

**DETERMINACION DE LOS AVANCES DE LA BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA
PROPAGACIÓN DE *Bactris gasipaes* Kunth (CHONTADURO) EN COLOMBIA**

JORGE ISAAC RIVAS HINESTROZA

**Universidad Nacional Abierta y A Distancia – UNAD-
Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y Del Medio Ambiente
Especialización en Biotecnología Agraria**

Quibdó – Chocó

2019

**Determinación de los avances de la biotecnología aplicada a la propagación de *Bactris
gasipaes* Kunth (chontaduro) en Colombia**

Autor

**JORGE ISAAC RIVAS HINESTROZA
C.C 1075020407**

**Trabajo presentado como requisito para optar al título de Especialista en Biotecnología
Agraria**

Asesor

RAMON ANTONIO MOSQUERA MENA PhD

**Universidad Nacional Abierta y A Distancia – UNAD-
Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y Del Medio Ambiente
Especialización en Biotecnología Agraria**

Quibdó – Chocó

2019

Nota aclaratoria.

La escuela y los jurados no se hacen responsables por los conceptos emitidos por el autor.

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

DEDICATORIA

Dedicada a mi familia; en especial a mis hijos Yeriel Isaac Rivas Chala y Yeidy Isary Rivas

Marmolejo.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

A mis padres por ser un ejemplo de esfuerzo y perseverancia. A mis hermanos por su apoyo y cariño incondicional. A mis profesores por servir de guías y apoyo y sobre todo a Dios por permitirme este logro profesional.

RESUMEN

La planta de *Bactris gasipaes* (chontaduro) es una especie de importancia económica de la región Pacífica colombiana. A partir de este cultivo se obtiene para consumo humano harina, aceite y palmito (cogollo); para consumo animal se obtiene concentrado y ensilaje. Además, se utiliza el tronco y hojas como madera para construcción y otros usos ornamentales. Los actuales cultivos se han visto limitados por los sistemas de propagación vía semilla sexual y vegetativa siendo este tipo de propagación bastante restringida y con bajos porcentajes de prendimiento y problemas de anclaje. En este sentido, el presente trabajo responde a un documento monográfico que registra la importancia que representan las técnicas biotecnológicas en especial el cultivo de tejidos, en la micropropagación de plantas permitiendo así la disponibilidad de material vegetativo en cantidades suficientes libre de virus y enfermedades y en un tiempo corto. La metodología de trabajo consistió en tres fases o etapas: en la primera se consultó y recopiló información científica relacionadas con el objeto de la investigación. La segunda fase se concentró en analizar y clasificar la información científica obtenida sobre los protocolos utilizados en la propagación clonal del Chontaduro. En la tercera fase del estudio se procedió a estructurar el documento monográfico sobre la biotecnología aplicada a la propagación de *B. gasipaes* Kunth para dar a conocer a la comunidad científica los avances logrados en este campo. Como resultados producto de la investigación se identificaron (once) 11 protocolos utilizados en la propagación in vitro de *B. gasipaes* destacando la embriogénesis somática como la principal aplicación biotecnológica empleada en la propagación, multiplicación y regeneración del chontaduro.

Palabras clave: *Bactris gasipaes*, chontaduro, propagación, micropropagación, cultivo de tejidos, propagación clonal, biotecnología.

ABSTRACT

The *Bactris gasipaes* (chontaduro) plant is a species of economic importance in the Colombian Pacific region. From this crop is obtained for human consumption flour, oil and palm heart (bud); for animal consumption, concentrate and silage are obtained. In addition, the trunk and leaves are used as timber for construction and other ornamental uses. Current crops have been limited by propagation systems via sexual and vegetative seed, this type of propagation being quite restricted and with low percentages of arrest and anchoring problems. In this sense, the present work responds to a monographic document that records the importance of biotechnological techniques, especially tissue culture, in the micropropagation of plants, thus allowing the availability of vegetative material in sufficient quantities free of viruses and diseases and in a short time. The work methodology consisted of three phases or stages: in the first, scientific information related to the object of the research was consulted and collected. The second phase focused on analyzing and classifying the scientific information obtained on the protocols used in the clonal propagation of Chontaduro. In the third phase of the study, the monographic document on biotechnology applied to the propagation of *B. gasipaes* Kunth was structured to inform the scientific community of the progress made in this field. As results of the research, 11 protocols used in *in vitro* propagation of *B. gasipaes* were identified, highlighting somatic embryogenesis as the main biotechnological application used in the propagation, multiplication and regeneration of chontaduro.

