

1.2.2.7. Ciclo del cultivo

Si la plantación de achiote ha sido debidamente cuidada la producción de semilla empieza a los 18 ó 20 meses, pero normalmente comienza a los 4 años. La producción fuerte se mantiene por 10 años y puede continuar hasta 20 y a los 50 años, dándole un buen manejo. El rendimiento anual promedio de un árbol adulto de cinco años es de 2.33 Kg. de semilla.

Cosecha.

La primera cosecha se produce a los 20 meses la misma que es escasa, la producción comercial se obtiene pasado los 3 años. Las capsulas se deben cosechar cuando alcancen su madurez comercial, pues ese es el estado en el que la concentración de bixina es mayor. Según la variedad, el estado de madurez comercial se alcanza aproximadamente de 2 a 3 meses después de haber ocurrido la floración. Un buen índice para determinar ese estado es palpar las capsulas, cuando estas resulten duras al tacto se pueden cosechar con seguridad.

1.2.2.8. Manejo post-cosecha.

El manejo de post-cosecha de las cápsulas y de las semillas es de fundamental importancia para mantener la integridad de la bixina. De nada sirve sembrar en el campo cultivares altos en bixina, si el manejo post-cosecha no es el apropiado. Un manejo post-

cosecha inadecuado puede dañar todo el trabajo realizado, ya que las mayores pérdidas de bixina se dan en esa etapa. De ahí la importancia de seguir los siguientes consejos:

a) Se deben cosechar únicamente cápsulas que estén en su punto adecuado de madurez. Las capsulas inmaduras (muy tiernas) y las que están secas (muy viejas) no tienen los contenidos de bixina adecuados.

b) Como la maduración de las capsulas ocurre gradualmente aun en una misma panícula (racimo) es conveniente esperar a que la mayoría alcance la madures en un tiempo determinado. Es preferente dejar que algunas capsulas maduren antes y no cosecharlas a fin de permitir que la mayor parte alcance su madurez y su mayor concentración de colorante.

c) Las cápsulas secas y abiertas no se deben cosechar pues la bixina se descompone por los rayos solares y por el ataque de plagas, especialmente hongos e insectos.

d) Las capsulas maduras cosechadas pueden secarse al aire libre, bajo el sol o bajo sombra según se prefiera. Cuando el secado se realice bajo el sol, se debe tener cuidado que las capsulas no se abran y se expongan las se millas a la acción de los rayos solares.

e) Por ningún motivo se deben secar las semillas bajo el sol, pues esta es una de las principales causas de pérdida de colorante.

f) No se deben mezclar semillas de cultivares altos en bixina con la de cultivares bajos en bixina. Es mejor hacer las mezclas únicamente de cultivares altos en colorante.

g) Solo se debe almacenar semilla seca, con contenidos de agua inferiores a 12%, a fin de evitar el ataque de hongos, si la semilla es atacada por hongos durante el almacenamiento es mejor desecharla, pues la calidad del colorante no será buena.

1.2.2.9. Usos del achiote

Habitualmente el achiote tiene una amplia variedad de usos, de manera directa, ya sea en medicina, en la industria, en la gastronomía, maderables, entre otros.

Las partes del árbol que generalmente se usan son las siguientes:

Ramas, fruto, semillas, madera, corteza, hojas, raíz y vástagos

- Las hojas y las ramillas jóvenes se cocinan en agua. Una vez que el agua se enfría, se cuela y se hacen baños en la cabeza para contrarrestar la caída del cabello., estimula su crecimiento y combatir la caspa. A veces el cocimiento se puede hacer agregando conos de ciprés o ramitas de romero a fin de hacer más efectivo el tratamiento.

- Las hojas se cocinan en agua se cuelas y cuando el agua esta tibia, se hacen gárgaras para combatir males de la garganta.

- Las hojas majadas y humedecidas con aceite se emplean para aliviar dolores de cabeza.

- La raíz se cocina en agua se cuela y cuando el agua esta tibia, se toma para contrarrestar problemas asmáticos.

- Las semillas mezcladas con aceite de oliva se ponen a hervir a baño maría, y una vez fría la mezcla, se utiliza para curar quemaduras y evitar las ampollas que estas producen.

- La pasta de achiote mezclada con grasa vegetal, sirve para curar las quemaduras.

- La pasta de achiote mezclada con aceite de oliva y colocada en la parte afectada sirve para combatir las varices.

- La pasta de achiote hervida en agua se toma para bajar la fiebre, para combatir las diarreas y los problemas en los riñones.

- El aceite de las semillas se usa en productos para el cuidado del cuerpo como son las cremas, lociones y jabones para el cabello.

- De la porción carnosa (rojo-naranja) que envuelve a la semilla se extrae un colorante apreciado industrialmente para dar color a productos alimenticios quesos, mantequilla, aceites, ceras, barnices, pinturas, cosméticos y fibras textiles de seda y algodón.

- Uno de los mayores usos es como colorante y condimento diario en las comidas tales como el arroz preparado de varias formas, en caldos, consomés o sopas, tamales, cochinita pibil y en la preparación de carnes y embutidos. (Vergara, 2010)

1.2.3.0. Tratamientos pregerminativos

Cada tipo de semilla necesita un tratamiento pregerminativos para poder germinar: escarificado, estratificado, inmersión en agua caliente o a temperatura ambiente, lixiviación con agua corriente, estimulantes químicos.

Una parte importante de las especies poseen algún impedimento para germinen sus semillas. Esto puede deberse a dos causas:

• El medio no es favorable para el crecimiento vegetativo a causa de una escasa disponibilidad de humedad, aireación o por una temperatura inadecuada. A este tipo de inhibición se le llama quiescencia,

• Las condiciones del medio son adecuadas, pero el organismo tiene una combinación fisiológica tal que impide su crecimiento. Este tipo de inhibición se denomina latencia.

En la naturaleza, el efecto de esos controles sirve para preservar las semillas y regular la germinación de manera que coincida con períodos del año en que las condiciones naturales son favorables para la supervivencia de las plántulas.

Estos mecanismos son en particular importantes para plantas que crecen en donde ocurren condiciones ambientales extremas, como en las regiones muy cálidas y secas o

frías, en donde las condiciones ambientales, después de la diseminación de las semillas, pueden no ser favorables para la germinación inmediata. La latencia de las semillas termina cuando existe algún estímulo ambiental que anuncie que las condiciones son favorables para el desarrollo de la planta.

1.2.3.1. Tipos de latencia en las semillas

Latencia exógena

- Física o mecánica. El tegumento presenta cubierta impermeable y/o dura.
- Química. Corresponde a la producción y acumulación de sustancias químicas que inhiben la germinación, ya sea en el fruto o en las cubiertas de las semillas.

Latencia endógena

- Morfológica El embrión, no se han desarrollado por completo en la época de maduración. Como regla general, el crecimiento del embrión es favorecido por temperaturas cálidas.
- Del embrión. Se caracteriza principalmente porque para llegar a la germinación se requiere un período de enfriamiento en húmedo y por la incapacidad del embrión separado de germinar con normalidad.

1.2.4. Germinación de semillas

Definición

La germinación es el proceso mediante el cual una semilla se desarrolla hasta convertirse en una planta. Este proceso se lleva a cabo cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe.

Para lograr esto, toda nueva planta requiere de elementos básicos para su desarrollo: temperatura, agua, oxígeno y sales minerales.

Requerimientos

Para que la germinación pueda producirse son necesarios algunos factores externos, como un sustrato húmedo, suficiente disponibilidad de oxígeno que

permita la respiración aerobia, y una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos.

Además, la latencia de germinación puede requerir determinados estímulos ambientales como la luz o bajas temperaturas, o que se produzca un debilitamiento de las cubiertas seminales. También contribuye el clima del lugar en el que se encuentra el cultivo.

Es importante, conocer y controlar las plagas que puedan atacar a la futura planta. Si se va a producir germinados para consumo humano, han de tenerse en cuenta factores muy importantes: higiene de las semillas, agua, medio ambiental en el cual van a desarrollarse.

1.2.4.1. Etapas de la formación de la semilla

a) Desarrollo del embrión.

b) Acumulación de reservas alimenticias: éstas se fabrican en las partes verdes de la planta y son transportadas a la semilla en desarrollo. En las semillas denominadas endospérmicas, las reservas alimenticias se depositan fuera del embrión, formando el endospermo de la semilla. En las semillas llamadas no endospérmicas, el material alimenticio es absorbido por el embrión y almacenado en contenedores especiales llamadas cotiledones.

c) Maduración: durante esta fase, se seca la semilla y se separa la conexión con la planta madre, cortando el suministro de agua y formando un punto de debilidad estructural del que se puede separar fácilmente la semilla madura.

La mayoría de las semillas entran en un periodo de latencia (o inactividad metabólica) después de su completa maduración. En este periodo, la semilla pierde la mayor parte de la humedad que tenía y es precisamente esta deshidratación el factor principal que garantiza la viabilidad de la semilla y su capacidad para poner fin a la inactividad, crecer y convertirse en una nueva planta. (Figura 1).

Este periodo de latencia varía de especie a especie; algunas semillas mueren rápidamente si se secan demasiado, pero existen semillas de mucha antigüedad, que han germinado después de muchos cientos de años.

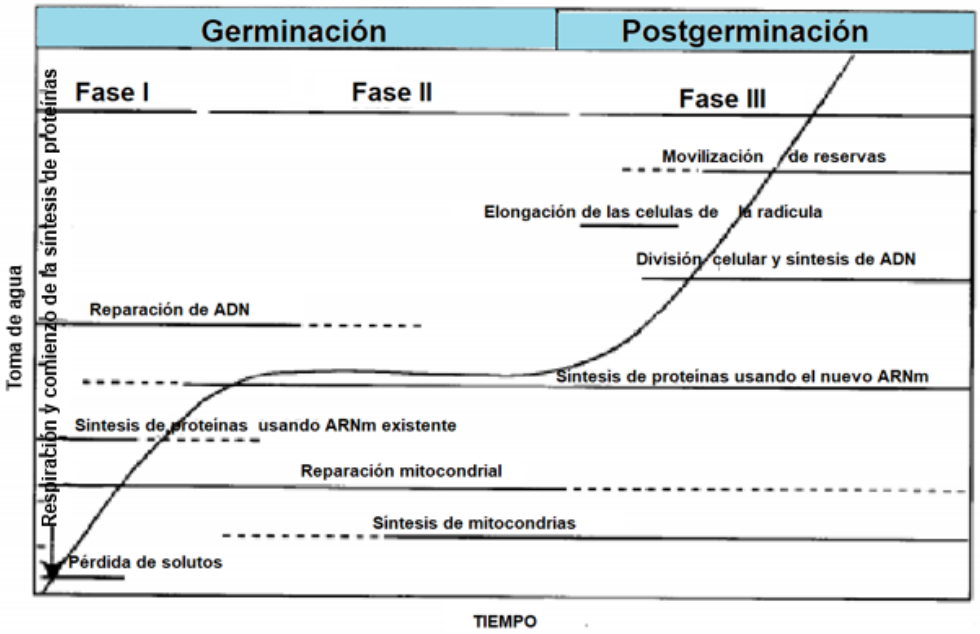


Figura 1. Proceso germinación de semillas (Bewley y Black, 1985).

Para lograr la germinación, la semilla necesita primordialmente agua y, dependiendo de la variedad de planta de que se trate, puede requerir mayor atención en cuanto a temperatura y condiciones de luz más específicas. Cada año, este ciclo de reproducción se repite de manera invariable. Sólo se alterará si cambian las condiciones del entorno. Así, si una planta de zona húmeda es cambiada de entorno y clima, haciéndolo más seco, esta planta se adaptará al cambio o morirá por no tener la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas. Teniendo las condiciones mínimas, la planta formará las semillas o las esporas. El viento o los animales se encargarán de llevarlos a tierras fértiles, reiniciando así el ciclo de la vida, con la formación de una nueva planta.

1.2.5. Estructura y germinación de la semilla de achiote

Las semillas son piriformes, de color rojizo, con abundante endosperma oleoso y bitégmicas. Según Chopra y Kaur (1965), el rudimento seminal presenta un saco embrional de tipo *Polygonum* y dos tegumentos multicelulares; cerca de la calaza, estos tienen 7 u 8 capas celulares. Las semillas se localizan dentro de una cápsula dehiscente que se abre en dos valvas (Hutchinson, 1959; 1969; Lawrence, 1951; León, 1968; Standley, 1923; 1937).

Las semillas son piriformes, numerosas y se originan en placentas parietales. Miden de 3 a 6 mm de largo y tienen una depresión longitudinal y una pequeña excrecencia en la porción distal que corresponde al micrópilo. Durante la germinación, se observa emerger la radícula a través de la taza del hilo en la región proximal del rudimento.

En estadíos tempranos, la pared ovárica de la cápsula presenta numerosos canales laticíferos. En el septo ovárico los haces que suplen las placentas presentan elementos traqueales anulares y helicoidales. Las áreas epidérmicas vecinas a la placenta son papilares, con células de citoplasma denso. El resto de la pared del lóculo muestra células epidérmicas con vacuolas grandes llenas de sustancias fenólicas y algunos tricomas multicelulares cortos.

Numerosas protuberancias epidérmicas cubren la cápsula en el exterior. Tienen haces vasculares con ramificaciones muy bien definidas, a veces asociadas a canales laticíferos; también se observa en ellas algunos idioblastos con sustancias fenólicas. De la epidermis de dichas estructuras emergen tricomas multicelulares; algunos son de tipo escamoso, otros son cortos (Figura. 2)

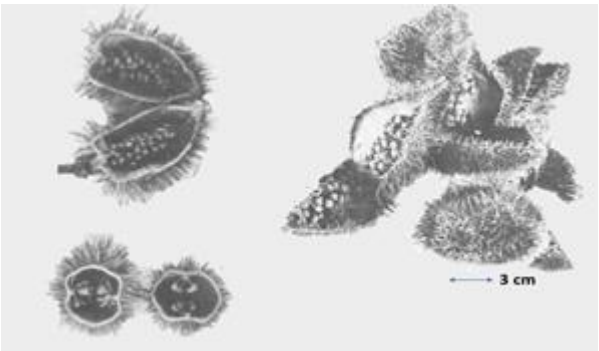


Figura 2. Cortes longitudinales y transversales de frutos inmaduros de *Bixa orellana* L.

Los rudimentos seminales de esta especie son ortótropos en su inicio. Se curvan en etapas muy tempranas de desarrollo, especialmente en la zona calazal y el micrópilo. El funículo también tiene crecimiento diferencial en el extremo distal y se curva sobre el lado ventral. Durante la antesis, los rudimentos adoptan una posición cercana a la anátropa, sin embargo, internamente se observa curvatura del micropilo. Esta se debe a mayor crecimiento del lado dorsal del rudimento.

