



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN
SISTEMAS SUSTENTABLES DE PRODUCCIÓN EN EL TRÓPICO

“PROPAGACIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.)”

ROCÍO HERNÁNDEZ ALVARADO

T E S I N A

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA TECNOLÓGICA

H. Cárdenas Tabasco

2012

La presente tesina, titulada: **Tipos de propagación del cacao (*Theobroma cacao* L.)**, realizada por el alumno (a): **Rocío Hernández Alvarado**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA

SISTEMAS SUSTENTABLES DE PRODUCCIÓN EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR:

CONSEJERO: _____

Dr. Julián Pérez Flores

ASESOR: _____

Dr. Mepivoseth Castelán Estrada

REVISOR: _____

Dr. Apolonio Valdez Balero

H. Cárdenas Tabasco, 28 de Febrero de 2012

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

En el Ser Divino y Misericordioso en el que puedes creer o no, a quien le doy las gracias por la vida y las bendiciones derramadas a mí y mi familia.

A MIS PADRES:

María del Socorro Alvarado de los Santos y Feliciano Hernández Pablo, quienes con un amor incondicional y respeto nos han enseñado a mis hermanos y a mí, los valores que nos permiten relacionarnos con nuestros semejantes, y a su vez llevar una vida en armonía y paz espiritual, por la confianza, por ser nuestros mejores amigos, por el apoyo moral y económico sinceramente gracias.

A MI ESPOSO:

Quien con amor y confianza me ha brindado la fortaleza de lograr una meta mas en mí vida.

A LOS DOCTORES Y MAESTROS EN CIENCIAS:

Al M.C. Alejandro Procopio Andrade, al Dr. Alfonso Azpeitia Morales y al M.C. Felipe Mirafuente Hernández por su confianza, apoyo, consejos, y su amistad incondicional que me han brindado, por prestarme las instalaciones del INIFAP (Laboratorio de Biología Molecular) para el desarrollo de esta investigación, mil gracias por un escalón más en mi vida profesional.

A los Doctores en Ciencias Julián Pérez, la Dra. Eustolia García, al Dr. José Jesús Obrador Olán, al Dr. Francisco Juárez López, al Dr. Mepivoseh Castelán Estrada y al Dr. Apolonio Valdez Balero, por su amistad incondicional, motivación, confianza, consejos, correcciones y sugerencias a esta tesina, por sus tiempos, mil gracias por ser excelentes investigadores y personas.

A mí amiga María Elena Ventura Avalos, porque una amistad vale más que el dinero. Gracias a los profesores del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, quienes tienen la responsabilidad de formarnos como investigadores en el transcurso de la carrera.

I.- RESUMEN

México día a día presenta un desafío en la investigación agropecuaria y forestal; porque implica el desarrollo de tecnología rentable, efectiva y práctica, que propicie el aumento de la producción en forma sostenible. Por ello, en el presente trabajo se muestran técnicas para rejuvenecer plantaciones viejas e improductivas de cacao, como alternativas viables, económicas y ecológicas, permitiendo a los productores aumentar la producción e incrementar la rentabilidad del cultivo. La rentabilidad de cualquier cultivo debe iniciar desde la obtención de plantas, por lo que la propagación sexual (por semilla) y asexual (enraizamiento de estacas, injertación y embriogénesis somática), garantizan la producción de plantas para la renovación de plantaciones viejas de cacao.

Las plantaciones de cacao a nivel mundial utilizan, en orden de superficie plantada y de producción a las variedades Forastero, Criollo y Trinitario. El cacao Trinitario es el resultado del cruce del Criollo y Forastero. No obstante que el cacao Criollo es de mejor calidad, en México también predominan las plantaciones con cacao Forastero. Las técnicas de propagación (asexual) aplicadas al cacao Criollo pueden ser de utilidad para la sustitución y renovación de las plantaciones de cacao Forastero. Con base en lo anterior, el presente trabajo presenta una descripción de los diferentes métodos de propagación del cacao, basado en una revisión de literatura y una parte experimental, sobre embriogénesis somática.

Contenido

	Páginas
I.- RESUMEN	iii
II.- INTRODUCCIÓN.....	1
III.- OBJETIVOS	2
3.1 OBJETIVO GENERAL	2
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
IV.- REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1 ORIGEN DEL CACAO	3
4.2 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE CACAO	3
4.2.1 Precipitación (pp)	3
4.2.2 Temperatura.....	3
4.2.3 Viento	4
4.2.4 Luminosidad.....	4
4.3 REQUERIMIENTOS EDÁFICOS DEL CULTIVO DE CACAO	5
4.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	6
4.5 VARIEDADES	9
4.5.1 Cacao Criollo.....	9
4.5.2 Cacao Forastero	9
4.5.3 Cacao Trinitario.....	10
4.6 PROPAGACIÓN DEL CACAO.....	11
4.7 PROPAGACIÓN SEXUAL.....	11
4.7.1 Vivero.....	13
4.8 PROPAGACIÓN ASEXUAL.....	14
4.8.1 Enraizamiento de estacas.....	14

4.8.2 Injertación.....	15
4.9 PROPAGACIÓN DE CACAO POR CULTIVO DE TEJIDOS	17
4.9.1 Organogénesis	18
4.9.2 Embriogénesis somática	19
V.- MATERIALES Y MÉTODOS	20
VI.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
VII.- CONCLUSIONES.....	23
VIII.- RECOMENDACIÓN.....	23
XI.- LITERATURA CITADA	24

II.- INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es una planta que desde la época prehispánica y hasta nuestros días es ampliamente aceptada por la población. Esta especie es muy apetecida en el mundo, gracias al sabor, aroma y propiedades alimenticias de sus granos. Con los granos de cacao, los aztecas elaboraban una bebida llamada “Xocolatl” que significa “agua espumosa,” este nombre fue utilizado por los olmecas (1500-400 A.C.), y posteriormente por los mayas (600 Ac.) (Hurst *et al.*, 2002).