CONTENIDO

RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
2.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	5
3. JUSTIFICACIÓN	6
4. OBJETIVOS.....	8
4.1. GENERAL.....	8
4.2. ESPECÍFICOS.....	8
5. MARCO REFERENCIAL – TEORICO	9
5.1. METODOLOGÍA.....	9
5.2. <i>BACTRIS GASIPAES</i>	10
5.3. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	11
5.4. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	12
5.5. MORFOLOGÍA GENERAL	13
5.5.1. <i>Tallo o estípite:</i>	13
5.5.2. <i>Hoja:</i>	14
5.5.3. <i>Palmito:</i>	14
5.5.4. <i>Flor:</i>	15
5.5.5. <i>Inflorescencia:</i>	15

5.5.6.	<i>Fruto:</i>	16
5.5.7.	<i>Semilla:</i>	17
5.5.8.	<i>Raíz:</i>	17
5.6.	RAZAS Y ECOTIPOS	17
5.7.	FENOLOGÍA	18
5.8.	SUELOS	18
5.9.	RADIACIÓN.....	19
5.10.	TEMPERATURA	19
5.11.	PRECIPITACIÓN.....	20
5.12.	HUMEDAD RELATIVA	20
5.13.	PROPAGACIÓN	20
5.14.	USOS	20
5.15.	PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL CHONTADURO	20
5.16.	PLAGAS Y ENFERMEDADES	21
5.16.1.	<i>Plagas</i>	21
5.16.2.	<i>Enfermedades</i>	22
5.17.	BIOTECNOLOGÍA VEGETAL	24
5.18.	CLASES DE BIOTECNOLOGÍA.....	25
5.19.	CULTIVO DE TEJIDOS VEGETALES	38
5.20.	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CULTIVO IN VITRO DE TEJIDOS VEGETALES	38
5.20.1.	<i>El explante</i>	39
5.20.2.	<i>Asepsia</i>	42
5.20.3.	<i>Medios de cultivos</i>	44

5.20.4. <i>Composición de los medios de cultivo</i>	44
5.20.5. <i>pH del medio</i>	46
5.21. REGULADORES DE CRECIMIENTO HORMONAL.....	46
5.21.1. <i>Auxinas</i>	47
5.21.2. <i>Citoquinas</i>	47
5.21.3. <i>Giberelinas</i>	48
5.21.4. <i>Ácido abscísico</i>	48
5.22. MICROPROPAGACIÓN	49
5.22.1. <i>Etapas de la micropropagación in vitro</i>	49
5.23. ORGANOGÉNESIS.....	51
5.24. EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA.....	52
6. PRESENTACIÓN DE TRABAJOS REALIZADOS EN LA MICROPROPAGACIÓN DE BACTRIS GASIPAES KUNT.....	54
7. CONCLUSIONES.....	70
8. RECOMENDACIONES.....	72
9. BIBLIOGRAFÍA.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la palma de chontaduro basada en datos de herbarios y bancos de germoplasma	11
Figura 2. Tallo o estípite	13
Figura 3. Hojas de chontaduro	14
Figura 4. Palmito de chontaduro	14
Figura 5. Flores de chontaduro abierta.....	15
Figura 6. Inflorescencia de chontaduro abierta	16
Figura 7. Frutos de chontaduro	16
Figura 8. Semillas de chontaduro y sus partes.	17
Figura 9. Embriogénesis somática en zanahoria.....	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la especie <i>Bactris gasipaes</i> K.....	12
Tabla 2. Análisis de composición en base seca de los chontaduros colectados en Colombia	21
Tabla 3. Historia de la Biotecnología.....	26
Tabla 4. Composición de tres medios básicos usados en el cultivo in vitro de tejidos.....	45
Tabla 5. Descripción de protocolos utilizados en la micropropagación de la palma de chontaduro (<i>B. gasipaes</i>).....	57

1. INTRODUCCIÓN

La planta de *Bactris gasipaes*, recibe nombres comunes tales como chontaduro en Colombia; pejibaye en Costa Rica; peach palm en inglés; pupunha en Brasil; pijuayo en Perú, chontaduro, chontaruro, chontilla en Ecuador (Morán, 2015). La planta se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1.800 m. En Colombia se han encontrado cultivos de chontaduro en el Tolima, Valle del Cauca, Cundinamarca, Caquetá, Putumayo, Arauca, Chocó.