Después de la fecundación, el crecimiento diferencial es mayor del lado ventral del rudimento y del funículo. Cerca de la madurez, éste vuelve a presentar una posición casi ortótropa; no obstante, persiste la curvatura del micropilo. Este crecimiento diferencial produce una torsión lateral del rudimento seminal hacia un costado. Este fenómeno se observa desde estadíos muy tempranos, y se acentúa o se disminuye conforme crece el rudimento. Durante la antesis, es imposible obtener un plano medio del mismo en que se observe el micropilo (Figura 3).

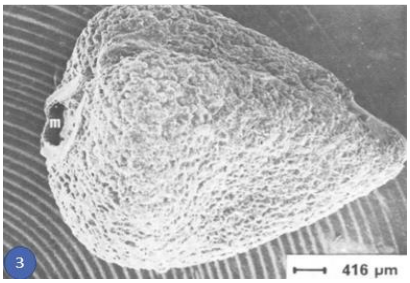


Figura 3. Vista panorámica al microscopio electrónico de barrido, de una semilla madura. m, micropilo.

El funículo es una estructura multicelular, glabra y curva cerca de la calaza. Su ensanchamiento cerca de la zona calazal del rudimento produce un hilo de gran amplitud en la semilla madura. El haz vascular que suple al rudimento seminal termina en la calaza durante la época de la antesis. Posteriormente, se alarga sobre el lado ventral del rudimento seminal y alcanza la vecindad del micropilo. Los rudimentos seminales estudiados son bitégmicos.

El tegumento externo tiene usualmente 4 capas durante la época de la fecundación; más tarde, se vuelve masivo debido a las divisiones periclinales de las células que forman las capas originales. Cuando el proembrión nuclear comienza a diferenciarse, las células de las capas medias del tegumento externo se dividen periclinalrnente en su inicio, y luego en todas direcciones. En el lado ventral del rudimento, este tegumento es mucho más grueso. A través de las capas centrales se observa la ramificación vascular proveniente del haz calazal. Inmediatamente después de esta proliferación celular se observa la formación de numerosos espacios lisígenos llenos de pigmento rojizo. Hacia la madurez, este tegumento está constituido por una epidermis externa de paredes y cutícula muy delgadas, grandes espacios llenos de pigmento en las capas medias y una epidermis interior formada por células anticlinalmente alargadas y de paredes suaves. La cutícula que cubre esta epidermis es también muy delgada. Cuando se produce la dehiscencia del fruto, el tegumento externo se deshidrata y parte de los pigmentos acumulados en su interior se dispersan en forma de polvo. (Figura 4.)

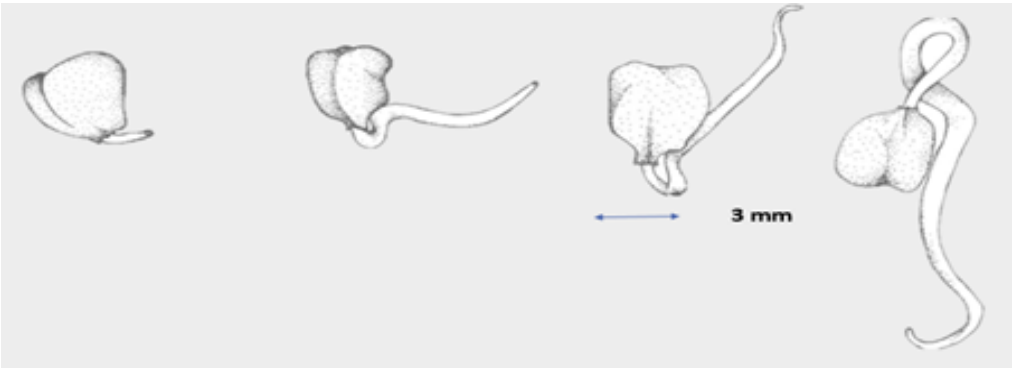
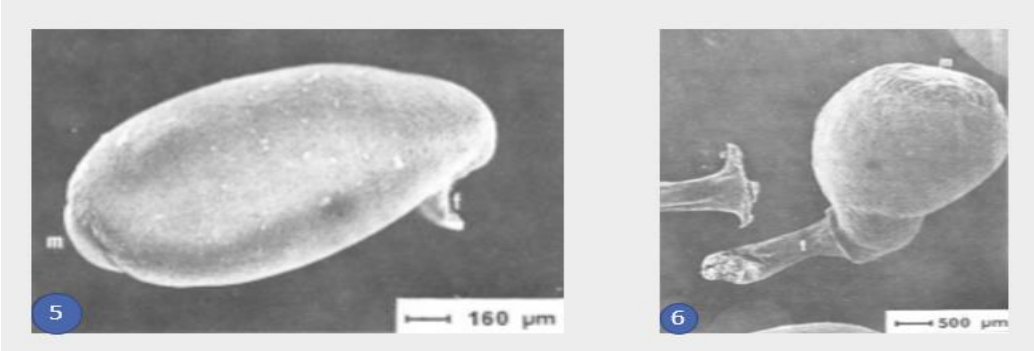


Figura 4. Estadíos de la germinación de la semilla de *Bixa orellana* L. en donde puede observarse la emergencia de la radícula y la porción de la semilla por la que tiene lugar la emergencia.

El tegumento interno también multiplica el número de capas en esa misma época. No hay acumulación de pigmento en la zona central en esta estructura. La epidermis externa y la capa celular media se alargan anticlinalmente y ofrecen un aspecto acintado. La capa celular que se localiza debajo de la epidermis externa y la epidermis interna muestra células en cuyas vacuolas se observa un moderado contenido de pigmento.

En la zona micropilar se produce una multiplicación celular en ambos tegumentos, que finalmente obstruye el canal. Más tarde, se observa lignificación de algunas capas. En la región calazal, del lado dorsal del rudimento y próximo al funículo, se diferencia un grupo de células que rellena una especie de canal. (Figuras 5,6.)



Figuras 5 y 6. Rudimento seminal inmaduro y de mayor edad de *B. orellana* en un microscopio electrónico de barrido.

Esta estructura se convierte en la primera abertura que permite la salida del embrión durante la germinación. La nucela es crasinucelada y en general, recta. Sólo se diferencia una célula arquespórica. La tétrada es lineal y la megaspora calazal es la que forma el saco embrional. La célula huevo ocupa una posición lateral. Las antípodas degeneran antes de la fertilización; las sinérgidas después. Esta se lleva a cabo por porogamia. La singamia y la formación del endospermo son simultáneas. (Figuras 7,8.)

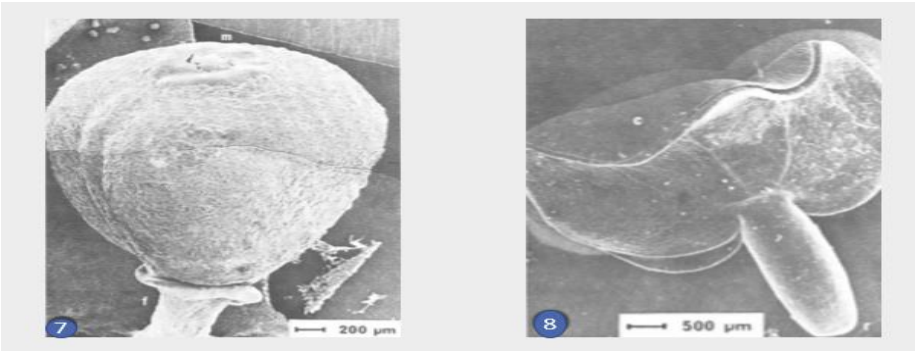


Figura 7. Semilla madura vista en el microscopio electrónico de barrido. Obsérvese la posición del funículo sobre la placenta.
Figura 8. Vista panorámica de un embrión de *Bixa orellana* de aproximadamente un día de desarrollo, al microscopio electrónico de barrido. m, micropilo; f. funículo; c, cotiledón; r, radícula.

El proembrión pudo observarse en el estado de dos células. Más tarde, sólo se encuentra una masa cenocítica en la cual se inicia una tardía formación de paredes celulares cerca de la zona micropilar; luego, se observa un proembrión multicelular. El embrión es alorrízico de forma espatulada y la radícula es antítropa. La radícula está cerca de la zona calazal mientras que el extremo apical se ubica cerca del micropilo. Los cotiledones se doblan ligeramente hacia un lado en el extremo distal.

El endospermo es nuclear e inicia la formación de paredes cerca del extremo micropilar. El megametofito y el endospermo luego digieren poco a poco los remanentes del tejido nucelar. Durante el proceso de germinación, la radícula sale a través del canal vecino al funículo.

Figura 9 Corte longitudinal de una semilla inmadura de *Bixa orellana*.

En los primeros estadíos de desarrollo del embrión, el meristemo apical tiene forma triangular en sección longitudinal y posteriormente tiende a aplanarse adquiriendo una forma biconvexa, de domo. Posee una túnica uniseriada que cubre el cuerpo masivo. A ambos lados se observan bandas procambiales que se proyectan a todo lo largo hacia los cotiledones y la radícula.

En primordios foliares y cotiledones es factible observar tricomas peltados multicelulares. Los cotiledones son bastante prominentes, redondeados y angostos, de 7 a 10 células de grosor, comprendiendo las epidermis y el mesófilo. En los embriones con dos o más días de desarrollo se nota que las bandas procambiales de los cotiledones ya tienen algunos elementos traqueales diferenciados. En la parte interna del cotiledón se nota la presencia de células grandes de contenido granular en grupos que aparentemente son células secretoras y que formarán posteriormente canales secretores (Figura. 10).

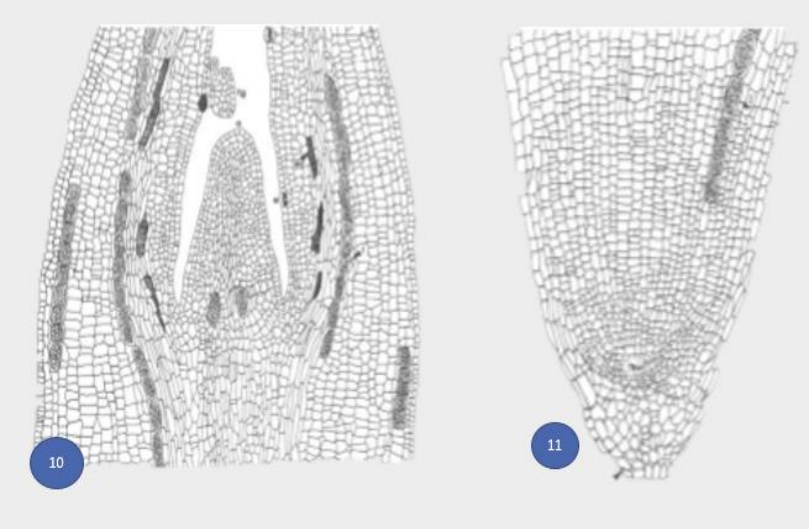


Fig. 10. Corte longitudinal de un embrión de B. orellana de aproximadamente 4 días de desarrollo.
Fig. 11. Corte longitudinal del extremo de la radícula de un embrión de aproximadamente 3 días de desarrollo.

El meristemo radical está protegido por una caliptra de 4 a 6 células de grosor, flojamente dispuestas, muy diferentes a las células de la rizodermis; en corte

longitudinal pueden observarse células secretoras de contenido denso y granular (Figura. 11). Los pelos radicales se observan por primera vez en embriones con dos días de desarrollo (Rivera 1983).

1.2.6. Prueba de viabilidad con tetrazolio

Es un método bioquímico en el cual no se mide la germinación sino la viabilidad por la coloración que toman las semillas puestas en una solución de Tetrazolio. Las semillas absorben esa sustancia dentro de las células de tejidos vivos biológicamente activos, donde la reacción química la cambia a un compuesto insoluble de color rojo, diferenciándose así por la tinción el tejido viable del no viable. La prueba puede indicar, además, presencia de problemas mostrando, por ejemplo, manchas con poca tinción, sin colorear o sin teñirse en distintos puntos, como la radícula o las extremidades de los cotiledones. El tiempo requerido para realizarlo es de 24 horas y las dificultades que resuelve el método, hacen que esta medición de viabilidad sea utilizada como una prueba rápida.

Se fundamenta en la reacción bioquímica de ciertas enzimas de las células vivas con la sal de tetrazolio, la cual consiste en la reducción del tetrazolio hasta formar un compuesto rojo llamado formazán. La actividad de estos sistemas enzimáticos decrece paralelamente a la viabilidad de las semillas; por lo tanto, una coloración rojo intenso indica la presencia de células vivas en el embrión. En cambio, la no coloración o coloración rosa pálido son indicativas de la muerte o poca viabilidad de las células embrionarias. Dicha reacción ocurre dentro de las células y dado que el pigmento rojo que se forma es insoluble no hay difusión del color rojo a las otras células. Así las zonas viables que toman el color rojizo se delimitan de las zonas muertas que mantienen su color original. Esto ha permitido llamarla prueba topográfica del tetrazolio. (Moreno, 1996)

VENTAJAS

• Rápida determinación de la viabilidad del lote de semillas, importante para la toma de decisiones rápidas en la industria de semillas.
• Adecuada evaluación de la capacidad germinativa potencial, especialmente para lotes con elevada cantidad de semillas dormidas.
• Guía en el control de calidad de semillas que deben ser guardadas de un año para otro, conocido como "carry over", puede llegar a detectar deterioro aún antes que el poder germinativo.
• Útil para estudiar la biología de las semillas y procesos de deterioro.

DESVENTAJAS DEL MÉTODO

• La interpretación visual de la tinción es subjetiva y requiere experiencia, especialmente en semillas pequeñas (Howarth y Stanwood, 1993).
Esta necesidad de entrenamiento y experiencia, posiblemente haya sido la razón por la cual se lo ha utilizado poco en el pasado.
• Labor intensiva que implica al tener que cortar y evaluar las semillas.
• Puede no detectar daños menores, presencia de infección fúngica o daños por insecticidas (Vankus, 1997).

1.2.7. Tratamientos pregerminativos para eliminar la latencia

Estratificación

Consiste en colocar las semillas embebidas de agua o no, en capas o estratos húmedos, usando, como sustrato, por ejemplo, arena. El período de estratificación varía según la especie. Se utiliza para superar latencias provenientes del embrión.

• Cálida. Si la estratificación se realiza a temperaturas altas (22 a 30 ºC).
• Fría. Si la estratificación se realiza a temperaturas bajas (0 a 10 ºC).

En el vivero también se puede estratificar empleando el mismo suelo o algún otro sustrato húmedo. La estratificación fría se realiza en invierno y la cálida en verano.

Escarificación

Es cualquier proceso de romper, rayar, alterar mecánicamente o ablandar las cubiertas de las semillas para hacerlas permeables al agua y a los gases.

Mecánica.

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

Húmeda con agua caliente.

Se colocan las semillas en un recipiente en una proporción de 4 a 5 veces su volumen de agua caliente a temperatura entre 77 y 100 ºC. De inmediato se retira la fuente de calor y las semillas se dejan remojar durante 12 a 24 horas en el agua que se va enfriando gradualmente. Las semillas se deben sembrar inmediatamente después del tratamiento.