Los mayas nombraron al cacao “cacau” y fueron quienes establecieron las primeras plantaciones cacaoteras en Centroamérica (Compañía Nacional de Chocolates, 1988; López *et al.*, 1992). En la civilización maya el cacao simbolizó riqueza y poder, para los aztecas tenía significado religioso. Después de la cosecha, los granos extraídos y lavados se depositaban en una superficie de arcilla roja y se danzaba sobre ellos, así se mezclaba el polvo con el mucílago aún adherido a los granos, los cuales al endurecerse, tenían gran consistencia y se usaban como moneda, para las transacciones mercantiles (Martínez, 1894).

Díaz (1955) mencionó que en las regiones calientes y templadas de los estados de Tabasco Campeche y Chiapas, la planta del cacao fue una de las especies más cultivadas por los indígenas, para obtener de ella el chocolate. El chocolate fue adoptado por la corte española, donde se conservó durante muchos años, como una bebida de elaboración secreta antes de difundirse hacia Europa y el resto del mundo (Gioffre, 2000).

A nivel mundial los principales países productores de grano seco son seis: Costa de Marfil 1, 300,000 t, Ghana 720,000 t, Indonesia 440,000 t, Camerún 175,000 t, Nigeria 160,000 t y Brasil 155,000 t. México se ubicó en el onceavo lugar de la producción mundial para el año 2004 con 43,000 t (IISD, 2010).

Desde la época prehispánica Tabasco y Chiapas han sido los principales estados productores de cacao en cuanto a su cantidad y calidad. En 1901 y 1902, la producción conjunta de cacao en estos estados fue de 3,429 t participando con 1,897 t Tabasco y 1,551 t Chiapas, respectivamente (López, 1977). Para el 2001, estos estados produjeron 33,791 t y 12,687 t en una superficie de 40,381 ha y 21,351 ha, respectivamente (IISD, 2010).

En el estado de Tabasco la superficie cacaotera se concentra en cuatro municipios: Comalcalco (26.74%), Cárdenas (26.04%), Cunduacán (21.45%) y Huimanguillo (13.46%); el 12.5% restante se reparte en otros municipios. En el estado de Chiapas, las plantaciones se distribuyen en los municipios de Tuxtla Gutiérrez, Pichucalco, Palenque y Tapachula.

El común de las plantaciones cacaoteras son viejas y por lo mismo son improductivas, por lo que no reciben el manejo adecuado, se hacen más susceptibles a enfermedades y se forma un círculo (vicioso) en el cual a la plantación ya no se le invierte porque no es redituable, y no es redituable porque no se le invierte. Una de las maneras de romper esta situación es mediante la renovación de plantaciones para tener plantaciones jóvenes que resistan las enfermedades y sean productivas. En el rejuvenecimiento de plantas y plantaciones, los métodos de propagación son de suma importancia debido a que pueden variar de acuerdo a la especie que se trate.

III.- OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Describir los diferentes métodos de propagación del cacao y su importancia en el rejuvenecimiento de plantaciones.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir el método de propagación sexual en cacao.
2. Describir los métodos de enraizamiento de estacas, injertación y embriogénesis somática como los métodos de propagación asexual en cacao.

IV.- REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 ORIGEN DEL CACAO

Bernardino de Sahagún, padre franciscano, describió la planta del cacao a mediados del siglo XVI, como una planta de origen americano. Probablemente el cacao existía siglos antes del nacimiento de Cristo, consumiéndose ya la bebida obtenida de la semilla del cacao.

El cacao es americano, originario de la Cuenca Alta del Amazonas, su domesticación ocurrió en México, quizá durante el apogeo de los mayas, quienes definieron los términos cacao y chocolate. A la llegada de los españoles, el cacao ya se cultivaba, y a su vez presentaba diversos usos. Según la tradición mexicana, el árbol de cacao tiene origen divino y las semillas vinieron del paraíso. De ahí que el botánico sueco Carl Von Linné clasificara a la planta como *Theobroma cacao* L.; que significa “Alimento” o “Bebida de los Dioses.”

4.2 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE CACAO

El clima es uno de los principales factores que influyen en la calidad del grano de cacao, por lo que se deben considerar los requerimientos de luz, precipitación, temperatura y viento para este cultivo.

4.2.1 Precipitación (pp)

La cantidad y distribución del agua, deben considerarse en relación con la textura del suelo, los franco- arcillosos, tienen la característica de retener humedad por un periodo de tiempo mayor, lo cual favorece el buen desarrollo de las raíces de la planta. Por su parte Rincón (1982) señaló como óptimo de precipitación para el cultivo del cacao de 1800 mm a 2500 mm.

4.2.2 Temperatura

La temperatura es un factor climático que se puede regular en un cacaotal, a través de la sombra, ya sea transitoria o permanente. De esta manera se protege al cultivo, y se puede manejar la

producción de una plantación. Ernehholm, citado por Urquhart (1961), concluye que la temperatura media anual es de 21°C en un cacaotal.

Rincón (1982) mencionó que la temperatura media anual del ambiente debe ser mayor a 21 °C, la temperatura mínima debe ser superior a 15 °C y la temperatura máxima no debe exceder los 30 °C. Periodos largos con temperaturas mayores a 30 °C afectan la fisiología de la planta, perdiendo la dominancia apical de los brotes axilares, al mismo tiempo que aumenta la floración, pero disminuye el tamaño de las hojas (Willson, 1999).

4.2.3 Viento

Los árboles de sombra en un cacaotal funcionan como una barrera rompevientos, amortiguando el efecto que este le puede causar. No obstante, los vientos fuertes, o de escasa velocidad pero persistentes, son un factor desfavorable para el cultivo del cacao, ya que afectan de forma mecánica, rompiendo las ramas principalmente (Rincón, 1982).

4.2.4 Luminosidad

La intensidad de luz quizás sea el factor climático, más importante a considerar, ya que el cacao es una especie umbrófila. La incidencia luminosa diaria, se ve afectada por la lluvia, la nubosidad del día, el polvo, el tipo de sombra (temporal o permanente) entre otros factores. La iluminación directa afecta tres factores importantes en la planta: la fotosíntesis, el movimiento de estomas y la expansión celular de ciertos tejidos. Una diferencia entre una hoja expuesta al sol y otra a la sombra es el color, en la primera es pálido y en la segunda es oscuro y opaco (Rincón, 1982 y Willson, 1999).