Según cifras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural citado por (Peña, Jaramillo, & Carabalí, 2014) en el estudio Manejo técnico para el establecimiento de viveros de chontaduro, durante el período 2006 -2010 el cultivo de *B. gasipaes* Kunth, en promedio logro un área estable cosechable de 9.457 ha, dicha producción se representada en 11 departamentos. Siguiendo con el mismo estudio, se indica que para el año 2010 el 66,8% de dicha área sembrada se concentró en la región Pacífica, constituyéndose el departamento del Valle del Cauca con 3.492 ha, el de mayor extensión, en segundo lugar, con 2.504 ha, el departamento del Cauca, seguido por los departamentos del Chocó y Nariño con 1.098 y 489 ha respectivamente.

En estas condiciones, se evidencia que el área de producción de este importante cultivo en la región Pacífica ha venido presentando un comportamiento estable con tendencia hacia la baja lo cual es acompañado por factores como la baja producción, la extinción de áreas productivas, la presencia del picudo *Rhychophorus palmarum*, el cual es una de las principales plagas de *B. gasipaes*. Kunth en la región neotropical; los adultos de *R. palmarum* se ubican principalmente en el área de la corona de las plantas y las hembras hacen perforaciones en la zona más blanda de la región internodal, para alimentarse y depositar los huevos (Pérez & Iannacone, 2006).

La propagación vegetativa como alternativa, permite establecer plantaciones con características deseables, utilizando como semillas los rebrotes basales (Panduro, 1993).

Mas, sin embargo, la capacidad de prendimiento de los retoños basales es muy baja, lo cual no permite una propagación masiva con propósitos de implementar siembras a gran escala.

En Colombia son pocas las investigaciones que se han realizados en propagación *in vitro* de *B. gasipaes* Kunth, como investigaciones más cercanas con este tema se documentan los trabajos realizados en este sentido, por la Universidad de Medellín, a través del grupo de investigación en biotecnología y bioingeniería – **GRINBIO**, donde se destacan los trabajos de propagación vía embriogénesis somática de chontaduro (*B. gasipaes* H.B.K.) en medios sólidos. En este mismo sentido, mediante técnicas moleculares (AFLPs) el grupo GRINBIO evalúa la estabilidad genética de las plántulas de chontaduro propagadas *in vitro* mediante embriogénesis somática.

La Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA, en otro estudio denominado avances en la micropropagación de cinco especies forestales en la estación biodiversidad de Piedras Blancas, se logró la propagación *in vitro* de palma de chontaduro (*B. gasipaes* H.B.K.) (Quintero, 2006).

B. gasipaes Kunth es una planta alógama, autoincompatible, con número de cromosomas $n=14$ (Hernández , Mora Urpí, & Rocha, 2008). Esto la hace una especie predominantemente alógama obligatoria; característica que no permite la multiplicación eficiente de genotipos deseables por vía sexual (Panduro, 1993). Esto explica en gran parte la falta de material propagativo en cantidades libre de fitopatógenos, que permitan la reactivación de los cultivos en el departamento del Chocó y la región Pacifico.

Por consiguiente, con esta monografía se busca documentar y dar a conocer los alcances de la propagación *in vitro* aplicada a palmeras en especial de *B. gasipaes* Kunth desarrollados en Colombia que han permitido la multiplicación masiva de esta especie.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de Chontaduro (*B. gasipaes*) en Colombia ha venido en descenso, en especial en la Región Pacífica donde la especie es de importancia económica y sirve como alimento y fuente de generación de ingresos a las familias productoras (Peña *et al*, 2014)

Se identifican como factores causantes de la pérdida de las áreas cultivadas con *B. gasipaes* Kunth, las consecuencias del cambio climático (ola invernal), el efecto causado por el picudo *R. palmarum* conocido como barrenador del estípite y la acelerada pérdida de capacidad productiva (Peña *et al*, 2014).