Química.

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. El tiempo de tratamiento varía según la especie. Al final del período de tratamiento se escurre el ácido y las semillas se lavan con abundante agua para quitarles el restante.

Lixiviación.

El propósito es remover los inhibidores remojando las semillas en agua corriente o cambiándoles el agua con frecuencia. El tiempo de lixiviación es de 12 a 24 horas.

Combinación de tratamientos

Se utiliza en semillas de especies que tienen más de un tipo de letargo.

Hormonas y otros estimulantes químicos.

Existen compuestos que sirven para estimular la germinación, entre los más usados están: nitrato de potasio, etileno, ácido giberélico (GA_3), citoquinas, entre otros. Todo este tipo de sustancias se emplean a diferentes concentraciones y tiempos de remojo, dependiendo de la especie de que se trate.

Imbibición en agua a temperatura ambiente.

Se utiliza en semillas sin dormancia, para homogenizar el proceso de germinación.

1.2.8.3. Beneficios de las algas marinas como estimulante para la germinación de semillas

Por su elevado contenido en fibra, macro y micronutrientes, aminoácidos, vitaminas y fitohormonas, las algas actúan como acondicionador del suelo y contribuyen a la retención de la humedad. Además, por su contenido en minerales, son un fertilizante útil y una fuente de oligoelementos.

AGROKELP® es un concentrado de algas marinas, el alga que se utiliza para este proceso es *Macrocystis sp* debido a su composición es denominado un biofertilizante orgánico, bioestimulante y promotor del crecimiento que contiene todos los nutrientes mayores y menores necesarios para el buen desarrollo de las plantas terrestres.

BENEFICIOS

- Estimula la germinación de la semilla por su contenido de auxinas que intervienen en esta etapa del cultivo.
- Sus hormonas vegetales hacen fluir los carbohidratos para los procesos de fijación de nitrógeno necesarios en la sanidad del suelo productivo.
- Ayuda a la planta en sus cambios fisiológicos cruciales: germinación, crecimiento, reproducción, prefloración, floración y fructificación.
- Estimula el metabolismo de la planta mejorando su vitalidad, productividad y resistencia al estrés.

- Estimula y regula el crecimiento y división celular de las plantas por su contenido de auxinas y giberelinas.
- Intensifica el potencial genético e incrementa el rendimiento y calidad de los cultivos debido a su condición de promotor del crecimiento biológico.
- Multiplica la resistencia a la tensión de la planta, la cual conduce a producciones más fuertes y saludables, con mayor rendimiento.
- Produce una rápida translocación de los nutrientes a las partes de mayor necesidad de la planta, reprando en forma rápida y eficiente alguna deficiencia nutricional.
- Debido a la presencia de elicitores, propicia mayor resistencia a las plantas de las enfermedades, heladas, sequías y plagas.
- El uso adecuado del Agrokelp en las dosis mínimas recomendadas, ha demostrado incrementos en los rendimientos de producción que van desde un 10% hasta un 30% dependiendo del cultivo.

Cuadro 1. Análisis garantizado por litro de fertilizante de algas marinas

Análisis por litro de fertilizante	
pH	4.3-4.6
Azufre	0.24%
Boro	0.0088%
Calcio	0.0175%
Carbohidratos	1.09%
Cobre	0.0001%
Fierro	0.0005%
Fósforo	0.0053%
Magnesio	0.0023%
Manganeso	0.0001%
Materia orgánica	2.87%
Nitrógeno	0.0256%
Potasio	0.0013%
Zinc	0.0012%
Diluyentes y acondicionadores	95.73%

Cuadro 1. Contenido nutrimental de Agrokelp®

1.2.8.4. Fertilizantes sintéticos o inorgánicos

Salgado García et al. (2006) mencionan que los fertilizantes sintéticos pueden ser simples (Ureas) o compuestos (Triple 17) dependiendo del número de elementos nutritivos que contengan. En el mundo los principales fertilizantes sintéticos que se consumen son los nitrogenados, fosfatados y potásicos (USDA, 2015). Entre 2002 a 2009 el consumo mundial de fertilizantes nitrogenados y fosfatados creció 1.9% y 0.64% respectivamente, mientras que los potásicos decrecieron 0.24 % (FAO, 2016). Los fertilizantes nitrogenados se emplean más que los fosfatados y potásicos debido a que las nuevas variedades de plantas consumen más nitrógeno USDA (2015). Existen varios estudios que demuestran que el uso de fertilizantes incrementa el rendimiento de los cultivos. Stewart et al. (2005) observaron que el rendimiento de los cultivos puede incrementar de 30 a 50% con el uso de fertilizantes sintéticos. Fageria y Baligar (1997) encontraron que el uso de nitrógeno y micronutrimentos puede aumentar hasta un 90% el rendimiento del frijol. Fageria y Baligar (2001) obtuvieron un incremento en el rendimiento del arroz con 209 kg de Nitrógeno por hectárea.

El uso eficiente de nutrimentos incrementa la calidad y el rendimiento de los cultivos, además de reducir los costos de fertilización (Baligar *et al*., 2001). A pesar de que los fertilizantes sintéticos incrementan el rendimiento de los cultivos estos ocasionan graves daños al ambiente (Smith y Siciliano, 2015). Los fertilizantes nitrogenados son el principal contaminante de acuíferos, ríos y océanos (Savci, 2012); además contamina el suelo con metales pesados, disminuyen el pH del suelo (Cui *et al*., 2014), deterioran la estructura del suelo, disminuyen la eficiencia de los cultivos, la actividad microbiana es afectada negativamente (Savci, 2012), en algunos cultivos no hay incremento de rendimiento (Smith y Siciliano, 2015), además de que en la producción de los fertilizantes sintéticos se liberan gases de efecto invernadero (Liu *et al*., 2011).

Fertilizantes orgánicos

El uso de residuos vegetales y animales en el desarrollo de plantas ha sido documentado desde la antigüedad (López-Mtz. *et al*., 2001; Pérez Luna *et al*., 2012). Los fertilizantes orgánicos son sustancias que se producen a partir de la descomposición de

materiales vegetales y animales (Cruz, 1986). Algunos materiales empleados como fertilizantes o en la elaboración de ellos son: estiércol, orines, huesos, residuos frescos y secos de plantas, aserrín, cenizas, algas marinas, efluentes de biodigestores, entre otros (Salgado García *et al*., 2006; Nieto-Garibay *et al*., 2010; Pérez Luna *et al*., 2012). Los fertilizantes orgánicos se caracterizan por tener coloides, mayor efecto residual, porosidad, capacidad de retener humedad, fuerte estructura, ácidos húmicos y fúlvicos, cantidad elevada de materia orgánica, contenidos elevados de macro y micro nutrimentos (López-Mtz. *et al*., 2001) (Salgado García *et al*., 2006).

Fertilización orgánica

Los fertilizantes orgánicos tienen como principal desventaja la baja tasa de asimilación, pero la ventaja en su uso es que tiene menos efectos secundarios, en el caso de excederse y contienen una mayor cantidad de macro y microelementos, lo que proporciona mayor cantidad de nutrientes a los cultivos y retienen una mayor cantidad de humedad tan necesaria para el desarrollo adecuado de las plantas (Villa *et al*., 2005)

Villa *et al*., (2005), describen que los fertilizantes orgánicos reconstituyen los niveles de materia orgánica del suelo y con esto se incrementa la capacidad para retención de nutrientes minerales que se le aplican, mejorando su textura y estructura y la capacidad de retención de agua a diferencia de los fertilizantes inorgánicos que solo aportan nutrientes que se necesitan para solucionar el problema inmediatamente.

Fertilización orgánica

Ventajas

- Por su origen natural son más inofensivos al ambiente y tienen un porcentaje menor de contaminación
- Provee nutrimentos necesarios
- Se puede obtener de diferentes fuentes a diferencia de los sintéticos
- Liberación lenta
- Mejora propiedades físicas de los suelos
- Son sustentables, es decir que provienen de materiales renovables

- Aumentan la fauna bacteriana en el suelo, mejoran la cantidad de materia orgánica y características del suelo

Desventajas

- Debido a las sustancias bases para su elaboración. Tienen un bajo nivel de disponibilidad para la planta
- La concentración de nutrimentos no es conocida, además de que puede ser elevada por lo que requiere mayores cantidades para satisfacer la demanda nutricional de las plantas.
- Posible deficiencia de ciertos nutrimentos esenciales
- Contario a lo que se piensa, si las compostas o estiércoles no son bien madurados puede causar enfermedades o contaminaciones bacterianas como E. Coli
- Los subproductos de origen vegetal y animal (abonos orgánicos) para que sean baratos en el mercado y puedan competir ventajosamente ante los fertilizantes químicos deben de estar en una situación de exceso de oferta.
- Aquellos fertilizantes orgánicos certificados son hasta 50% más caros que los tradicionales

En cuanto al origen de los insumos

Fertilizante Inorgánico

Las materias primas para la producci6n de fertilizantes inorgánicos provienen principalmente de yacimientos mineros, cuyas extensiones son relativamente pequeñas, su extracción no afecta directamente las áreas de producción agrícola, lo cual constituye una fortaleza. Su debilidad es que estas fuentes son irrenovables.

Fertilizante Orgánico

Los nutrientes contenidos en los materiales orgánicos son originarios del mismo suelo agrícola, excepto en aquellos casos relacionados con los depósitos de Turba y otros cuyas fuentes son procesos quimico-bioIógicos. Lo anterior conlleva a que la utilización de fertilizantes orgánicos para enriquecer nutricionalmente un suelo de un área determinada hay que empobrecer el suelo de otra área.

En cuanto a la concentración de nutrientes y humedad

Fertilizante Inorgánico

La elevada concentración de nutrientes y la baja humedad en los fertilizantes inorgánicos, se constituyen en una de las fortalezas de estos productos. Estos dos factores generan una reducción de los costos para el transporte, su aplicación y manejo de forma general.

Fertilizante Orgánico

La baja concentración de nutrientes y los elevados niveles de humedad presentes en los abonos orgánicos se constituyen en una de las debilidades de estos productos. Para mantener una productividad competitiva las cantidades de fertilizantes orgánicos a utilizar deben ser elevados, como elevada es la extracción de nutrientes con la cosecha.

En cuanto a los aspectos de contenido, formulación y riesgos de contaminación

Fertilizante Inorgánico

En la mayoría de los países las formulaciones de los fertilizantes químicos no atienden a las necesidades específicas del campo, sino más bien a situaciones promedio muy generales, lo que conlleva a que la eficiencia de estos no sea la más adecuada para situaciones específicas y se produzca un desperdicio o deficiencia de ciertos nutrientes.

Si la situación anterior ocurre año tras año, se ocurrirían deficiencias muy fuertes de ciertos nutrientes y exceso de otros, produciéndose lo que se llama comúnmente fertilidad del suelo en desequilibrio. Los nutrientes que se acumulan en el suelo, más allá de ciertos niveles pueden definirse como una contaminación.

Por otro lado, los contenidos de nutrientes en los fertilizantes inorgánicos son más fácilmente conocidos, se absorben mejor y controlables. Además, se pueden manejar más racionalmente ya sea industrialmente o en mezclas, a nivel de campo y así tener en los suelos concentraciones adecuadas de nutrientes que respondan a necesidades específicas.

Fertilizante Orgánico

Los fertilizantes orgánicos presentan un contenido más variado de nutrientes, a pesar de sus bajas concentraciones. Esto puede considerado como una ventaja. Por

ejemplo, el suministro de fertilizantes orgánicos puede eliminar las deficiencias de micronutrientes. Por otro lado, ciertos fertilizantes orgánicos, principalmente los derivados de residuos urbanos (compost de basureros, residuos del tratamiento de aguas negras, etc.), suelen presentar concentraciones peligrosas de metales pesados como el plomo, cadmio, estaño y mercurio, productos altamente contaminantes.

Por otro lado, los contenidos de nutrientes en los fertilizantes orgánicos son poco manejables y están en función de sus concentraciones en los residuos utilizados. Por ejemplo, la concentración de P en los residuos orgánicos es generalmente baja. En los suelos tropicales pobres en P las necesidades de fertilización con P van más allá de las cantidades que pueden ser suministradas por un fertilizante orgánico, esto si se utilizan cantidades factibles de ser manejadas.

El utilizar los residuos orgánicos generados por la actividad agrícola y por el procesamiento de sus productos, es vital para el control de una fuente importante de contaminación de las aguas superficiales.

En cuanto a su eficiencia como abono y mejorador del suelo

Fertilizante inorgánico

Los fertilizantes inorgánicos en general son solubles. Su solubilidad presenta la ventaja de que los nutrientes están más rápidamente disponibles para las plantas, por otro lado, presentan la desventaja de que en condiciones de exceso de agua en el suelo gran cantidad de estos nutrientes puede ser desaprovechado ya sea por su erosión o lixiviación, contaminando a la vez las aguas superficiales y subterráneas. Si son utilizados de manera indiscriminada e inadecuada, los fertilizantes inorgánicos pueden constituirse en poluentes del suelo y del agua. Los fertilizantes inorgánicos no son considerados como mejoradores del suelo, sus efectos en este sentido pueden ser indirectos a través del aumento de la producción de biomasa.

Fertilizante Orgánico

Los fertilizantes orgánicos son menos solubles, ponen los nutrientes a disposici6n de las plantas de manera más gradual. Al aumentar la capacidad de intercambio catiónico

(CIC) del suelo, pueden mantener más nutrientes absorbidos, reduciéndose por ende las perdidas por su lixiviación.

Los fertilizantes orgánicos pueden ser catalogados como mejorados del suelo ya que tienden a mejorar su estructura, lo que adecua la infiltración del agua, facilita el crecimiento radical, posibilita una mejor aireación y contribuye al control de la erosión entre otros. Cabe señalar que para que los fertilizantes orgánicos actúen como mejoradores, las cantidades que deben ser adicionadas al suelo anualmente, deben ser elevadas.

1.3 Hipótesis

- Al someter semillas de achiote (*Bixa orellana* L.) a tratamientos pregerminativos, se incrementa la germinación y se acorta el tiempo de emergencia.
- El uso del fertilizante orgánico en comparación con el fertilizante inorgánico incide favorablemente sobre el desarrollo de la plántula de achiote.

1.4. Objetivos

1.4.1. General.

- Evaluar tratamientos pregerminativos en semillas y tratamientos de nutrición en achiote (*Bixa orellana* L.) para aumentar el porcentaje de germinación y el crecimiento de plantas.

1.4.2. Específicos

- Evaluar las características fisiológicas de las semillas en respuesta a los tratamientos pregerminativos.

- Establecer el tratamiento pre-germinativo que rompa la latencia de manera efectiva, acelerando el proceso de germinación en los tres genotipos objeto de evaluación.