4.3 REQUERIMIENTOS EDÁFICOS DEL CULTIVO DE CACAO

El suelo y sus características también influyen en la cantidad y calidad de la producción de cacao. Entre las características principales tenemos el drenaje, el pH y la materia orgánica.

Un buen drenaje natural para el cultivo de cacao, o sea una buena permeabilidad, debe complementarse mostrando una topografía plana, pero que el agua no se estanque, suavemente ondulada o ligeramente inclinada, para evitar la erosión del suelo, eliminando de esta manera el exceso de agua y reteniendo humedad del mismo, para el buen desarrollo de la planta (Rincón, 1982). La permeabilidad adecuada, para que la raíz de la planta de cacao tenga suficiente espacio de absorción de agua y nutrientes, la brindan aquellos suelos de textura grumosa, por ejemplo los franco-arcillosos.

El cultivo del cacao, requiere suelos que permitan al sistema radical extenderse, es decir con texturas franco-arenosa. En Tabasco, encontramos a los fluvisoles, como los principales suelos aptos para este cultivo. Es muy importante considerar que, a nivel del suelo, existen asociaciones de otras especies de plantas y animales dentro de un cacaotal, lo que da como resultado, hacer de él un sistema sustentable y rico en materia orgánica, que a su vez es retentivo de humedad y aire en la estación seca; en otras palabras la calidad física del suelo debe ser óptima para el buen desarrollo de las raíces y una buena aportación y disposición de nutrientes tales como Nitrógeno, Potasio, Fósforo, Calcio y Magnesio (Urquhart, 1961). Una tonelada de cosecha de cacao requiere 36 kg, 5 kg y 42 kg, de N, P y K respectivamente (Bertsch, 2003).

Otra característica importante del suelo, es el pH siendo el óptimo de 6.5, y teniendo un rango de 5.5 a 7.5. Los suelos demasiado ácidos son pobres en nutrientes y los muy alcalinos presentan problemas de calcio según Rincón (1982).

Jenny *et al.* (1972) describieron que la materia orgánica favorece la relación y la regulación que existe entre las características del suelo, el color oscuro del mismo, se debe a la cantidad de bacterias, y otros microorganismos que están influyendo en la descomposición; lo que favorece la reducción o la no aplicación de fertilizantes. Para mejorar esta característica, Urquhart (1961) consideró que la cantidad de hojarasca que presenta el agroecosistema cacaotal, se origina de la formación de los terrenos del que proviene, ya sea bosque o selva. Ramírez (2009), mencionó que las hormigas y las lombrices son quienes juegan un papel principal en la descomposición de

hojarasca, es decir esta macrofauna edáfica mantiene una relación con las especies de leguminosas que habitan en un cacaotal e interactúan con otros macro y micro organismos que hacen fértil a este suelo, misma que varía en la distintas épocas del año (seca, lluvias y norte).

4.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Cuatercasas (1961) mencionó que el género pertenece al orden Malvales y a la familia Esterculiácea, y que ha existido una confusión en la clasificación de la planta de cacao, por lo que en sus investigaciones adopta una clasificación de seis secciones, con 22 especies.

Clase: Dicotiledóneas

Subclase: Arquiclamídea

Orden: Malvales

Familia: Esterculáceas

Género: Theobroma

Especie: *Theobroma cacao* L.

El desarrollo del árbol depende del lugar donde se plante y del manejo del cultivo, de esta manera en forma silvestre una planta de cacao puede llegar a medir 10 m, sin embargo, cuando la planta alcanza de 4 a 5 m de altura, se facilita la recolección de los frutos, y esta es la altura ideal de la planta cuando se poda (Topexus, 1969).

Raíz. El sistema radical se compone de una raíz pivotante que en condiciones favorables de suelo puede penetrar más de 2 m de profundidad, favoreciendo el reciclaje de nutrientes a través de raíces laterales distribuidas alrededor de 15 cm debajo de la superficie del suelo.

Tronco/Ramas. El tronco tiene dos capas en la corteza (externa e interna), la primera es de color castaño oscuro, agrietada, áspera y delgada y la capa interna es de color castaño claro. Las ramas primarias se forman en verticilos terminales con 3 a 6 ramillas; al conjunto se le llama “molinillo.”

El hábito de crecimiento es dimórfico, con brotes ortotrópicos o chupones que tienen hojas en espiral y las ramas plagio trópicas o en abanico (Figura 1a.) con hojas alternas.

Copa/Hojas. Copa baja, densa y extendida. Hojas grandes, alternas, colgantes, elípticas u oblongas, de punta larga, ligeramente gruesas, margen liso, verde oscuro en el haz y pálidas en el envés, cuelgan de un peciolo (Figura 1c). las hojas son enteras de 15 a 50 cm de longitud y de 4 a 15 cm de ancho, con un ápice agudo o subagudo, la lámina es subovada u oblongo elíptica y los peciolos tienen pulvínulos engrosados en ambos extremos; las hojas están unidas a peciolos provistos en su base de dos estípulas gruesas que miden 2.5 cm. Los peciolos están cubiertos de pubescencia poco visible (Urquhart, 1961).



Figura 1. Ramas plagiotrópicas o estructura de abanico (a), morfología del fruto (b), y de la hoja (c) de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Flor. La flor individual del cacao (Figura 2) tiene un pedicelo largo y fino de 1 a 1,5 cm de longitud, se compone de cinco sépalos agudos y rosados, de 6 a 8 mm de largo, pubescentes, que en la flor abierta se expanden formando ángulo recto con el peciolo (León, 2000).

La corola consiste de cinco pétalos blancos de 6 a 8 mm de largo. El centro de la flor lo ocupa el tubo estaminal, compuesto por cinco estambres fértiles, cortos y oblatos hacia fuera, cada uno encerrado en la concha de un pétalo; y de cinco estaminoideos internos, agudos y largos de posición erecta que rodean al gineceo.

El ovario es súpero con cinco celdas y placentación central, con 30 a 50 rudimentos seminales. El estilo se abre arriba en cinco ramas estigmáticas algunas de las cuales permanecen con frecuencia soldadas.