Los actuales cultivos se ven limitados por propagación vía semilla sexual y por los sistemas de propagación vegetativa ya que este tipo de propagación es bastante limitada presentando bajos porcentajes de prendimiento y problemas de anclaje (Mora & Solís, Polinización en *Bactris gasipaes* H.B.K. (Palmae), 1980) citado por (Quintero, 2006).

En Colombia son pocos los trabajos que documentan los avances que se han realizado en la propagación en medios de cultivos de *B. gasipaes* kunth, esto dificulta a que investigadores locales implementen proyectos de investigación orientados a la propagación *in vitro* o mejoramiento de la palma de chontaduro.

Crane (2013), indica que la propagación de *B. gasipaes* Kunth seda por vía sexual (semilla), lo cual hace que su producción sea lenta. Lo anterior explica en gran parte la baja disponibilidad de material propagativo de chontaduro en el departamento del Chocó – Región Pacífica. Por lo tanto, esta condición es considerada una limitante a la hora de querer implementar siembras a gran escala una solución en este sentido tiene que ver con el uso de técnicas biotecnológicas en

especial la propagación *in vitro* en medio de cultivos de tejidos vegetales, con lo cual se garantizaría la obtención y multiplicación masiva de la plántula de *B. gasipaes* Kunth.

2.1. Pregunta de investigación

¿Cuál es el avance que ha experimentado el Chontaduro *B. gasipaes* kunth en la propagación *in vitro* en Colombia?

3. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de *B. gasipaes* Kunth (chontaduro) es una especie de importancia económica de la región Pacífica colombiana, siendo representativo de la dieta de la población y en la alimentación de porcinos y aves de corral. A partir de este cultivo se logra obtener subproductos como harina, aceite y palmito (cogollo) los cuales tienen usos en la alimentación humana. Concentrado y ensilaje para la nutrición animal. Además, el tronco y hojas se utilizan como madera para construcción y otros usos ornamentales (Villachica, 1996).

Lo anterior demuestra la importancia que representa esta especie en la vida cotidiana del pueblo de la región pacífica colombiana y en especial del departamento del Chocó, y ante la falta de material propagativo de *B. gasipaes* Kunth, problemática que se ha generado por incidencia de factores climáticos, envejecimiento de cultivares y presencia de insectos plagas, entre estos *R. palmarum* (Peña, et al, 2014). Sumado al lento crecimiento y reproducción, la cual seda por vía sexual (semilla) haciendo que la producción sea lenta (Crane, 2013). En este sentido, se hace necesario pensar entonces en otros métodos de propagación que respondan a la necesidad de suministrar suficiente material propagativo y a la obtención de plantaciones homogéneas y de alta productividad, problemas estos que presenta actualmente el cultivo de Chontaduro en Colombia.

De acuerdo con Mora y Solis (1980), (Blaak (1980) y Mora (1981) citados por (Quintero, 2006).

Actualmente el cultivo se ha visto limitado por los problemas de propagación por semilla sexual y por los sistemas de propagación vegetativa vía hijuelos (Mora y Solis, 1980). Las variedades más productivas son partenocárpicas (fruto sin semilla) y la propagación por hijuelos es bastante limitada, por su bajo porcentaje de prendimiento y problemas de anclaje (Blaak,

1980). Además, los procesos de autoincompatibilidad generan una alta variabilidad (heterocigocidad) lo cual dificulta el establecimiento de plantaciones homogéneas, altamente productivas y de gran rendimiento (Mora, 1981).

En este sentido, este trabajo constituye un punto de partida, en la determinación de los avances que se han documentado en la propagación clonal de *B. gasipaes* Kunth, con el objetivo de que sirva como documento de consulta en investigaciones futuras de propagación *in vitro* de la palma de chontaduro; donde la micropropagación o propagación clonal, es una de las aplicaciones más generalizadas del cultivo *in vitro*, a partir de un fragmento (explante) de una planta madre, se obtiene una descendencia uniforme, con plantas genéticamente idénticas, denominadas clones (Castillo, A. 2008).