- Comparar el efecto de la nutrición orgánica e inorgánica, en el crecimiento de plantas de achiote

1.5. EXTRATEGIA EXPERIMENTAL

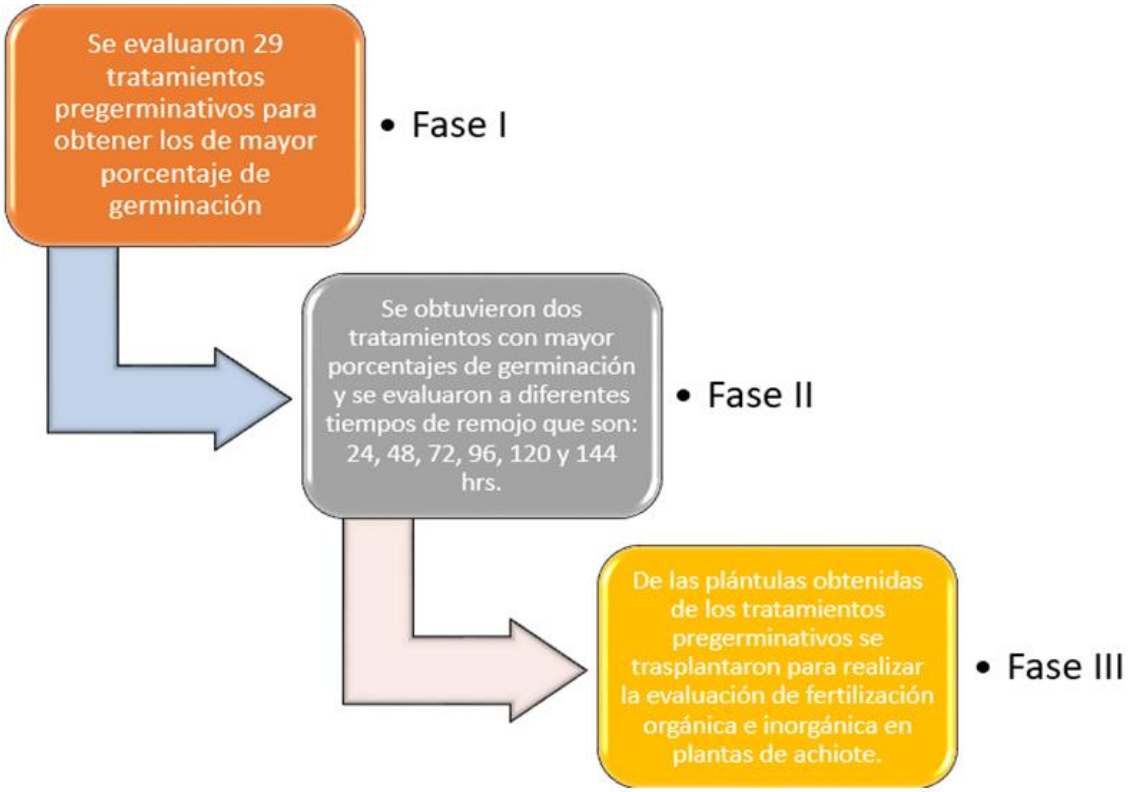


Figura 12. Fases de la Metodología

Se evaluaron los tratamientos pregerminativos en dos fases: La fase I constó de 29 tratamientos más un testigo con 4 repeticiones en tres genotipos recolectados en el estado de Yucatán (N2, Yuc-10 y Naty-2) los tratamientos fueron:

TRATAMIENTOS	TIEMPO
• Remojo con aireación más dosis de concentrado de algas a 2 ml L^{-1}	24,48,72,96,120, y 144 horas
• Remojo con aireación más dosis de concentrado de algas a 4 ml L^{-1}	24,48,72,96,120, y 144 horas
• Remojo en agua con aireación a	24,48,72,96,120, y 144 horas
• Remojo por 24 hrs y choque térmico a 60°C	3,5,7 y 9 minutos
• Remojo por 24 hrs y choque térmico a 80°C	3,5,7 y 9 minutos
• Remojo por 24 hrs y choque térmico a 100°C	1,2 y 3 minutos

Cuadro 2. Tratamientos pregerminativos en semillas de achiote (*Bixa orellana* L.)

Con los resultados obtenidos se escogieron los mejores en este caso fueron:

- Imbibición en agua con aireación más dosis del concentrado de algas a 2 mL L^{-1} y 4 mL L^{-1}

Y con estos tratamientos se realizó la fase II en la cual se evaluaron los tratamientos:

- Remojo con las dosis de concentrado de alga a 2 mL L^{-1} y 4 mL L^{-1} a diferentes tiempos de remojo (24,48,72,96,120, y 144 horas).
- Remojo únicamente con agua y diferentes tiempos (24,48,72,96,120, y 144 horas).
- Más un testigo

Se realizaron 18 tratamientos con 4 repeticiones en tres genotipos recolectados de la Península de Yucatán (N2, Yuc-10 y Naty-2)

El diseño empleado para cada genotipo fue completamente al azar, cuatro repeticiones y una unidad experimental constituida por 25 semillas por repetición. Se evaluaron porcentaje de germinación y de emergencia.

De las plántulas obtenidas en los tratamientos pregerminativos se utilizaron para trasplantarlas y dar inicio la comparación de fertilización orgánica e inorgánica con tres genotipos recolectados de la Península de Yucatán (N2, Yuc-10 y Naty-2) con lo cual se realizó la fase tres de la metodología.

LITERATURA CITADA

Bradford, K. J .; Bewley, J.D. 2002. Semillas: biología, tecnología y papel en la agricultura pp. 210- 239. Ed. Jones y Barlett. Bostón

Bonilla M.J 2009. Centro Nacional de tecnología agropecuaria y forestal Manual técnico el cultivo del achiote pp 03,04 Nicaragua

Coto Amaya, O. M. y Trejo Araujo, J. A 1989. El Achiote. Generalidades sobre su cultivo. El Salvador, CENTA-MAG.

Cárdenas F.H. 2011**.** Morfología y tratamientos pregerminativos de semillas de granadilla (*Passiflora ligularis Juss*)._Colombia.

Chopra, R.N_ & H. Kaur. 1965. Embryology of Bixa orellana Linn. Phytomorphology 15: 211-214

Rivera D.I. 1983 Estructura y germinación de las semillas de *Bixa orellana* L. pp 193-200 Costa Rica.

Hatrman, H. y D. Kester. 2001. Propagación de plantas. Principio y Prácticas. (Tr.) A. Ambrosio. Octava impresión. Editorial Continental. México. 760p.

*G*odoy H.G. Utilización sostenible: Producción y distribución de semillas de achiote México

León, J. 1968 Fundamentos botánicos de cultivos tropicales. IICA. pp 448-450 San José. Costa Rica.

Molina Moreno J. y Leovigildo Córdova Téllez, (2006), Recursos filogenéticos en México para la alimentación y la agricultura, SAGARPA. México.

Sierra, C.J, G. (1989). El achiote y la Bignonia chica. En: simposio Colombiano de Etnobotánica. Universidad del Cauca, Popayán Colombia. p 1-22.

Ramos de S. Gladys. 1991. El cultivo del achiote en Venezuela En: Fonaiap divulga, No 3 Maracay. Venezuela. pp 15-17.

Rueda Velásquez, L. 2009. Diseño de una planta piloto para la producción de bixina a partir de achiote Colombia

CAPÍTULO II TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE ACHIOTE *(Bixa orellana* L.*)*

2.1 RESUMEN

Las semillas de achiote (*Bixa orellana* L.) presentan una germinación errática en tiempo y homogeneidad por ello, se estudió el efecto de varios tratamientos pregerminativos como son el choque térmico, el remojo en diferentes horas con aireación, y remojo con diferentes dosis de concentrado de algas marinas. Se utilizaron semillas de tres genotipos de achiote colectados en la Península de Yucatán y dos genotipos de origen peruano. El diseño fue completamente al azar, con 29 tratamientos iniciales y cuatro repeticiones de los cuales se obtuvieron 2 tratamientos con mayor porcentaje de germinación y fueron los que se embebieron en agua con aireación más dosis del concentrado de algas a 2 mL L^{-1} y 4 mL L^{-1}. Al ser estos los mejores tratamientos con mayor porcentaje se sometieron a remojo en seis tiempos 24,48,72,96,120, y 144 horas. Se observó un aumento significativo del porcentaje de germinación ya que hay genotipos como lo es la Naty-2 que se obtuvo un 2% de germinación con una prueba de germinación inicial y al someterse a los tratamientos de remojo con el concentrado de algas alcanzó un 89% al estar en un remojo por 144 h y aireación, estos genotipos estaban en almacenamiento por un periodo de 8 años, lo que hace más significativo el porcentaje de germinación obtenido en los tres genotipos.

Palabras clave: Remojo, algas marinas, choque térmico.

CHAPTER II PREGERMINATIVE TREATMENTS IN SEEDS OF ACHIOTE (*Bixa orellana* L.)

ABSTRACT

Annatto seeds (Bixa orellana L.) have an erratic germination in time and homogeneity, therefore, the effect of several pregerminative treatments such as thermal shock, soaking in different hours with aeration, and soaking with different doses of concentrate was studied. of seaweed. Seeds of three achiote genotypes collected in the Yucatan Peninsula and two genotypes of Peruvian origin were used. The design was completely randomized, with 29 initial treatments and four repetitions of which 2 treatments with a higher percentage of germination were obtained and were those that were imbibed in water with aeration plus dose of the algae concentrate at 2 mL L-1 and 4 mL L -one. As these are the best treatments with the highest percentage, they were soaked at six times 24,48,72,96,120, and 144 hours. A significant increase in the percentage of germination was observed, since there are genotypes such as Naty-2, which resulted in 2% germination with an initial germination test and when subjected to the soaking treatments with the algae concentrate reached 89% being in a soak for 144 h and aeration, these genotypes were in storage for a period of 8 years, which makes the percentage of germination obtained in the three genotypes more significant.

Keywords: Soaking, seaweed, thermal shock.

2.2 INTRODUCCIÓN

Un camino fisiológico conocido para mejorar el comportamiento germinativo de muchas especies de interés agrícola son los tratamientos pregerminativos de hidratación de las semillas, que ha probado ser eficiente para revigorizar semillas envejecidas, acelerar e incrementar la germinación y los rendimientos de las plantas, tanto bajo condiciones ecológicas óptimas como adversas.

Estos procedimientos consisten en la inmersión de las semillas en soluciones osmóticas o en agua durante cierto tiempo con o sin deshidratación previa a la siembra y permiten que una gran proporción de las mismas alcance rápidamente el nivel de humedad y estado metabólico deseado; como consecuencia de la activación de numerosos procesos bioquímicos-fisiológicos relacionados con la germinación, la tolerancia al estrés ambiental y a la autoreparación enzimática de las membranas celulares.

Si se desconocen las condiciones óptimas para la germinación de una especie determinada, se dificulta la evaluación de los efectos del almacenamiento, ya que los resultados obtenidos podrían deberse a las diferencias en los métodos de evaluación de la calidad fisiológica, antes que a los efectos del almacenamiento como tal. Si no existen protocolos para evaluar la calidad fisiológica de una especie determinada, como en el caso del achiote, es indispensable definir las condiciones que permiten una mayor expresión de las variables de calidad fisiológica (Cárdenas, 2011)

Dada la importancia comercial del achiote es necesario aumentar el cultivo de achiote ya que la producción nacional es muy baja y únicamente tres estados producen y son: Quintana Roo con 247.60 ton Yucatán con 233.90 ton y Tabasco con 27.30 ton (Sagarpa, 2014).

La principal causa de una baja producción es el desconocimiento del manejo del cultivo, iniciando desde tener un protocolo para la germinación de las semillas. La propagación del achiote se realiza tanto de forma sexual como asexual, siendo la primera la más utilizada aun cuando existe variabilidad en la descendencia y bajo porcentaje de emergencia, siendo necesaria la aplicación de tratamientos pregerminativos para aumentar el porcentaje de germinación, así como se produzca una emergencia más rápida y uniforme.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, sus coordenadas geográficas son: 19° 20’ latitud Norte y 20° 37’ longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una altitud de 10 msnm. El clima que predomina en la región es Awo (X) (i)g de acuerdo a la clasificación climática de Koepen, modificada por García (1988), con una temperatura media anual de 26.6°C, máxima de 35°C y mínimas de 17°C con una precipitación media anual de 700 mm.

El experimento se estableció en el Laboratorio de Fisiologia y Biotecnología Vegetal del Campus Conkal del Tecnológico Nacional de México, donde se realizaron varias evaluaciones para encontrar los mejores genotipos además de obtener el tratamiento pregerminativo más idóneo para alcanzar un mayor porcentaje de germinación.

MATERIAL BIOLÓGICO

Cuadro 1. Se cuenta con cinco genotipos de semilla de achiote para realizar las evaluaciones.

GENOTIPO	PESO PROMEDIO DE UNA SEMILLA (g)
Yucatecas	
N2	0.02883
Naty	0.03092
Yuc-10	0.02823
Peruanas	
R32010	0.028401
V42011	0.02832

En un inicio se realizó una prueba de tetrazolio para saber si las semillas de los genotipos recolectados eran viables ya que se contaban con 5 genotipos dos de origen peruano y tres de origen yucateco almacenadas por ocho años.

Con los genotipos con mayor vigor se realizó la fase I con 29 tratamientos con 4 repeticiones en tres genotipos colectados en el estado de Yucatán (N2, Yuc-10 y Naty-2) más un testigo los tratamientos son:

PROCEDIMIENTO	TIEMPO
• Remojo con aireación más dosis de concentrado de algas a 2ml L^{-1}	24,48,72,96,120, y 144 horas
• Remojo con aireación más dosis de concentrado de algas a 4ml L^{-1}	24,48,72,96,120, y 144 horas
• Remojo en agua con aireación a	24,48,72,96,120, y 144 horas
• Remojo por 24 hrs y choque térmico a 60°C	3,5,7 y 9 minutos
• Remojo por 24 hrs y choque térmico a 80°C	3,5,7 y 9 minutos
• Remojo por 24 hrs y choque térmico a 100°C	1,2 y 3 minutos

Cuadro 2. Tratamientos pregerminativos en semillas de achiote (*Bixa orellana* L.)

Se realizó una prueba de germinación estándar "entre papel" (ISTA, 1976). Se sembraron 25 semillas distribuidas en cinco columnas y cinco hileras, en dos toallas previamente humedecidas con agua destilada sobre una superficie plana y posteriormente se cubrieron con otras dos toallas húmedas y se enrollaron en forma de "taco", los cuales se introdujeron en una cámara germinadora a 28 °C.