Figura 2. Morfología de la flor de cacao (*Theobroma cacao* L.) E estaminodio, S sépalo, Es estambre, Pt pétalo.

La inflorescencia de los árboles de cacao se presenta en dos ocasiones al año, el principal periodo es en los meses de junio y julio. Una segunda floración se presenta en los meses de septiembre y octubre; la primera cosecha es en los meses de octubre, noviembre y diciembre, y la segunda durante marzo y abril (Infoagro, 2009). Es una especie caulíflorea, es decir, las flores aparecen insertadas sobre el tronco o las viejas ramificaciones.

Fruto. El fruto se desarrolla en el tallo o bien en las ramas más gruesas. Los frutos miden de 15 a 25 cm, de largo por 7 a 10 cm de grueso, son puntiagudos y con camellones longitudinales. La forma del fruto es parecida a un balón de fútbol americano, siendo de color verde y pasando al amarillo, rojo púrpura o al morado, dependiendo de la variedad y época de cosecha ver Figura 1b (Gioffré, 2002).

4.5 VARIEDADES

Las variedades de cacao más comunes son: Criollo, Forastero y Trinitario.

4.5.1 Cacao Criollo

Por su antigüedad, se considera como el cacao de los mayas; siendo originario de México, Venezuela y América Central. Este cacao es difícil de cultivar por la sensibilidad que presenta a las enfermedades, entre las que destacan antracnosis, mancha parda, mancha foliar etc., constituyendo el 5% de la producción mundial. Las características más notables del cacao criollo con alta calidad de la semilla son: la forma del fruto, son mazorcar alargadas con o sin constricción del cuello; con el ápice pronunciado, doblado y agudo, en curvado o no; con una textura delgada y rugosa, y es de color rojizo (Figura 3a). Las semillas son abultadas, con cotiledones blancos, con un porcentaje de granos blancos que varía del 30 al 97%, brindándole una buena calidad, al obtener el chocolate más fino y rico en sabor; además no es amargo, tiene aroma y baja acidez. Estas características le permiten cotizarse a un precio alto. Se cultiva mayormente en Venezuela y Madagascar (Gioffré, 2002).

4.5.2 Cacao Forastero

El origen de esta variedad es la Amazonia, pero actualmente no solo se cultiva en Brasil sino también en África. Esta variedad llega a constituir el 89% de la producción mundial, debido a que se adapta fácilmente a varios tipos de suelo. Una característica notable del cacao forastero es el fruto: de color amarillo, textura lisa en su etapa madura. Extremo redondeado o de punta muy corta, su capa es leñosa difícil de cortar, en general son de forma amelonada o calabacillo (Figura 3b). Las semillas son más o menos aplanadas y los cotiledones frescos son de un color violeta oscuro, algunas veces casi negros, no obstante, se considera un cacao de poca calidad, es de sabor amargo y ácido (Gioffré, 2002).

4.5.3 Cacao Trinitario

Este es un híbrido resultado del cruce de las variedades Criollo y Forastero, por lo que su característica más sobresaliente es su heterogeneidad siendo una planta resistente a vientos fuertes; el fruto presenta características de las variedades progenitoras (Figura 3c), mantiene un buen contenido de manteca y un aroma refinado, empleándose en la producción de chocolates finos. Se cultiva en Sudamérica, Indonesia y Sri Lanka (Gioffré, 2002).



Figura 3. Variedades principales de cacao: a) Criollo, b) Forastero, c) Trinitario

4.6 PROPAGACIÓN DEL CACAO

La propagación de plantas de cacao consiste en efectuar su multiplicación ya sea de forma sexual o asexual. La propagación sexual es a partir de semillas y produce plantas genética y fenotípicamente diferentes (hay variación). Esta variación permite seleccionar las mejores plantas y hacer mejoramiento genético. La producción asexual consiste en la propagación empleando partes vegetativas mediante el injerto y en biotecnología mediante el cultivo de células individuales de la planta original, este tipo de propagación es posible porque cada célula de la planta contiene la información genética necesaria para generar una nueva planta, esta característica se conoce como totipotencia celular (Hartmann *et al.*, 2002). La propagación asexual produce clones, plantas genéticas y fenotípicamente idénticas al progenitor.

4.7 PROPAGACIÓN SEXUAL

La semilla es la única parte reproductiva en este método de propagación, siendo a su vez el más barato y económico (Rincón, 1982). El proceso de propagación sexual del cacao se explica a continuación y se ilustra en la Figura 4.

a) Selección de la planta madre: una planta madre, es aquella que presenta características deseables. Ejemplo de características deseables en las plantas madre, son la producción temprana o tardía, mayor producción, mayor calidad, resistencia a enfermedades o plagas, árboles bajos etc., de plantas madre se obtienen las semillas, que servirán de fuente de propagación. Además debe tener como mínimo 5 años de producción. De acuerdo con Rincón (1982), los criterios del proceso de selección en una planta madre son:

- ♣ Tolerancia a plagas y enfermedades (observar árboles con poca incidencia de moniliasis y escoba de bruja).
- ♣ Presentar una buena producción: cuando se realiza la evaluación del árbol este debe contar con más de 50 frutos sanos o producir 100 frutos sanos por corte. Con base a este criterio, una planta madre se puede calificar de cosecha mala o buena (Cuadro1).

Cuadro 1. Rango calificativo de las "plantas madre" con base en la producción de frutos

Mala	Regular	Buena	Muy Buena
Menor de 50 frutos/año	De 51 a 100 frutos/año	101 a 200 frutos/año	Superior a los 200 frutos/año

b) Selección del fruto: las semillas del fruto del cacao son recalcitrantes, al llegar a su etapa de madurez fisiológica, están dispuestas a germinar, sin embargo, al pasarse el tiempo de madurez del fruto, las semillas comienzan a desarrollar la radícula en el interior del mismo.