El cultivo *in vitro* (término que literalmente significa en vidrio), incluye muchas técnicas destinadas a introducir, multiplicar y regenerar, entre otros recursos, material vegetal o animal en condiciones controladas y asépticas. El cultivo *in vitro* constituye un paso fundamental en la obtención y regeneración de plantas genéticamente modificadas, y/o transgénicas, mediante técnicas de ingeniería genética (Argenbio, s.f.).

Bajo estas consideraciones, conociendo que las técnicas de cultivos de tejidos *in vitro* tales como la micropropagación a partir de diferentes fuentes de explantes (meristemas, semillas, hojas, tallos etc.) en medios nutritivos pueden propagar masivamente especies vegetales, se propone llevar a cabo esta monografía, documentando estudios relacionados con el tema de la micropropagación *in vitro* de *B. gasipaes* Kunth (Chontaduro).

4. OBJETIVOS

4.1. General

Determinar los avances producidos por la biotecnología aplicada a la micropropagación de *B. gasipaes Kunth* en Colombia mediante la recopilación de información científica pertinente.

4.2. Específicos

- Recopilar información sobre el género *B. gasipaes* en bases de datos científicas que sirva para concretar la biotecnología aplicada a la propagación del Chontaduro.
- Analizar las investigaciones realizadas en la propagación *in vitro* de *B. gasipaes* para disponer de información sobre los protocolos utilizados en la propagación clonal del Chontaduro.
- Estructurar un documento monográfico sobre la biotecnología aplicada a la propagación de *B. gasipaes Kunth* para dar a conocer a la comunidad científica los avances logrados en este campo.

5. MARCO REFERENCIAL – TEORICO

5.1. Metodología

Esta monografía hace un recorrido documental sobre las investigaciones realizadas en micropropagación de la especie *B. gasipaes* Kunth, especie esta de gran importancia socioeconómica, ambiental y cultural del pacifico colombiano y en especial del departamento del Chocó; la metodología de estudio enfatizó en revisar bases de datos, bibliotecas virtuales, revistas científicas, repositorios de universidades, artículos, revistas, tesis de grados etc. sobre estudios científicos realizados en micropropagación de *B. gasipaes* Kunth, a partir de allí se determinó los avances biotecnológicos aplicados en la propagación del *B. gasipaes*. La metodología se describe en función a tres fases, las cuales responden a los objetivos específicos planteados:

Fase 1: Consistió en consultar y recopilar información científica en bases de datos (revistas, repositorios et) relacionadas con el tema de investigación sobre el género *Bactris*, obteniendo artículos científicos, tesis de gados, libros etc. Información que fue seleccionada acorde con la pertinencia y aportes al objeto de la investigación.

Fase 2: Esta fase consistió en analizar los documentos científicos e investigaciones realizadas en la propagación in vitro de *B. gasipaes* Kunth para disponer de información sobre los protocolos utilizados en la propagación clonal del Chontaduro.

Fase 3: Estructurar un documento monográfico sobre la biotecnología aplicada a la propagación de *B. gasipaes* Kunth para dar a conocer a la comunidad científica los avances logrados en este campo.

5.2. *Bactris gasipaes*

La palma de chontaduro pertenece a la familia de las arecáceas palmáceas es una monocotiledónea, con epicentro natural en áreas amazónicas de Brasil, Ecuador, Colombia y Perú. En Centro América la planta se ha naturalizado, destacándose Costa Rica como el mayor productor mundial (Crane, 2013).

Entre los nombres comunes que recibe *B. gasipaes* según Crane (2013) tenemos:

Español: Su nombre real es Pixbae pero según el país se le puede llamar.

- Palma de Chonta (Ecuador)
- Chontaduro (Colombia)
- Pejibaye (Costa Rica, República Dominicana)
- Manaco (Guatemala)
- Pijuayo (Perú)
- Pijiguao (Venezuela)
- Tembé (Bolivia)
- Pibá o pifá- (Panamá)

Portugués:

- Pupunheira y pupunha (Brasil).

Inglés:

- Peach-palm or pewa (Trinidad y Tobago)
- Peyibay(e)
- Pejivalle

5.3. Origen y distribución

En la determinación del origen de la palma de *B. gasipaes* surgen varias teorías entre estas un grupo de autores, afirma es originaria de la parte oeste de la cuenca amazónica. Otros autores le atribuyen varios sitios de origen tales como el oeste de la cuenca amazónica, la parte oeste y noroeste de la cordillera de los Andes y la parte baja de Centro América (Mora, Weber, & Clement, 1997).