Al obtener resultados se escogieron los mejores resultados en este caso fueron: Imbibición en agua con aireación más dosis de fertilización de fertilizante de algas a 2 mL L^{-1} y 4 mL L^{-1}

Y con estos tratamientos se realizó la fase II en la cual se llevó a cabo una prueba de imbibición y un lavado de semillas para quitar el pigmento que se encuentra en la testa y así ayudar a que la semilla se humedezca más rápido, la evaluación se realizó con los tratamientos con mayor porcentaje de germinación los cuales fueron: remojo con las dosis del concentrado de algas marinas a 2 mL L^{-1} y 4 mL L^{-1} a (24, 48, 72, 96, 120, y 144 h),de remojo así como el tratamiento únicamente de remojo con agua más aireación a diferentes tiempos (24, 48, 72, 96, 120, y 144 horas), más un testigo con esto estaremos realizando

la evaluación de la Segunda fase con 18 tratamientos con 4 repeticiones en tres genotipos recolectados de la Península de Yucatán (N2, Yuc-10 y Naty-2)

El diseño empleado para cada genotipo fue completamente al azar, cuatro repeticiones y una unidad experimental constituida por 25 semillas por repetición. Se evaluaron porcentaje de germinación y vigor.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar la prueba de Tetrazolio se obtuvieron los siguientes resultados, el genotipo R32010 y el V42011 de origen peruano son los que obtuvieron un porcentaje más bajo de tinción en tetrazolio. El genotipo V42011 obtuvo un 3% de tinción y el R32010 obtuvo un 12.5% pero su tinción no fue pareja y únicamente presentaba tinción en unas partes del tejido, por lo cual se optó por utilizar el genotipo Naty-2 que obtuvo un 8% de viabilidad, pero fue más uniforme en su tinción del tejido. Así los genotipos seleccionados son Naty-2, N2, y Yuc-10 para dar inicio a la fase 1.

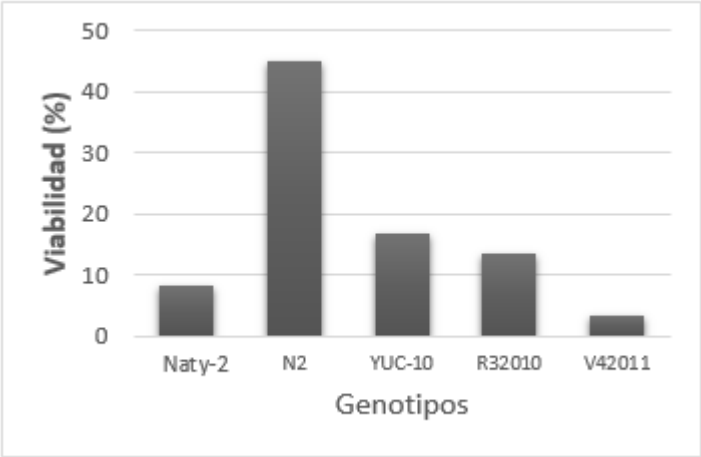


Figura 1. Porcentajes de viabilidad obtenidos en la prueba de tetrazolio.

Los resultados en la primera fase para obtener los mejores tratamientos que tuvieran un mayor porcentaje de germinación fueron dos, el tratamiento de remojo por 24 horas en 2 mL L^{-1} de concentrado de algas marinas y el tratamiento de remojo por 24 horas en 4 mL L^{-1} de concentrado de algas marinas, en los tres genotipos el aumento de porcentaje de germinación incremento considerablemente. El genotipo Naty-2 como

testigo alcanzo el 2% y con los tratamientos con tiempo de remojo y dosis de algas 2 mL L^{-1} y el de 4 mL L^{-1} alcanza un porcentaje arriba del 80%. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Mejores resultados de los 29 tratamientos pregerminativos

TRATAMIENTO	GENOTIPO	TIEMPO DE GERMINACIÓN	% GERMINACIÓN
Remojo 24 hrs+ aireación+ 100°C x 1 minutos	N2	7	73
	YUC-10	14	55
	Naty-2	26	8
Remojo 24 hrs+ aireación+ 2ml concentrado de algas	**N2**	**7**	**100**
	YUC-10	**14**	**100**
	Naty-2	**22**	**96.66**
Remojo 24 hrs+ aireación+ 4ml concentrado de algas	**N2**	**5**	**72**
	YUC-10	**14**	**98.66**
	Naty-2	**22**	**87.32**
Remojo por 120 hrs+ aireación	N2	7	90
	YUC-10	11	45
	Naty-2	24	15
Choque térmico 60°C x 9 min.	N2	6	20
	YUC-10	12	40
	Naty-2	14	30
Choque térmico 80°C x 3 min.	N2	6	37
	YUC-10	18	94
	Naty-2	21	68
TESTIGO	N2	9	21
	YUC-10	16	10
	Naty-2	27	2

Para ver todos los resultados obtenidos de los 29 tratamientos ir al anexo.
En negrillas se encuentran los mejores porcentajes de germinación.

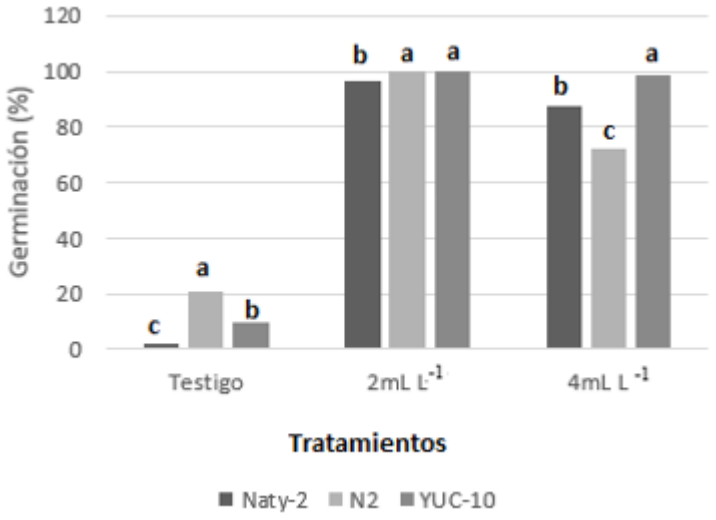


Figura 2. Germinación de semillas de achiote (*Bixa orellana* L.) en tratamientos a base de extractos de algas. N2, YUC-10 y Naty-2=Genotipo locales

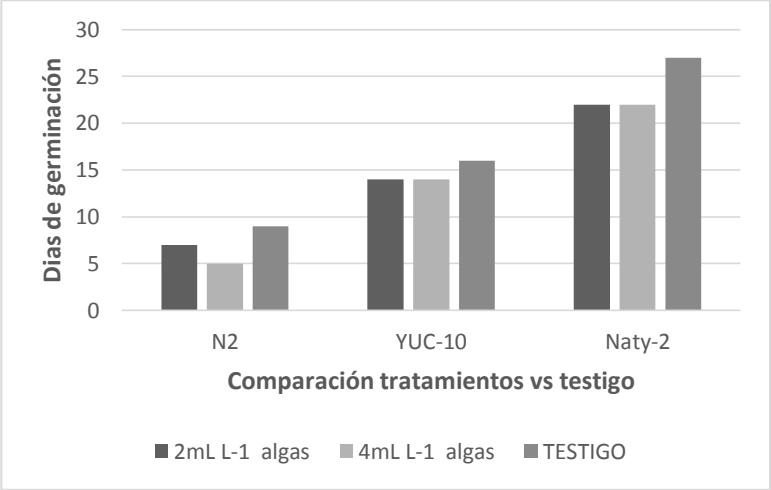


Figura 3. Resultados de los días de inicio de germinación en tres genotipos de semillas de achiote (*Bixa orellana L*). Comparación de 2 tratamientos orgánicos a base de concentrado de algas.

A diferencia del genotipo N2 que en las evaluaciones pasadas tuvo un comportamiento más alto en porcentajes de germinación y vigor en todos los tratamientos pregerminativos esta vez sufrió una baja en el porcentaje de germinación, así como daños

en la semilla (pudrición), la causa de estos resultados fue ocasionada por el lavado ya que en los otros genotipos fue un resultado positivo en el genotipo N2 es negativo y causa daños en la semilla. Esto se puede comprobar con una prueba de imbibición y ver que semillas requieren el lavado, ya que los genotipos Yuc-10 y Naty-2 sufren pocos cambios en la prueba de imbibición, a diferencia de la N2 que tiene un aumento constante de peso al realizarse esta prueba y con ello demuestra que no se requiere realizar lavados durante el remojo como lo muestra la figura 4 en donde se realizó una prueba de imbibición sin lavado previo y nos demuestra que el genotipo N2 no requiere el lavado previo ya que tiene un aumento de peso constante y uniforme en todas las semillas y existe protución de la radícula, en el genotipo Yuc-10 no es uniforme el aumento de peso en todas las semillas y en el genotipo Naty-2 en todas sus semillas no presenta aumento de peso en la prueba de imbibición (Figura.4)

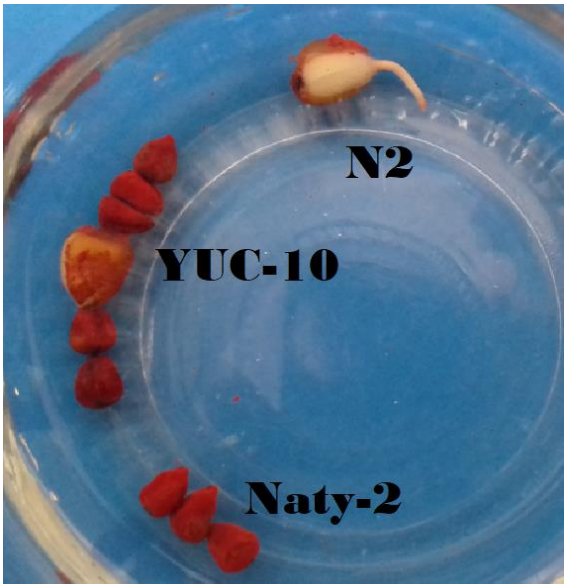


Figura 4. Genotipos Naty-2, YUC-10 y N2 y su comportamiento en la prueba de imbibición sin realizar lavado previo.

Los resultados obtenidos en la segunda fase de los tratamientos, se detectaron diferencias altamente significativas ($P<0,05$) para todas las variables evaluadas por efecto de la interacción genotipo y tratamientos, con esta nueva evaluación se realizó un cambio en la metodología inicial y se efectuó un lavado diario de las semillas en remojo hasta no tener pigmento en la testa de las semillas esto se hizo en los tres genotipos, dando como

resultado que la semilla Naty-2 que había tenido resultados de hasta el 2% de germinación y un tiempo de emergencia de hasta 60 días, con este lavado alcanzó arriba del 80% de germinación y se acorto su tiempo de emergencia, la semilla Yuc-10 también tuvo porcentajes altos ya que sin tratamiento obtuvo en evaluaciones pasadas 10% y con los tratamientos de algas marinas a dosis 2mL L^{-1} y 4mL L^{-1} todos los tratamientos tuvieron porcentajes arriba del 80%.

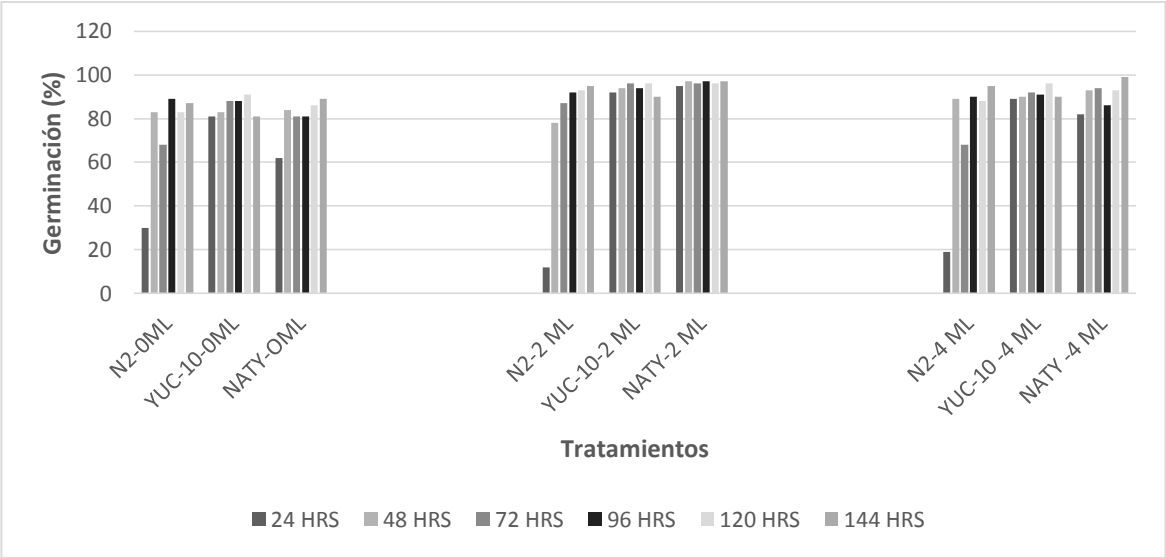


Figura 5. Germinación de semillas de achiote (*Bixa orellana* L.) en seis tiempos de remojo.

El tiempo de remojo en los tratamientos es muy importante y su interacción con el tratamiento de 2 mL L^{-1} de concentrado de algas marinas y al realizar la comparación de medias nos arroja que el mejor tiempo de remojo es a las 96 horas y hay mayor porcentaje de germinación y es más homogéneos los resultados únicamente el genotipo N2 es el que presenta bajos porcentajes, y esto como ya lo habíamos mencionado es a causa del lavado previo que no es adecuado para este genotipo. (Cuadro 3)

Cuadro 3. Prueba de medias de los tiempos de remojo de los tratamientos pregerminativos.

TIEMPO	REMOJO
0	15.7 C
24	15.6 C
48	21.9 AB
72	21.1 B
96	22.4 A
120	22.8 A
144	23.0 A

Cuadro 3. Los resultados con letras iguales son estadísticamente iguales Tukey (P<0,05).

Resultados en la prueba de emergencia

En la agricultura, la calidad de semilla es un componente básico para obtener una mayor eficiencia productiva (Andrade, 1992). La calidad de la semilla es un estándar de excelencia o atributo que puede determinar el funcionamiento de ésta al momento de la siembra o almacenamiento. Los componentes de calidad de la semilla se pueden agregar en categorías, donde se menciona la descripción, higiene y potencial de funcionamiento; en este último, se toma en cuenta el vigor y la germinación (Hampton, 2002). La ISTA (1976) define el concepto de vigor, como la capacidad de la semilla para producir, en forma rápida y uniforme, plántulas normales en condiciones específicas; donde la capacidad depende del estado bioquímico, amplitud de reservas nutritivas y constitución genética de las semillas (Besnier, 1989). Es posible notar que dentro de los factores que están involucrados en el origen y causas del vigor de la semilla se pueden considerar dos grupos: a) origen genético o endógeno a la planta o semilla; y b) origen ambiental o exógeno que inciden desde el lote de producción hasta posteriores a la cosecha (Villaseñor, 1984).

Las pruebas de vigor se dividen en dos tipos: a) directas, las cuales se simulan las condiciones donde pasan las semillas en el campo, con la ventaja que se evalúan todos los factores que afectan el vigor; y b) indirectas, que miden atributos fisiológicos de la semilla y son medidos en el laboratorio y relacionado con el establecimiento en campo (Copeland, 1976). Se realizó la prueba de velocidad de emergencia propuesta por Maguire (1962), en donde se cuenta el número de días que emergieron para establecer un índice., obteniendo los siguientes resultados.