Se deben seleccionar mazorcas o frutos del tronco de las ramas primarias, pues ellas dan semillas uniformes y más vigorosas, tratando de evitar el contacto con frutos enfermos y golpeados. Los frutos pequeños o deformados por agentes externos como insectos o por la presión de ramas vecinas, se deben desechar.

c) Selección de la semilla: este paso es muy importante, ya que se deben seleccionar únicamente, las semillas de la parte central de la mazorca considerando que en los extremos del fruto, las semillas son pequeñas y defectuosas.

d) Conservación de la semilla: se quita la pulpa a las semillas mediante frotación con cal, arena o aserrín. Luego se deja orear durante 8 h aproximadamente, se desinfectan y colocan en capas delgadas de aserrín donde germinaran para posteriormente parar a vivero.

e) Obtención de la semilla híbrida: es un método de propagación sexual que ofrece ventajas sustanciales en la obtención de buenos árboles. Para la obtención de semilla híbrida se debe realizar una selección rigurosa de "plantas madres" con las características descritas anteriormente. Una vez escogidos los mejores árboles se realiza el cruce entre ellos empleando la polinización artificial que es un método para obtener las plantas con características que nos interesan.

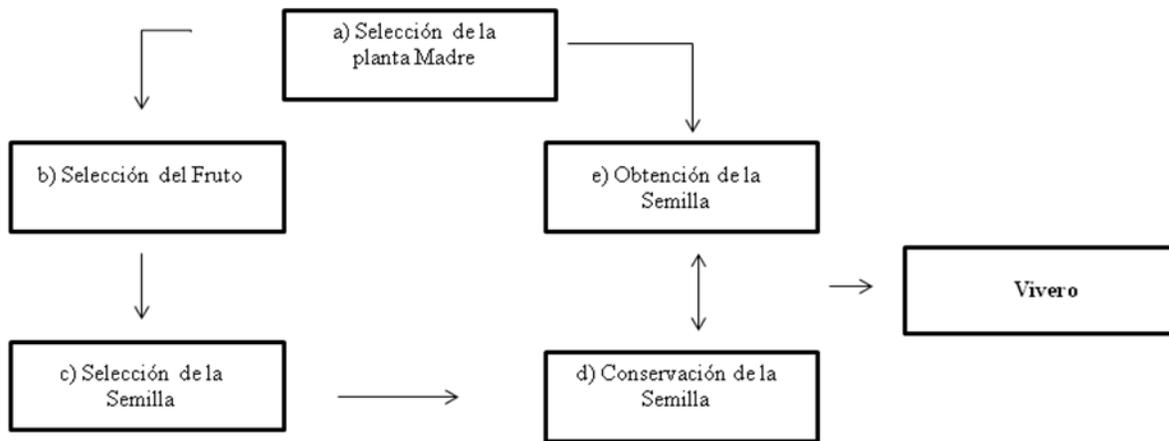


Figura 4. Proceso de propagación sexual del cacao (*Theobroma cacao* L.) (Rincón, 1982).

4.7.1 Vivero

Actualmente un vivero juega un papel importante en la conservación de especies de plantas. Un vivero, se ha visualizado como una técnica económica y a corto plazo, donde se producen plantas en cantidad masiva. Por ello son llamados “Bancos de Germoplasma Temporales” y de gran utilidad al hombre.

Dada su importancia, debe tenerse especial cuidado en su diseño y mantenimiento. Algunas recomendaciones para ello son las siguientes:

- 1.- El vivero debe construirse cerca de la nueva plantación, para evitar gastos de transporte de las plantas.
- 2.- Es muy importante una fuente de agua cerca del terreno donde se va establecer el vivero.
- 3.- La sombra es uno de los factores importantes en las plantas de cacao, se deben usar hojas de plátano o palmera, para regular el suministro de sombra.
- 4.- El primer mes se debe de proporcionar aproximadamente 75% de sombra y los siguientes meses el 50%.
- 5.- Para la siembra deben usarse bolsas plásticas de 20 cm de ancho por 22 cm de alto, previamente perforadas.
- 6.- Las hileras deben ser de 1.20 m de ancho (10 bolsas) y un pasillo de 40 cm, en el centro tienen dimensiones adecuadas para el buen manejo y cuidado de las plantas. A los 2 meses, las bolsas se deben separar un poco más.

7.- Para evitar el desarrollo de hongos, fumigar cada 15 días los 2 primeros meses y cada 20 ó 30 días los últimos 3 o 4 meses.

8.- Se desyerba semanalmente, se cerca para evitar daños por animales y la sombra se quita gradualmente antes de trasplantar al sitio de la plantación (Rincón, 1982).

4.8 PROPAGACIÓN ASEXUAL

La propagación asexual o vegetativa en cacao, puede ser mediante enraizamiento de estacas o injertación; por lo que no representa cambios genéticos en la nueva planta, debido a que esta presentará las características de la planta madre. Es muy importante considerar que los cambios que ocasionan los factores climáticos y edáficos, podrían modificar la apariencia física (fenotipo) de la planta, fruto o flores, sin haber alterado la información genética de la misma.

4.8.1 Enraizamiento de estacas

Este método se recomienda para la ampliación de plantaciones en zonas apartadas, donde es difícil el transporte y ya se tienen cultivos establecidos (y plantas madre) que pueden abastecer de brotes basales (chupones) o ramas. Las estacas de rama originan un árbol más bajo, en forma de abanico. Las ramas para obtener las estacas deben tener hojas adultas, ser de color pardo y no tener flores. Por otro lado, las estacas de chupón originan un árbol semejante a uno procedente de semilla.

Independientemente de donde se tome la estaca, esta debe ser cortada en el extremo de forma perpendicular, a 0.5 cm del nudo, y tratarse con fitohormonas enraizantes, antes de la propagación. Las fitohormonas para el enraizamiento son auxinas y entre ellas destacan: ácido indolacético (AIA), ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftalenacético (ANA) (Evans, 1951).

Al igual que en un establecimiento del vivero de cacao, el propagador (área de enraizamiento de estacas) debe quedar cerca de una fuente de agua, en un sitio sombreado, junto a la parcela donde se van a establecer plantas obtenidas de las estacas enraizadas. Lo anterior facilita el manejo y garantiza el éxito del proceso de enraizamiento. Otras recomendaciones para el enraizamiento de estacas son:

- ♣ Llenar las bolsas de polietileno, con tierra, dejando libre el extremo superior un espacio de 1 ó 2 cm.