Entre estas teorías la más aceptada es la que afirma que la palma de chontaduro tiene como origen la amazonia colombiana, ecuatoriana, peruana y brasileña (Crane, 2013).



Figura 1. Distribución de la palma de chontaduro basada en datos de herbarios y bancos de germoplasma. Fuente: Graefe, S, et al. (2013)

Según Mora-Urpí, et al., (1984); Clement, (1993) “*la distribución geográfica de esta especie es muy extensa; el límite norte está en Honduras, y el límite sur está en Bolivia y la parte sur de Brasil. También se indica su presencia en algunas islas de las Antillas, especialmente Trinidad*”

5.4. Clasificación Taxonómica

La taxonomía de la planta de *B. gasipaes* es la siguiente:

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la especie Bactris gasipaes K

Reino	Plantae
Subreino	Viridaeplantae
Infrareino	Streptophyta
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Infradivisión	Angiospermae
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Lilianae
Orden	Arecales
Familia	Arecaceae
Genero	Bactris
Especie	Bactris gasipaes
	Chonta,
	Pejibaye
Nombre común	Chontaduro,
	Pijiguao,
	Pirijaho,
	Cachipae, etc

Fuente: Integrated Taxonomic Information System (ITIS).

5.5. Morfología general

Escobar & Zuluaga (2002), indica que la morfología de la planta está constituida por las siguientes partes:

5.5.1. Tallo o estípite:

Su forma es cilíndrica y alcanza diámetros desde 10 a 25 centímetros y alturas hasta de 25 metros con o sin espinas. Generalmente presenta espinas, aunque en ocasiones el tallo es glabro. Posee un rizoma del cual surgen los brotes o hijuelos, que en conjunto con el estípite principal conforman una cepa. Esta característica le permite la renovación permanente de tallos y su cosecha continua de palmitos. Las palmas pueden emitir entre uno y doce hijuelos o brotes basales, pero dicha emisión está determinada por el genotipo, al existir diferencia en la capacidad para producir hijuelos entre las distintas razas y ecotipos. Este órgano está dividido en nudos y entrenudos y la mayoría de las plantas generalmente presentan espinas en los entrenudos. Tiene un solo punto de crecimiento o meristemo apical en cada tallo o hijuelo, el cual es responsable de la producción y la formación y crecimiento constante del estípite.



Figura 2. Tallo o estípite. Tomado de Quintero, G., O. 2006

5.5.2. Hoja:

Forma pinnada de dos a cuatro metros de largo con raquis espinoso, muy resistente, y más de 200 foliolos; presenta entre 7 y 30 hojas por estípite; cada hoja posee peciolo, raquis y foliolos. El peciolo y el raquis generalmente están cubiertos de espinas, mientras que los foliolos la presentan en el haz, en las venas y en los márgenes.



Figura 3. Hojas de chontaduro. Tomado del libro: Savia Pacifico, inventario botánico de Colombia. (2015)

5.5.3. Palmito:

Base anillada de las hojas sin abrir, que forma un cilindro largo y compacto en el ápice del tronco.



Figura 4. Palmito de chontaduro. Tomado de Cultivo del Pijuayo (*B. gasipaes* Kunth) para Palmito en la Amazonía

5.5.4. Flor:

De color amarillo o crema crecen en racimos protegidos por una cubierta espinosa (espata). Esta palmera presenta las flores femeninas y masculinas en la misma inflorescencia protegidas por espatas, cuya emisión se inicia entre los tres y cuatro años. Los principales agentes polinizadores son los insectos curculionidos *Andranthobolus (Darelomus) palmarum* en Centro América y varias especies del género *Phyllotrox* en la Amazonia. Además, también intervienen en la polinización la gravedad y el viento.



Figura 5. Flores de chontaduro abierta. Tomado de https://en.wikipedia.org/wiki/Bactris_gasipaes#/media/File:Bactris_gasipaes.jpg

5.5.5. Inflorescencia:

Panícula cubierta por dos brácteas, la externa gruesa y corta, y la interna envuelve la inflorescencia hasta la madurez; existe intercalamiento de flores masculinas y femeninas dentro de las espigas y posible presencia de flores hermafroditas [...].