En la prueba de emergencia de las semillas de achiote el mejor tratamiento fue el del concentrado de algas marinas de 4 mL L^{-1} siendo este tratamiento que acelero la germinación de nuestras semillas, y el mejor genotipo es el de Yuc-10 siendo esta las primeras en emerger en nuestra prueba.

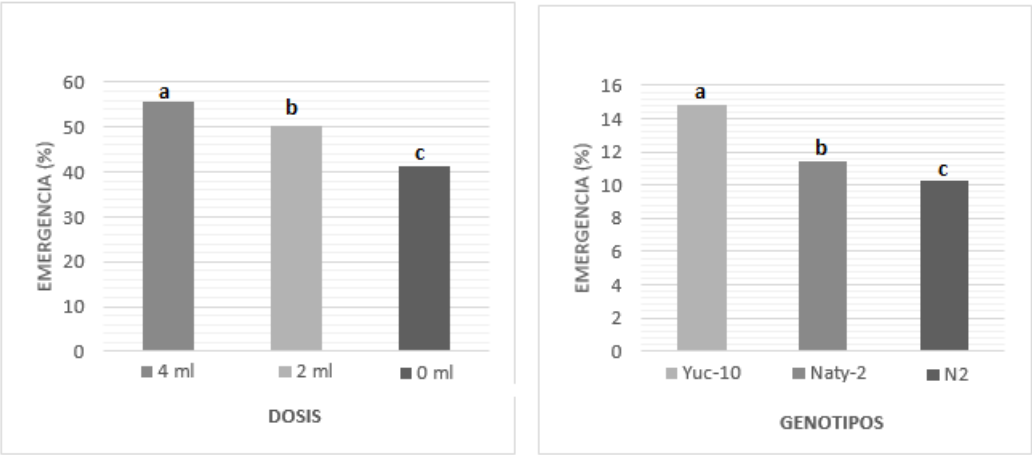


Figura 6. Emergencia de semillas en dos tratamientos con extractos de algas marinas. Emergencia de tres genotipos de achiote (*Bixa orellana* L.)

Para acelerar el porcentaje de emergencia la dosis de 4 mL L^{-1} del concentrado de algas marinas es el tratamiento idóneo, mas no el más indicado si se requiere tener un mayor porcentaje de germinación ya que aumenta velocidad y disminuye el porcentaje de germinación. (Figura 10)

Figura 10. Emergencia de achiote (*Bixa orellana* L.)

2.5 CONCLUSIONES

Se debe realizar una prueba de imbibición a las semillas que se van hacer tratamientos pregerminativos para saber cómo es su comportamiento en el aumento de peso y si embeben de forma natural o se les requiere hacer el lavado para eliminar el pigmento que tienen en su testa, ya que hay genotipos que requieren de un lavado muy fuerte como los del genotipo Naty-2 y al quitar la capa de colorante mejora muchísima su germinación y la semilla puede recibir la humedad necesaria para dar inicio a la fase de germinación, al contrario del genotipo N2 que al realizarle el lavado su porcentaje disminuye ya que no es necesario el lavado previo y este genotipo tiene mejores resultados en el porcentaje de germinación sin lavado ya que si se le realiza, su porcentaje baja mucho ya que la semilla sufre de pudrición por exceso de humedad en su interior.

Los tratamientos que mayor porcentaje de germinación obtuvieron son los realizados con la dosis de 2 mL L^{-1} de fertilizante de algas en los tres genotipos de achiote, en pruebas de germinación siendo esta la dosis adecuada para realizar el remojo de las semillas de achiote.

Para acelerar la emergencia de la semilla de achiote es recomendable aplicar la dosis de 4 mL L^{-1} ya que hace que las semillas emerjan más rápido pero su desventaja es que el porcentaje de germinación baja.

LITERATURA CITADA

Andrade, B. H. J. 1992**.** Mejoramiento del vigor en semillas de maíz (Zea mays L.) y su relación con emergencia y rendimiento. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, pp. 98 Estado de México. 1992

Hampton, J. G. 2002. ¿Qué es la calidad de la semilla? Semilla Ciencia y. Tecnología pp 10-30 2002

Copeland, L. G. 1976. Principios de la ciencia y tecnología de las semillas. Burgess Publishing Company. pp. 369 Minneapolis, Minnesota, EE. UU.

Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (ISTA). 1976**.** Reglas internacionales para el análisis de semillas. Semilla Ciencia y Tecnología 4: 3-177 .

Maguire, J. D. 1962. Velocidad de germinación: ayuda en la selección y evaluación de emergencias y vigor de plántulas. pp. 176-177

Vargas, R. J. M. 1996 Velocidad de emergencia, un parámetro importante para la selección por vigor de semillas de líneas e híbridos de maíz (Zea mays L.) Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 58 Chapingo, Estado de México.

Villaseñor, M. H. E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. pp 149 Montecillo, Estado de México.

CAPÍTULO III

EFECTO DE LA NUTRICIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA EN PLANTAS DE ACHIOTE (*Bixa orellana* L.)

3.1 RESUMEN

El uso de fertilizantes orgánicos ha crecido en las últimas décadas. Tal utilización masiva surge como resultado de la amplia demanda de materia prima para los procesos productivos y abastecimiento de alimentos en el mundo. Los fertilizantes orgánicos actúan como sustitutos de fertilizantes inorgánicos tradicionales, brindan buenos rendimientos en las cosechas, favorecen el crecimiento de frutos sanos, resistentes al ataque de plagas y ofrecen facilidades para su aplicación. Además, los nutrientes esenciales, contenidos en los fertilizantes orgánicos, poseen características fisicoquímicas y biológicas apropiadas para el suelo, lo cual implica incrementos de productividad en el sector agrícola global. El uso de extractos líquidos de algas marinas es una excelente opción para fertilizar de forma orgánica ya que aumenta un rendimiento entre 10-25% según sea el cultivo. El presente trabajo de investigación se realizó para probar diferentes dosis de fertilización orgánica e inorgánica y ver su efecto en el crecimiento, diámetro de tallo, área foliar en el cultivo de achiote (*Bixa orellana* L.) Y viendo la importancia de los fertilizantes orgánicos que en apariencia son más lentos en su forma de nutrir a una planta, pero debemos de ver todo el desarrollo para determinar cuál fertilizante es mejor, ya que en apariencia el fertilizante inorgánico es mejor contra el orgánico, pero este último tuvo una desventaja de 8 semanas que no recibieron fertilización las plantas de este tratamiento por tener un problema de quemadura en un inicio, y esto afecto considerablemente en su desarrollo. Pero a su vez el fertilizante orgánico presento beneficios contra el inorgánico, ya que no presento deficiencias ni ataque de enfermedades como le sucedió al fertilizante inorgánico, que presento deficiencias por Fierro, además de presentar ataque de hongo Mildiú polvoriento, causado por el hongo *Oídium bixae*.

Palabras clave: Fertilizantes orgánicos, extracto líquido de algas marinas

CHAPTER III

EFFECT OF ORGANIC AND INORGANIC NUTRITION IN ACHIOTE PLANTS (*Bixa orellana* L.)

3.1. ABSTRACT

The use of organic fertilizers has grown in recent decades. Such massive use arises as a result of the wide demand of raw material for the productive processes and food supply in the world. Organic fertilizers act as substitutes for traditional inorganic fertilizers, provide good yields in crops, favor the growth of healthy fruits, resistant to the attack of pests and offer facilities for their application. In addition, the essential nutrients, contained in organic fertilizers, have physicochemical and biological characteristics appropriate for the soil, which implies increases in productivity in the global agricultural sector. The use of liquid extracts of seaweed is an excellent option to fertilize organically as it increases a yield between 10-25% depending on the crop. The present research work was carried out to test different doses of organic and inorganic fertilization and see its effect on growth, stem diameter, leaf area in achiote cultivation (*Bixa orellana* L.) and seeing the importance of organic fertilizers that in appearance they are slower in their way of nourishing a plant, but we must see all the development to determine which fertilizer is better, since in appearance the inorganic fertilizer is better against the organic, but the latter had a disadvantage of 8 weeks that the plants of this treatment did not receive fertilization because they had a burn problem at the beginning, and this affected their development considerably. But in turn the organic fertilizer has benefits against inorganic, since I have no deficiencies or disease attack as happened to inorganic fertilizer, which presented deficiencies by Fierro, in addition to attack by fungus Mildiú dusty, caused by the fungus *Oidium bixae*.

Keywords: Organic fertilizers, liquid extract of seaweed

3.2 INTRODUCCIÓN

Desde hace por lo menos diez mil años nace la agricultura, como respuesta de los cazadores-recolectores a la satisfacción de una necesidad, el alimento, puesto que la recolección no era suficiente y la caza demasiado peligrosa (Rojas-Canales y Pons-Gutiérrez, 1996). Sin duda la agricultura ha sido uno de los mejores descubrimientos del hombre sin saberlo de momento, se descubrió la base de la humanidad, al inicio era muy simple; sin embargo, con el paso del tiempo la técnica fue mejorando hasta llegar a lo que ahora se conoce.

Una alternativa como fertilización orgánica es con las algas marinas, la utilización de las algas como fertilizante se remonta al siglo XIX, cuando los habitantes de las costas, recogían las grandes algas pardas arrastradas por la marea y las aportaban en sus terrenos.

A comienzos del siglo XX, se desarrolló una pequeña industria basada en el secado y la molienda de algas, pero se debilitó con la llegada de los fertilizantes químicos sintéticos.

Las algas y sus derivados mejoran el suelo y vigorizan las plantas, incrementando los rendimientos y la calidad de las cosechas, por lo que en la medida que esta práctica se extienda irá sustituyendo el uso de los productos químicos de síntesis por orgánicos, favoreciendo así una agricultura sostenible. Las algas tienen mejores propiedades que los fertilizantes porque liberan más lentamente el nitrógeno, y además son ricas en microelementos y no generan semillas de adventicias.

Gracias a su elevado contenido en fibra, macro y micronutrientes, aminoácidos, vitaminas y fitohormonas vegetales, las algas actúan como acondicionador del suelo y contribuyen a la retención de la humedad. Además, por su contenido en minerales, son un fertilizante útil y una fuente de oligoelementos.

Villa *et al.* (2005), consignan que los fertilizantes orgánicos e inorgánicos, poseen tanto ventajas como desventajas, las ventajas de los fertilizantes inorgánicos es que poseen una rápida tasa de asimilación de nutrientes, ya que se encuentran en concentraciones mucho mayores y específicas que los fertilizantes orgánicos pero sus desventajas son que contribuyen a reducir la materia orgánica contenida en el suelo y en exceso tiende a contaminar la zona.

Los fertilizantes químico-sintéticos tienen las ventajas de que poseen concentraciones altas por lo que la cantidad que se usa es menor, también poseen formas de absorción más fácil para las plantas, nutrimentos disponibles inmediatamente y pueden formulados para aportar todos los micros y macronutrientes para las plantas. A su vez las desventajas son: los nutrimentos se pueden lavar con facilidad (en especial N), esfácil aplicar en exceso o en deficiencia, la mayoría usan para su elaboración energías no renovables, por lo que no son sustentables a largo plazo, debido a sus altas concentraciones, si son usados en exceso contaminan los mantos friáticos (Reservas subterráneas de agua), su precio es muy inestable y generalmente está relacionado con el precio del petróleo, disminuyen la fauna bacteriana del suelo, los fertilizantes químicos son preparados sobre la base de materias primas importadas y su procesamiento es altamente dependiente de energía, tanto las materias primas como los productos terminados están en manos de unas pocas empresas a nivel mundial, lo que crea una dependencia un tanto riesgosa para los agricultores y en última instancia para el país que basa su desarrollo agrícola en estos insumos. Además, tratándose de materias primas y productos importados, su adquisición significa entre otros tener los costos basados en moneda extranjera, salida de divisas y la necesidad de mantener subsidios para equilibrar el desfase entre los precios internos de los productos y los precios externos de los insumos.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, sus coordenadas geográficas son: 19° 20’ latitud Norte y 20° 37’ longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una altitud de 10 msnm. El clima que predomina en la región es Awo (X) (i)g de acuerdo a la clasificación climática de Koepen, modificada por García (1988), con una temperatura media anual de 26.6°C, máxima de 35°C y mínimas de 17°C con una precipitación media anual de 700 mm.

El experimento se estableció en un invernadero tipo túnel con apertura cenital y plástico con 50% de sombra. Se utilizaron semillas de tres colectas realizadas en el estado de Yucatán las cuales fueron N2, Yuc-10 y Naty-2 y son el resultado de las pruebas de germinación realizadas con los tratamientos pregerminativos y de las semillas germinadas,

se sembraron para obtener plántulas y posteriormente se trasplantaron en bolsas con un sustrato con una mezcla del de 70% de suelo K'ankab (Luvisol Rodico), 10% de hojas de dzidzilche, 10% de estiércol de ganado.

Cuadro 1. Sustrato utilizado en las pruebas de fertilización de plantas de achiote, en invernadero

MEZCLA DE SUSTRATO UTILIZADO			
70% Suelo*	10% Estiércol de ganado	10% cascarilla de arroz	10% hojas de dzidzilche

*Suelo K'ankab= Luvisol Rodico. Cascarilla de arroz obtenido de la limpieza del grano de arroz. Dzidzilche: *Gimmopodium floribundun*

Análisis fisicoquímico del sustrato usado para producir achiote.

El desarrollo de los cultivos está condicionado por muchos factores, tanto bióticos como abióticos, dentro de estos últimos se encuentran las propiedades fisicoquímicas de los suelos. El análisis fisicoquímico realizado al sustrato que se manejó para el desarrollo de las plantas de achiote nos indica que tiene un pH ligeramente alcalino, así como alta conductividad eléctrica, los que nos indica un suelo salino, lo que hace que el rendimiento de los cultivos se vea afectado por esta condición de salinidad (Castellanos 2000).

Se tiene un suelo con textura Franco-Arenosa, lo que nos hace que un bajo contenido de arcilla, habrá menos posiciones para retener cationes y por tanto una baja CIC. Por lo general, los suelos con alta CIC, son aquellos con altos contenidos de arcilla y/o materia orgánica. La alta CIC les brinda mayor capacidad para retener nutrientes, eso normalmente los hace más fértiles. Se cuenta con un suelo rico en Potasio K, Calcio Ca^{+2}, Magnesio Mg^{+2}, así como Nitrógeno Nítrico $N\text{-}NO_3$, Fosforo de Fosfatos $P\text{-}PO_4^{-}$, Azufre de Sulfatos $S\text{-}SO_4^{-2}$. Los niveles de microelementos encontrados en el análisis son altos.

Cuadro 2. Análisis fisicoquímico de sustrato utilizado en la prueba de fertilización de achiote (*Bixa orellana* L.).