- ♣ Hacer un hueco vertical en el centro de la bolsa, pero sin llegar al fondo. Este hueco se rellena de aserrín y en él se coloca la estaca.
- ♣ Llenar con aserrín el espacio libre que se había dejado en la bolsa y humedecer bien.
- ♣ Cubrir el armazón del propagador con plástico. Dentro del propagador debe mantenerse una humedad relativa del 100%.
- ♣ Humedecer cada 8 días en las primeras horas de la mañana, hasta cuando hallan enraizado. El enraizamiento ocurre alrededor de la quinta o sexta semana, y es esencial para la aclimatación.
- ♣ Para aclimatar las estacas se retira el plástico 1 h el primer día, 2 h el segundo día, 3 h el tercero y así sucesivamente, hasta completar 12 h. cumplido este periodo se retira definitivamente el plástico.
- ♣ La estaca así enraizada se trasplanta a los 4 ó 5 meses.

4.8.2 Injertación

La injertación consiste en unir dos o más partes de plantas distintas, una parte enraizada o porta injerto y una o más partes aéreas o injertos, de manera que crezcan y se desarrollen como si fuesen una sola planta. El beneficio de injertación es renovar y clonar la planta madre (Hartmann *et al.*, 2002).

Existen diferentes técnicas para injertar pero, específicamente, para cacao el injerto de parche o de lengüeta son los que más se practican (Figura 9). Esta técnica es para sustituir los árboles que no producen, o bien que hayan sido dañados, por un animal o por el mismo hombre. El árbol se poda para la inducción de chupones. Entre estos se selecciona el mejor desarrollado, eliminando los demás; ya alcanzados un diámetro apropiado se procede a injertar, considerando los siguientes factores:

- ♣ La edad y diámetro del patrón y la vareta deben ser aproximadamente iguales.
- ♣ Es preferible injertar en la mañana y en días frescos o nublados.

- ♣ Las plantas bien sombreadas permiten desprender fácilmente su corteza.
- ♣ El parche que lleva la yema debe encajar bien en el corte hecho sobre el patrón.
- ♣ El corte tanto en el patrón como en la vareta yemera (porta yemas), es en profundidad, permitiendo así reparar la corteza; no deben quedar filamentos de madera, en el patrón ni en el parche portador de la yema.
- ♣ La corteza trazada en rectángulo, que se ocupará de la vareta yemera, debe contener una yema en el centro; mientras que en el rectángulo que se separa del patrón debe hacerse preferiblemente en un lugar sin yema.
- ♣ Después de injertada la yema, el injerto debe cubrirse con cinta plástica, empezando a enrollarse de abajo hacia arriba.
- ♣ Después de 10 a 15 días de realizado el injerto, se retira la cubierta plástica. Si la yema se ve de color verde, indica que ha prendido el injerto, pero si esta amarilla o marrón, indica que el injerto no tuvo éxito.
- ♣ Mientras más rápida sea la injertación, mayor será el éxito.
- ♣ La vareta yemera se debe escoger de aquellos árboles sanos y caracterizados por su alta producción.
- ♣ Después de que haya prendido el injerto se corta el patrón en bisel (sesgado), lo más cerca posible al injerto.
- ♣ Se deben eliminar todos los chupones que salgan del patrón.



Figura 9. Proceso de injertación en cacao (*Theobroma cacao* L.) usando la técnica de parche: a) Vareta, b) Injerto, c) Corte a la yema (porta-yema), d) Porta injerto, e) Porta-yema o parche en forma rectangular y de triangulo, f) Colocación del plástico, g) Injerto.

4.9 PROPAGACIÓN DE CACAO POR CULTIVO DE TEJIDOS

La moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y la escoba de bruja (*Crinipellis pernicioso*) presentes en nuestro país, son enfermedades que disminuyen la producción de cacao hasta en un 80% (López, 1992). Por ello es necesario disponer de tecnología para la propagación de cacao *in vitro* que permita contar con genotipos mejorados en menor tiempo y espacio.

La propagación del cacao se realiza generalmente por la vía sexual (semillas), y también por métodos de reproducción asexual o vegetativa la cual utiliza los métodos de enraizamiento de estacas, injertos y acodos (Soto y Herrera, 1985). Estas técnicas son tradicionales y pueden ser

costosas y requerir mucho tiempo para que la planta esté lista para su plantación. Para obtener una cantidad masiva de plantas, no solo de cacao sino, de cualquier especie, con alto potencial y rendimiento se han desarrollado múltiples estudios en el cultivo de tejidos.

La técnica de cultivo de tejidos, ha impactado en la conservación de los recursos fitogenéticos y en los sistemas agronómicos forestales al permitir la distribución de plantas libres de patógenos.

El cultivo de tejidos vegetales podría definirse como su producción bajo condiciones controladas, para obtener un efecto determinado. Dos de las técnicas del cultivo de tejidos son la organogénesis y la embriogénesis somática, ambas de suma importancia en la propagación masiva de plantas.

4.9.1 Organogénesis

La organogénesis consiste en el desarrollo de órganos a partir de un tejido somático como hojas, raíz, tallo, partes florales, fruto o partes de cualquier otro tejido de la planta, estos órganos somáticos son capaces de crecer y formar plantas completas.

La organogénesis es la obtención de plantas *in vitro* a partir de explantes cultivados *in vitro*. Al respecto Archibald (1954), obtuvo por primera vez la inducción de callos del tejido cambial de cacao usando el medio de White con agua de coco, sin embargo, no se obtuvo regeneración de planta. A mediados de los 70's Hall y Collin cultivaron explantes de tallos jóvenes en diferentes medios a los que adicionaron sustancias reguladoras del crecimiento como auxinas y citoquininas al medio de cultivo, kinetina, agua de coco y extractos de jugo de cacao en presencia de diferentes combinaciones de temperatura y luz, sin obtener regeneración de brotes.

Passey y Jones (1983) cultivaron ápices y nudos de 0.5 a 1 cm de largo, obtenidos de brotes jóvenes en pleno crecimiento, estos fueron subcultivados en el medio de cultivo Murashige Skoog (1962), adicionando con diferentes combinaciones de citoquinina y auxinas, obteniendo algunos brotes con hojas de escaso desarrollo.