PARAMETROS FISICOS	RESULTADO	NIVELES
pH	7.89	6-7.5
Conductividad eléctrica	5.37 mS/cm	1.5-2.5 mS/cm
Materia orgánica	17.76	
Textura	Franco - Arenosa	
Arcilla	17.00	
Arena	53.00	
Limo	30.00	
ANIONES (-)	**ppm**	**NIVELES**
Nitrógeno Nítrico N-NO_3	196.00	20-40 ppm
Fosforo de Fosfatos P-PO_4^{-}	198.00	20-30 ppm
Azufre de Sulfatos S-SO_4^{-2}	50.67	60-100 ppm
CATIONES (+)	**ppm**	**NIVELES**
Sodio Na	1140.00	<150 ppm
Potasio K	870.00	100-250 ppm
Calcio Ca^{+2}	9000.00	1500-3500 ppm
Magnesio Mg^{+2}	1010.00	200-500 ppm
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	60.22	
MICROELEMENTOS	**ppm**	**NIVELES**
Fierro Fe^{-2}	53.70	5-30 ppm
Zinc Zn^{+2}	26.20	3-10 ppm
Cobre Cu^{+2}	10.80	0.8-3 ppm
Manganeso Mn^{+4}	10.5	5-15 ppm
Boro B^{+3}	0.6	0.3-1.5 ppm

Tratamientos

El inicio de la fertilización de las plantas de achiote se inició en el mes de diciembre del 2017 y la frecuencia de aplicación de dosis es cada semana se usaron plantas de achiote de los genotipos N2, Yuc-10, Naty-2 las dosis a evaluar fueron:

Cuadro 3. Tratamientos evaluados en el crecimiento en vivero de plantas de achiote (*Bixa orellana* L.).

EXTRACTO DE ALGAS MARINAS (Agrokelp)	FERTILIZANTE INORGÁNICO (Polyfeed)
2mL L^{-1}	1 g L^{-1}
4mL L^{-1}	2 g L^{-1}
6mL L^{-1}	3 g L^{-1}

Variables Evaluadas

Las variables evaluadas a partir de los de los 30 días y hasta los 210 días posteriores al trasplante (DPT) fueron: altura de planta (cm) medida desde la base del tallo hasta el ápice terminal de la planta y el diámetro del tallo principal, el cual fue medido con vernier (mm) estas evaluaciones se realizaron cada 30 días.

En el mes de junio al cumplir los 210 días (DPT) se evaluó el área foliar (cm^2) con un integrador de área foliar LICOR 3000ª, peso de materia fresca y seca del follaje y raíz el secado se hizo en una estufa por 72°C a 70°C hasta obtener peso constante, volumen radical cuantificado con base en el volumen del agua (cm^3).

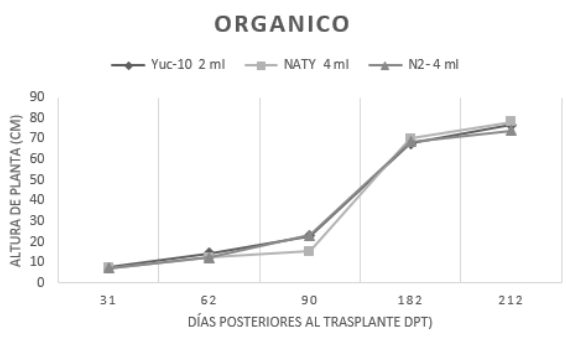
Diseño experimental y análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante el análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P<0,05$) con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2004)

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de las plantas

En la altura de la planta de achiote se encontraron diferencias entre los tratamientos con relación al testigo a partir del día 121 en los tratamientos inorgánicos y con respecto al orgánico a partir del día 90 se iniciaron las diferencias entre los tratamientos.



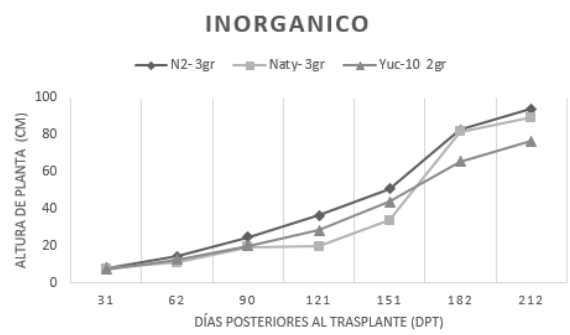


Figura 1. Altura de plantas de tres genotipos de achiote (*Bixa orellana* L.) con tratamiento orgánico de concentrado de algas marinas.

Figura 2. Altura de plantas de tres genotipos de achiote (*Bixa orellana* L.) con tratamiento inorgánico

Las plantas asperjadas con el tratamiento de 4 ML L^{-1} del concentrado algas marinas que obtuvieron una mayor altura son el genotipo Naty-2 con una altura de 78.12 cm en comparación de con el genotipo N2 que obtuvo una altura de 72.12 cm. (Figura 3)

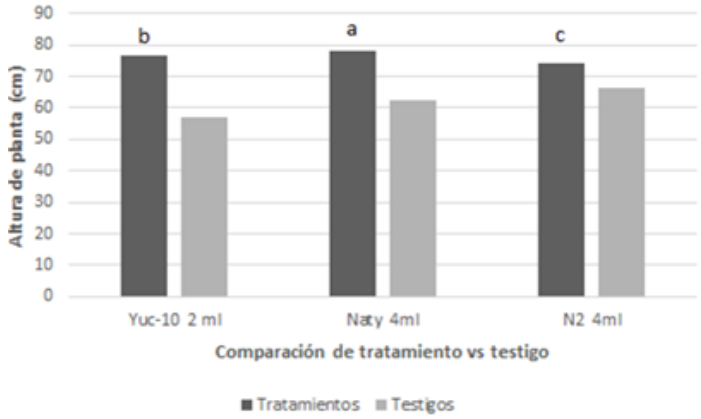


Figura 3. Comparación del tratamiento de 4 mL L^{-1} del concentrado de algas contra el testigo

En los tratamientos con fertilización inorgánica el tratamiento de 3 g es el que obtuvo mayor altura de planta con 78.12 cm en comparación del genotipo Yuc-10 que su altura fue de 72.37 cm y en este genotipo el tratamiento con mayor altura fue el de 2 g y su altura fue de 76.50 cm. Con esto podemos ver que las mejores alturas tanto en orgánico como inorgánico obtuvieron la misma altura lo que los diferencio fue el genotipo y se deben hacer más pruebas para ver cómo afecta la fertilización con respecto a los genotipos (Figura 4).

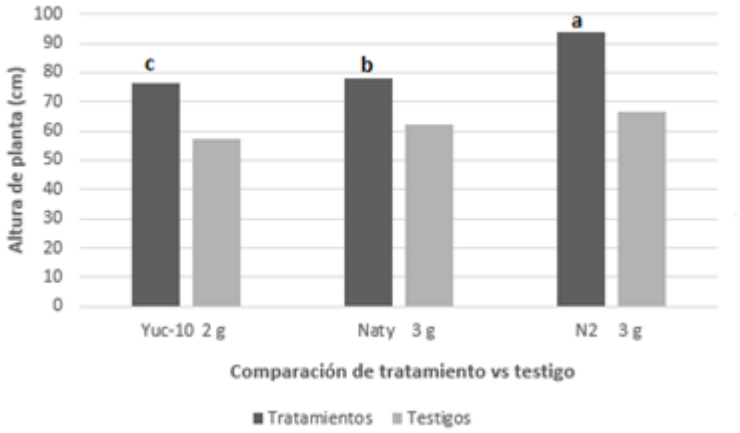


Figura 4. Comparación de los tratamientos inorgánicos con mayor altura contra el testigo

Diámetro de plantas

A los 212 DTP el mayor diámetro de tallo fue el del tratamiento de 4mL L^{-1} de concentrado orgánico de algas marinas y el genotipo Naty-2 obtuvo 1.35 cm, seguido por el genotipo N2 con un diámetro de 1.33 cm y el menor diámetro fue de 1.21 cm que es del genotipo Naty-2, el testigo del genotipo Yuc-10 es el que obtuvo un menor diámetro con 1.03 cm. (Figura 5)

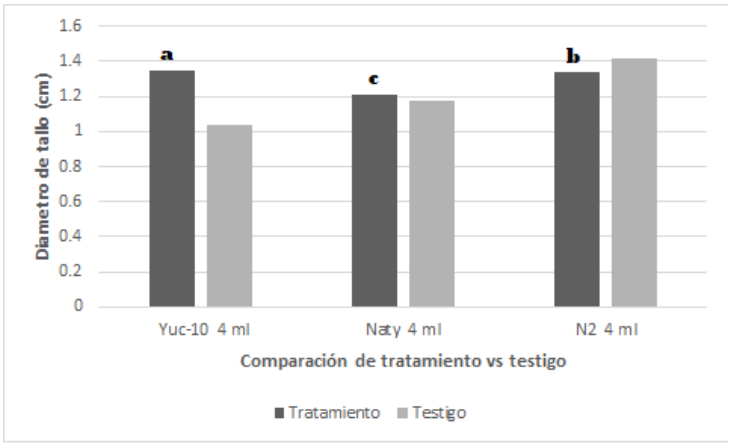


Figura 5. Diámetros de tallo de plantas de achiote (*Bixa orellana* L.) tratadas con extractos de algas marinas.

En las plantas de achiote con tratamientos inorgánico el genotipo que mayor diámetro obtuvo fue el genotipo N2 con tratamiento de 3 g de fertilizante inorgánico y su diámetro es de 1.61 cm a diferencia del diámetro obtenido en el genotipo Naty-2 con 1.40 cm con el tratamiento de 3g de fertilizante inorgánico. Y el menor diámetro de los genotipos testigos lo obtuvo Yuc-10 con 1.03 cm. (Figura 6)

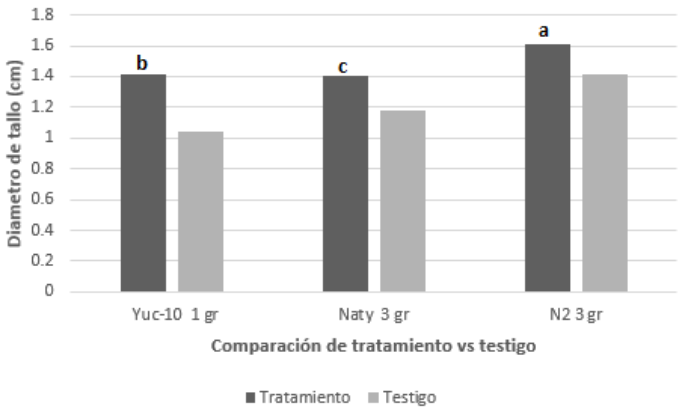


Figura 6. Diámetros de tallo de plantas de achiote (*Bixa orellana* L.) tratadas con tres dosis de fertilizante químico.

En el Cuadro 2 se observa las mediciones obtenidas en las plantas de achiote y como en el área foliar (AF) el genotipo que obtuvo una mayor área foliar de 4786.54 fue Naty con el tratamiento inorgánico de 3 g L^{-1}. Y en el mismo genotipo con tratamiento orgánico de 6 ml obtuvo 2074.06 con la menor área foliar.

En largo de tallo (LT) el genotipo N2 la medición fue de 78.6 cm con el tratamiento inorgánico de 3 g L^{-1}. Y los menores crecimientos en tallo se obtuvieron en los testigos con los genotipos Naty-2 y N2 y tener un largo de tallo de 62 cm.

En número de hojas (NH) del genotipo N2 fueron 88.6 en hojas promedio con el tratamiento inorgánico de 1 g L^{-1}. A diferencia del genotipo Naty-2 con tratamiento orgánico de 2 mL L^{-1}su promedio fue de 23.8 hojas.

En diámetro de tallo (DT) del genotipo N2 fue de 14.46 cm con el tratamiento inorgánico de 3 g L^{-1}. y el menor diámetro se obtuvo con el tratamiento orgánico de 2 mL L^{-1} en el Genotipo Naty-2 con un diámetro de 9.53 cm

En biomasa de tallo (BMT) el genotipo N2 fue de 13.8 g con el tratamiento inorgánico de 1 g L^{-1}. y la menor biomasa obtenida es por el genotipo Naty-2 con el tratamiento orgánico de 6 mL L^{-1}y la biomasa de tallo obtenida es de 5.2 g

En biomasa de hoja (BMH) el genotipo Naty su peso fue de 15.6 g con el tratamiento inorgánico de 3 g L^{-1}. y de igual forma el genotipo Naty-2 es el que representa menor biomasa de hoja al obtener 6.8 g con el tratamiento de 2 mL L^{-1}.

En biomasa de raíz (BMR) el genotipo Yuc-10 su peso fue de 15.0 g con el tratamiento inorgánico de 1 g L^{-1}. Y el genotipo Naty obtuvo de biomasa de raíz 4.4 g en el testigo.

En volumen de raíz (VR) el genotipo Yuc-10 su volumen fue de 82.0 ml con el tratamiento inorgánico de 1 g L^{-1}. Y el menor resultado lo obtiene el genotipo Naty-2 al tener un volumen de raíz de 21.6 ml en el tratamiento orgánico de 2 mL L^{-1}.

En largo de raíz (LRMT) el genotipo Yuc-10 obtuvo un largo de 42.0 cm fue con el testigo que se obtuvo este largo de raíz y el genotipo Naty-2 con el tratamiento orgánico de 2 mL L^{-1}su largo de raíz fue de 23.6 cm.

En cantidad de ramas el genotipo que obtuvo un mayor promedio de cantidad de ramas fue el genotipo Naty con el tratamiento inorgánico de 1 g L^{-1}. teniendo en promedio 6.2 ramas y el genotipo que obtuvo menor cantidad fue el genotipo Naty con el tratamiento orgánico a 6 mL L^{-1}con un promedio de 0.6 ramas.

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos nutritivos en el cultivo de plantas de achiote (*Bixa orellana* L.) a los 212 DPT.