4.9.2 Embriogénesis somática

La embriogénesis somática es un proceso de regeneración masiva de plantas que requiere espacios pequeños y que se caracteriza por un desarrollo y crecimiento rápido de plantas, preservando así los recursos genéticos.

En la actualidad los resultados más sobresalientes sobre embriogénesis somática en cacao se han obtenido en Brasil y en Francia. El grupo brasileño de investigación dirigido por Machado, dentro de la empresa MARS localizada en Ileheus, Brasil, cuenta con un protocolo reproducible para la producción de plantas de cacao, a partir de explantes florales, y se encuentran evaluando plantas en sus campos experimentales (Comunicación personal, 2002). El grupo Francés dirigido por Petiard de la empresa NESTLE tiene a la fecha un protocolo para embriogénesis somática en cacao a partir de piezas florales (Comunicación personal, 2002). Petiard mediante evaluaciones de campo, ha demostrado que estas plantas poseen fidelidad genética así como mayor producción en comparación a plantas propagadas por métodos tradicionales.

Otros estudios que indican la formación de plantas de cacao, han sido los aportados por López-Báez *et al.* (1993), Estos autores reportaron un protocolo para regeneración de plantas a partir de embriogénesis somática originada de piezas florales. Posteriormente, Alemanno *et al.* (1996) indicaron que cuando utilizaron el protocolo modificado de López-Báez *et al.* (1993), solo 5 de 25 genotipos de cacao estudiados produjeron embriones somáticos. Por otra parte, Li *et al.* (1998) generaron embriogénesis somática en 19 genotipos de cacao de los grupos forastero, trinitario y criollo.

V.- MATERIALES Y MÉTODOS

En esta tesina se presenta una revisión de los métodos de propagación de cacao. Las actividades fueron realizadas en el Laboratorio de Biología Molecular del INIFAP, en el campo Experimental de Huimanguillo, localizado en el municipio de Huimanguillo Tabasco. El material vegetal utilizado fue tomado de plantas de cacao adultas establecidas en el banco de germoplasma. Estas plantas se identificaron como Híbrido 1 e Híbrido 2 (H1 y H2).

Colecta de Material vegetal. La colecta de los primordios florales (flores) se realizó por la mañana, con el uso de pinzas estériles, depositándose en un frasco de gerber con 200 ml de agua destilada estéril.

Desinfección de explante. Se seleccionaron las flores que no estaban dañadas para su desinfección con hipoclorito de calcio al 1% por 20 min, en la campana de flujo laminar. Ahí mismo se extrajeron los pétalos de los brotes de las flores con pinzas esterilizadas, y se realizó la siembra de los pétalos en los diferentes medios de cultivo hasta la obtención de los embriones somáticos.

Establecimiento del explante. El medio de cultivo utilizado fue el de Li *et al.* (1998), suplementado con sacarosa a 30 g l^{-1} , glucosa 20 g l^{-1} y 2,4-D 2 mg l^{-1} . El tiempo de cultivo en este medio fue de dos semanas. Posteriormente se realizó un subcultivo utilizando el mismo medio, suplementado con Nitrato de Potasio (KNO_3 0, 0.3, 0.6 mg L^{-1}), por un periodo de cultivo de 120 días. Los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento y cinco frascos con 30 ml de medio con cultivo como unidad experimental, cada frasco contenía 5 pétalos (una flor), los cuales se empezaron a observar cada 14 días, con la finalidad de evaluar el número de los callos embriogénicos y los embriones somáticos en cada tratamiento.

VI.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La propagación por semilla (sexual), implica llevar al campo una fuerte heterogeneidad fenotípica y genética, y obtener una producción del orden de los 250 kg a 500 kg ha⁻¹ (Guiltinan y Maximova, 2000). Por otra parte, el método de propagación asexual puede ser mediante técnicas tradicionales como el enraizamiento de estacas, acodos o injertos, o no tradicionales (cultivo de tejidos vegetales) como la micropropagación y la embriogénesis somática. De los métodos de propagación tradicional y no tradicional, resaltan la injertación y la embriogénesis somática, respectivamente.

La injertación de genotipos élite de cacao, no obstante que adelanta la producción en 2 a 3 años en comparación con plantas de semilla, e incrementa la producción, de 800 a 1000 kg ha⁻¹, representa una técnica poco adoptada por los productores, lo anterior debido principalmente al manejo requerido (Bertrand y Dupois, 1992).

La técnica de embriogénesis somática representa una estrategia complementaria para solucionar las desventajas de los métodos de propagación tradicionales. Los resultados obtenidos al evaluar las cinco concentraciones de KNO₃ conforme se fue incrementando disminuyó la formación de embriones somáticos, los tratamientos de KNO₃ fueron estadísticamente diferentes, como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Porcentaje de Embriones Somáticos (ES)

KNO ₃ mg/L ⁻¹	ES (%)
0	3.8
0.3	8.6
0.6	1.23

El mejor tratamiento fue la dosis de 0.3 mg l⁻¹ de KNO₃, donde se obtuvo el 8.6% de embriones somáticos superando a los demás tratamientos y al testigo. En el testigo se obtuvo un 3.8% de embriones somáticos.

Es muy importante la relación que existe entre la inducción de callos y la formación de embriones, considerando que cada embrión será una nueva planta, y considerando también la relación directa que existe entre la regeneración de plantas libres de enfermedades y aquellas que mantienen calidad y cantidad en su producción.

La optimización de la embriogénesis somática secundaria podría incrementar la cantidad de embriones somáticos en grandes cantidades y permitir la multiplicación de híbridos o de genotipos resistentes a enfermedades y/o más productivos, partiendo de explantes de plantas madre seleccionadas por su resistencia a una alta producción.

VII.- CONCLUSIONES

La selección de árboles de cacao y su propagación permiten obtener materiales para rejuvenecer las plantaciones viejas e improductivas. Al mismo tiempo permite, a los productores aumentar la producción e incrementar la rentabilidad de este cultivo.

La propagación sexual es un método generalizado, fácil y económico para reproducir al cacao; a partir de plantas madre.