GENOTIPOS	A.F	L.T	NH	D.T	BMT (g)	BMH(g)	BMR (g)	VR (mL)	LRMT (cm)	RAMAS
					TESTIGO					
YUC-10	2771.88 a	62 a	31.6 b	11.04 b	9.6 a	11.8 a	7.8 b	36 a	42.0 a	0.8 b
NATY	2408.44 b	52 b	37.2 b	10.03 b	6.6 b	10.6 b	4.4 b	26 b	24.0 b	2.8 b
N2	2694.00 b	52 b	48.2 a	11.77 a	6.8 b	11.6 a	8.0 a	36 a	31.2 b	3.8 a
					INORGÁNICO 3 g					
YUC-10	2529.22 b	63.2 b	40.2 b	12.37 b	8.20 b	11.0 b	8.4 b	38 b	32.4 b	3.2 b
NATY	4786.54 a	73.4 b	56.6 b	12.86 b	11.8 b	15.6 a	9.2 a	44 a	32.8 a	5.4 a
N2	3628.18 b	78.6 a	57.6 a	14.46 a	12.6 a	14.2 b	8.2 b	36 b	31.0 b	4.4 b
					INORGÁNICO 2 g					
YUC-10	2964.46 a	68.2 a	49.4 b	12.39 a	7.6 b	11.0 b	8.8 b	38 b	34.8 b	2.4 b
NATY	2755.44 b	61.0 b	44.2 b	10.80 b	9.2 b	13.0 a	10.8 a	54 a	36.8 b	5.2 a
N2	2791.36 b	66.8 b	49.6 a	12.38 b	10.4 a	12.4 b	9.8 b	46 b	37.2 a	3.8 b
					INORGÁNICO 1 g					
YUC-10	2818.62 b	72.8 a	40.6 b	11.77 b	8.60 b	10.8 b	15.0 a	82 a	40.6 a	3.4 b
NATY	3362.28 b	60.2 b	78.2 b	14.15 a	13.0 b	14.0 b	14.2 b	70 b	36.4 b	6.2 a
N2	3552.38 a	63.8 b	88.6 a	13.17 b	13.8 a	14.8 a	8.60 b	43 b	36.6 b	1.0 b
					ORGÁNICO 6 mL					
YUC-10	2223.1 b	55 b	29.6 b	10.80 b	7.0 b	10.6 b	6.2 b	35 b	34.8 a	2.2 b
NATY	2074.06 b	59 b	25.6 b	10.58 b	5.2 b	8.0 b	7.2 a	28.4 b	30.6 b	0.6 b
N2	3136.13 a	62 a	50.8 a	12.60 a	8.8 a	11.4 a	7.2 a	35.6 a	32.2 b	2.6 a
					ORGÁNICO 4 mL					
YUC-10	2297.3 b	59.6 b	31.6 a	10.84 b	6.0 b	9.0 b	7.8 a	38 a	37.6 a	1.8 a
NATY	2445.42 a	66.8 a	25.6 b	10.04 b	6.6 a	10.4 a	5.0 b	24 b	35.8 b	1.4 b
N2	2265.38 b	63.4 b	29.0 b	13.08 a	5.6 b	9.2 b	6.2 b	33 b	32.6 b	1.4 b
					ORGÁNICO 2 mL					
YUC-10	3049.28 b	60.46 b	45.6 a	12.12 b	8.0 a	12.2 b	6.2 b	38.0 b	33.2 b	4.0 a
NATY	2141.64 b	62.46 b	23.8 b	9.53 b	5.8 b	6.8 b	7.2 a	21.6 b	23.6 b	1.0 b
N2	3459.34 a	67.40 a	41.8 b	13.64 a	7.4 b	13.4 a	7.2 a	38.4 a	36.4 a	3.2 b

Al realizar la comparación de los tratamientos orgánico e inorgánico más el testigo, los resultados nos indican que el mejor tratamiento fue el tratamiento de 3 g L^{-1} de fertilizante inorgánico, y el tratamiento que fue más bajo fue el 4 mL L^{-1}

Cuadro 5. Comparación de efectividad entre tratamientos aplicados a las plantas de achiote (*Bixa orellana* L.)

Aplicación	n	Media	
Inorgánico 3	15	4.3333	a
Inorgánico 2	15	3.8000	ab
Inorgánico 1	15	3.5333	ab
Orgánico 2	15	2.7333	ab
Testigo	15	2.4557	ab
Orgánico 6	15	1.8000	c
Orgánico 4	15	1.5333	c

Cuadro 5. Los resultados con letras iguales son estadísticamente iguales Tukey (P<0,05).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores en *Cucumis melo* L. (Dauda *et al*., 2008) y *Solanum melongena* L. (Oyewole *et al*., 2014). En los trabajos realizados por dichos autores, la aplicación de NPK provocó un aumento en diferentes indicadores como la cantidad de ramas, el número y el diámetro de los frutos y el rendimiento, en comparación con la aplicación de abono orgánico o la combinación de ambos.

Similar a los indicadores vegetativos evaluados, los indicadores reproductivos mostraron un mejor comportamiento con la aplicación de dosis de fertilizante inorgánico de la dosis recomendada, comparado con el resto de los tratamientos evaluados. Esto puede estar asociado a la mayor disponibilidad de nutrientes por las plantas y a la función que tienen los elementos N, P y K para el crecimiento y desarrollo de las mismas.

Estudios realizados por Khan *et al*. (2010) para determinar el efecto del nitrógeno y el fósforo mineral en el crecimiento y los componentes del rendimiento de *C. annuum*, refirieron un incremento en la longitud de la planta, el número de ramas y el número de frutos por plantas con el aumento del contenido de estos minerales aplicados al suelo.

El nitrógeno posee una gran importancia en la fisiología de las plantas ya que es un constituyente de numerosas moléculas orgánicas como proteínas, ácidos nucleicos,

alcaloides, etc. y su contenido fue asociado con la concentración de clorofilas en las hojas, lo cual afecta el proceso de fotosíntesis y el crecimiento y desarrollo del resto de los órganos de la planta (Fawzy *et al*., 2012).

Esto nos indica que para el desarrollo vegetativo la fertilización inorgánica es la más rápida mas no es concluyente ya que en nuestra prueba la prueba de fertilización orgánica tuvo un problema en su inicio, ya que presento deficiencias (Figura 7) y se decidió que además de aplicarle el fertilizante foliar se le aplicara al sustrato el fertilizante orgánico el cual contiene 85% de materia orgánica 10.7% de ácidos húmicos y 60% de humus (Cuadro 5), se aplicó el 10% de fertilizante en el sustrato con una capacidad 2 kg por bolsa.

Cuadro 5. Nutrientes contenidos en el fertilizante orgánico

N	P_2O_5	K_2O
39	37	29

Azufre (S) 18.4 Magnesio (Mg) 13.6 Calcio (Ca) 74 y micronutrientes

Figura 7. Plantas tratadas con los tratamientos orgánicos y con inicio de deficiencias.

Al realizar dicha aplicación la planta se vio afectada y tuvo inicios de quemadura a lo cual se procedió a dejar de fertilizar de forma foliar esto paso por 8 semanas y la planta se recuperó, pero ya no alcanzo las medidas de la fertilización inorgánica, en todos los análisis de resultados la fertilización orgánica está ocupando la segunda opción como fertilización. (Figura 8)

Figura 8. Plantas con quemaduras después de la aplicación de fertilizante orgánico en el sustrato.

Los tratamientos inorgánicos presentaron una clorosis férrica en sus hojas lo cual se corrigió aplicándole hierro quelatado por vía foliar a una dosis de 2 mL L^{-1} una vez por semana, únicamente se requirieron 3 aplicaciones para corregir dicha deficiencia. (Figura 9)

Figura 9. Deficiencia férrica en tratamientos inorgánicos

En los tratamientos se presentó el problema de hongo Mildiu polvoriento (*Oidium bixae*): es un polvo blanco que cubre la superficie del tallo, de las hojas y las yemas terminales impidiendo el desarrollo de las inflorescencias. Cuando el ataque es en la época de fructificación afecta las capsulas, dañando la calidad del colorante de las semillas. Se realizó el control con fungicida TILT ® 25 CE a una dosis de 2 mL L^{-1} cada tercer día por dos semanas y se logró controlar el hongo.

Figura 10. Hongo Mildiu polvoriento (*Oidium bixae*) en plantas de *Bixa orellana* L.

3.5. CONCLUSIONES

Se debe continuar con la fertilización hasta obtener resultados de producción ya que es ahí donde se verá reflejada la verdera diferencia en producir de un 10 a un 25% más que la fertilización inorgánica, además de los beneficios de estar produciendo sin fertilizantes inorgánicos.

El que una planta crezca más o su raíz sea más grande no nos indica que es porque sea la mejor opción, o dependiendo para que se está produciendo esta planta si queremos producir hojas si se cumpliría nuestro objetivo, pero en este caso estamos formando, plantas que serán productoras de achiote y es mejor un arbusto bien conformado con diversidad de ramas y no una sola con crecimiento exagerado que al final no tendrá éxito en la producción de semillas de achiote ya que se requieren muchas ramas para producir más semillas.

Ambos tratamientos tuvieron problemáticas en el tiempo de desarrollo y la más importante es la que sufrieron los tratamientos inorgánicos al tener una clorosis férrica y la enfermedad por el hongo Mildiu polvoriento (*Oidium bixae*) a comparación de la fertilización orgánica que no presento deficiencia ni enfermedades después de aplicado el fertilizante en suelo y sus aplicaciones foliares del concentrado de algas.

A razón de costos de los fertilizantes orgánicos a pesar de contar con certificado de orgánico es aún más económico que el fertilizante inorgánico, ya que está concentrado y un litro nos rinde para 500 lts de fertilizante ya diluido lo que nos da que el litro tiene un costo de $4.16 a diferencia del fertilizante inorgánico que tiene un costo de $98 pesos el kilo (precio a granel).

En cuestión ecológica los fertilizantes orgánicos no dañan nuestro medio ambiente ni afectan nuestra salud, el único inconveniente es que su tiempo de acción en nuestros cultivos es más lento y aún no se han hecho suficientes estudios para saber las dosis adecuadas para los cultivos como lo hacen con los fertilizantes inorgánicos.

LITERATURA CITADA

Castellanos, R. J.Z. 2000 Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas Ed. Intagri Gto., pp 186 México.

Dauda, S. N., AjayI, F. A., y Ndor, E. 2008. Crecimiento y rendimiento del melón de agua (Citrullus lanatus) como se ve afectado por la aplicación de estiércol de aves pp 121-140.

Fawzy, Z. F., El-bassiony, A. M., Li, Y., Ouyang, Z. y Ghoname, A. A. 2012.Efecto de los fertilizantes minerales, y orgánicos en el crecimiento, rendimiento y calidad de la fruta de la pimienta dulce. Revista de investigación en ciencias aplicadas, pp 3921-3933. 2012

Hemalatha, S., Praveen Rao, V., Padmaja, J. Y Suresh, K. 2013.Una visión general del papel de los déficits de fósforo y agua en el crecimiento, rendimiento y calidad del maní (Arachis hypogaea L.). Revista Internacional de Biología Aplicada y Tecnología Farmacéutica, pp 188-201.

Khan, M.S., Roy, S.S., Y Pall, K.K. 2010. Eficiencia del nitrógeno y el fósforo en los atributos de crecimiento y rendimiento de Capsicum. Revista Académica de Ciencias de las Plantas, pp 71-78.

Oyewole, C. I., Akogu, E. S. Y Attah, E. S. 2014. Respuesta de la planta de berenjena (Solanum melongena L.) a las fuentes de nutrientes y las tasas de aplicación: I. Componentes del rendimiento y Rendimiento de la fruta. Revista Internacional de Agricultura y Biociencias, pp: 166-172.

ANEXO

Cuadro 2. Resultados completos de la primera fase de los tratamientos germinativos.

TRATAMIENTO	GENOTIPO	TIEMPO DE GERMINACIÓN	% GERMINACIÓN
Remojo 24 hrs+ aireación+ 2ml conc. de algas	N2	7	100
	YUC-10	14	100
	Naty-2	22	96.66
Remojo 48 hrs+ aireación+ 2ml conc. de algas	N2	7	98
	YUC-10	13	99
	Naty-2	14	98
Remojo 72 hrs+ aireación+ 2ml conc. de algas	N2	7	96
	YUC-10	13	98
	Naty-2	12	96
Remojo 96 hrs+ aireación+ 2ml conc. de algas	N2	7	94
	YUC-10	12	98
	Naty-2	11	95
Remojo 120 hrs+ aireación+ 2ml conc. de algas	N2	7	90
	YUC-10	11	87
	Naty-2	9	94
Remojo 144 hrs+ aireación+ 2ml conc. de algas	N2	6	88
	YUC-10	10	86
	Naty-2	8	92
Remojo 24 hrs+ aireación+ 4ml conc. de algas	N2	5	72
	YUC-10	14	98.66
	Naty-2	22	87.32
Remojo 48 hrs+ aireación+ 4ml conc. de algas	N2	6	74
	YUC-10	13	94
	Naty-2	20	88
Remojo 72 hrs+ aireación+ 4ml conc. de algas	N2	6	71
	YUC-10	12	92
	Naty-2	18	84
Remojo 96 hrs+ aireación+ 4ml conc. de algas	N2	7	76
	YUC-10	10	84
	Naty-2	17	82
Remojo 120 hrs+ aireación+ 4ml conc. de algas	N2	7	77
	YUC-10	10	82
	Naty-2	15	80
Remojo 144 hrs+ aireación+ 4ml conc. de algas	N2	7	70
	YUC-10	9	83
	Naty-2	13	74
Remojo por 24 hrs+ aireación	N2	7	76
	YUC-10	15	36
	Naty-2	24	13
Remojo por 48 hrs+ aireación	N2	6	92
	YUC-10	14	28
	Naty-2	24	8
Remojo por 72 hrs+ aireación	N2	6	92
	YUC-10	13	20
	Naty-2	24	8

TRATAMIENTO	GENOTIPO	TIEMPO DE GERMINACIÓN	% GERMINACIÓN
	N2	5	92
Remojo por 96 hrs+ aireación	YUC-10	12	16
	Naty-2	24	10
	N2	7	90
Remojo por 120 hrs+ aireación	YUC-10	11	45
	Naty-2	24	15
	N2	5	80
Remojo por 144 hrs+ aireación	YUC-10	10	60
	Naty-2	24	6
	N2	7	12
Remojo 24 hrs+ choque térmico 60°C x 3 min.	YUC-10	14	35
	Naty-2	18	34
	N2	7	14
Remojo 24 hrs+ choque térmico 60°C x 5 min.	YUC-10	13	38
	Naty-2	17	42
	N2	6	18
Remojo 24 hrs+ choque térmico 60°C x 7 min.	YUC-10	13	41
	Naty-2	16	37
	N2	6	20
Remojo 24 hrs+ choque térmico 60°C x 9 min.	YUC-10	12	40
	Naty-2	14	30
	N2	6	37
Remojo 24 hrs+ choque térmico 80°C x 3 min.	YUC-10	18	94
	Naty-2	21	68
	N2	6	38
Remojo 24 hrs+ choque térmico 80°C x 5 min.	YUC-10	16	92
	Naty-2	20	51
	N2	6	51
Remojo 24 hrs+ choque térmico 80°C x 7 min.	YUC-10	14	91
	Naty-2	16	53
	N2	6	52
Remojo 24 hrs+ choque térmico 80°C x 9 min.	YUC-10	12	90
	Naty-2	14	51
	N2	7	73
Remojo 24 hrs+ choque térmico 100°C x 1 minutos	YUC-10	14	55
	Naty-2	26	8
	N2	8	62
Remojo 24 hrs+ choque térmico 100°C x 2 minutos	YUC-10	13	41
	Naty-2	22	9
	N2	10	58
Remojo 24 hrs+ choque térmico x 3 minutos	YUC-10	15	43
	Naty-2	20	9
	N2	9	21
TESTIGO	YUC-10	16	10
	Naty-2	27	2