Las plantas producidas por estacas requieren invertir tiempo y dinero, por la aplicación de auxinas para el enraizamiento.

La injertación permite propagar un árbol muchas veces, manteniendo sus características de producción, calidad o resistencia a enfermedades.

La embriogénesis somática, es una técnica del cultivo de tejidos vegetales que a futuro permitirá la multiplicación masiva de plantas de cacao.

VIII.- RECOMENDACIÓN

El enraizamiento de estacas y la injertación por yemas permiten clonar plantas con características similares. En Tabasco es importante difundir el uso del injerto, considerando que las plantas obtenidas por esta técnica tienen un periodo vegetativo más corto y son más productivas, comparadas con plantas obtenidas de semilla.

XI.- LITERATURA CITADA

- Archivald JF. 1954. Culture in vitro of cambial tissue of cacao. *Nature*, 173: 351-352.
- Alemanno LM, Berthouly NM, Michaux F 1996. Histology of somatic embryogenesis from floral tissues cocoa. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 46: 187-194.
- ANACAFE 2004. Programa de diversificación de ingresos en la empresa cafetalera. Cultivo del Cacao. 23.
- Bertrand B, Dupois V. 1992. Contribution a la mise au point du clonage de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) par utilization d'axes orthotropes. *Contraintes et perspectives. Café Cacao*, 36:9-26.
- Compañía Nacional de Chocolates. 1998. Manual para el Cultivo de cacao. Colombia. 75 Pp.
- Cuatercasas J. 1964. Cacao and its allies, a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *U.S. National Herb.* 35(6):379-614.
- Diaz CB. 1955. Historia verdadera de la conquista de la Nueva España. Porrúa. México D.F. 2 Vols. T.I:513 pp. T.II: 517.
- Erneholm I. 1948. Cacao production of South America. *Gothenburg*. 25:120.
- Evans H. 1951. Investigations on the propagation of cacao. *Trop. Agric. (Trinidad)* 28:147.
- Gioffré R. 2000. El Chocolate SUSAETA Ediciones, S.A. 176 p.
- Guiltinan MJ, Maximova SN. 2000. Recent advances in the tissue culture of Cocoa from somatic embryos to bentwood gardens. A short review. In: *Proceedings of the International Workshop on New Technologies and Cocoa Breedings*. Ingeni. 16-17 th October 2000. Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, Pp 157-162.
- Hartmann HD, Kester F, Davies R. 2002. *Plant propagation. Principles and practices*. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey. 911 p.
- Hartmann HD, Kester E. 1995. *Propagación de plantas. Principios y practicas*. 4a. edicion. México. D.F. Continental. 760.
- HispaNetwork Publicidad y Servicios, SL. 2010. Agradecimientos-Publicidad. En línea: <http://www.glosario.net-2003-2010>. Consultado el: 04 de abril del 2010.
- Infoagro 2009. El cacao. En línea: <http://www.infoagro.com/herbaceous/industriales/cacao2.htm>. Consultado el: 25 de Julio de 2009.
- International Institute for Sustainable Development (IISD). 2010. El cacao en México. En línea: http://www.Entrepreneurstoolkit.org/index.php/Cacao_en_Mexico. Consultado el: 04 de diciembre del 2010.
- León J. 2000. *Botánica de los Cultivos tropicales*. Tercera edición. Costa Rica, San José, IICA.678 p.

- Lentini Z, Reyes P, Martínez, C, y Roca W. 1995. Androgénesis of highly recalcitrant rice genotypes with maltose and silver nitrate. *Plant Science* 110: 127-138.
- Li, Z. Abdoulaye T, Maximova S, Gultinan M. 1998. Somatic Embryogenesis and Plant Regeneration from Floral Explants of cacao (*Theobroma cacao* L.) Using Thidiazuron. *In vitro Cell. Dev. Biol.-Plant* 34: 293-299.
- López-Báez Bollon HO, Eskes A, Pétiard V. 1993. Embryogenèse Somatique de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) a partir de Pièces Florales. *Compte-Rendus de L'Académie de Sciences* 316:579-584.
- López AP, Delgado NV, López AJ. 1992. Manual de Producción del cacao en Tabasco. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-Huimanguillo. México. Mecanografiado. Pp 2-7.
- Martínez L. 1984. Beneficio del cacaotero. México. Ed. oficina Tipografía de la Secretaría de Fomento. Pp 3-38.
- Maximova SL, Alemanno A, Young NF, Traore A, Gultinan M. 2002. Efficiency, genotypic variability, and cellular origin of primary and secondary somatic embryogenesis of *Theobroma cacao* L. *In vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 38:252-259.
- Minyaka E, Niemenak N, Koffi E, Issali E, Omokolo D. 2008. Sulphate supply promotes somatic embryogenesis in *Theobroma cacao* L. *Journal of biological Sciences*.8: 306-313 p.
- Murashige T, Skoog F. 1962. A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiol. Plant.* 15:473-497.
- Passey A, Jones O. 1983. Shoot Proliferation and Rooting *in vitro* of *Theobroma cacao* L. Type Amelonado. *Journal of Horticultural Science.* 58(4): 589-592.
- Soto J, Herrera S. 1985. Propagación. In SARH. Manual sobre el Cultivo del Cacao. Tapachula, Chiapas, México. P 38-49.
- Toxopeus H. 1969. Cacao Inn: Fewerda FP and Wit F. (Eds). *Outlines of perennial crop breeding in the tropics.* H Veenman and Zonen NV Wageningen, The Netherlands.
- Ramírez MA. 2009. Diversidad florística y macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas Tabasco. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. 87 p.
- Rincón SO. 1982. Manual del cacaotero. Temas de orientación Agropecuaria, 2da Edición. Núm., 132. Bogotá Colombia. 120 págs.
- Urquhart DH. 1961. Cocoa. Formerly Director of Agriculture in Ghana. ED. Longmans. Great Britain. P 7-17.
- Velázquez S, Sandrea Y, Betancourt C, Mata J, García F. 2006. Embriogénesis Somática en cultivares de cacao Venezolanos. *Agronomía Trop.* 56(1): 61-74.