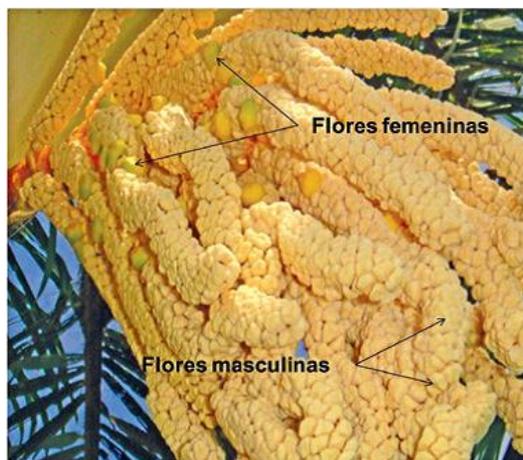


Figura 6. Inflorescencia de chontaduro abierta. Fuente: (Peña, et al. 2014)

5.5.6. Fruto:

Es una drupa, compuesta por epicarpio (cascara), mesocarpio (pulpa) y endocarpio (semilla o nuez). Su forma varía de cónica a elipsoidal. Su tamaño oscila entre dos y siete centímetros de largo y dos a seis centímetros de ancho y su peso oscila entre 4 a 186 g. Los frutos están dispuestos en racimos con colores diversos (rojo, amarillo, anaranjado, verde, jaspeado y mezcla de ellos). Los racimos pueden poseer hasta 764 frutos y pesar generalmente entre uno y veinte kilogramos.



Figura 7. Frutos de chontaduro. Fuente: (Peña, et al. 2014)

5.5.7. Semilla:

La semilla posee endocarpio de color negro, de consistencia dura, endospermo y embrión, y puede perder entre dos o seis gramos aproximadamente. Al perder humedad la semilla baja su capacidad de germinación.

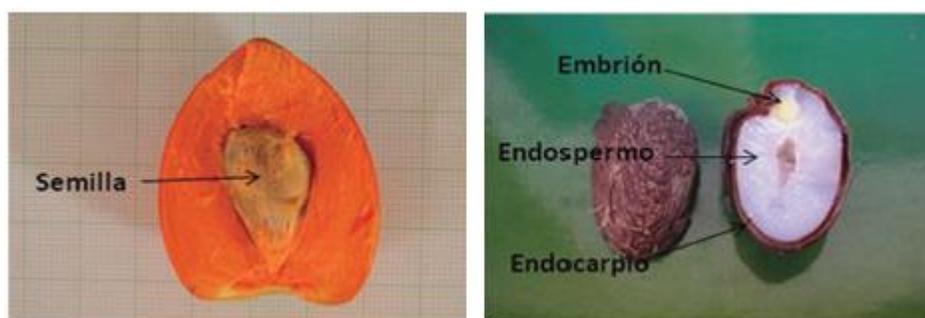


Figura 8. Semillas de chontaduro y sus partes. Fuente: (Peña, et al. 2014)

5.5.8. Raíz:

Sistema radicular fibroso, extenso, pero bastante superficial, en su mayoría son laterales y superficiales y forman una red tupida de aproximadamente 10 metros de diámetro. Su sistema radical ocupa principalmente los primeros 20 centímetros de horizonte A y AB del suelo y se extiende alrededor de la planta. Presenta raíces primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias, pero carece de pelos absorbentes. Las raíces terciarias y cuaternarias son las encargadas de la absorción de aguas y nutrientes. Su sistema radical se asocia con micorrizas vesícula arbuscular (se reportan asociaciones con el género *Glomus*), lo que le permite aumentar el volumen de suelo explorado para la absorción de sustancias nutritivas disueltas en el agua.

5.6. Razas y ecotipos

Siguiendo con Escobar & Zuluaga (2002), los ecotipos se agrupan de acuerdo con diferentes características, morfológicas y físico – químicas. Se han identificado un buen número de

variables entre ellas está el tamaño, peso, coloración del fruto, porcentaje de pulpa, presencia de espinas, análisis bromatológicos (grados brix, pH, valor nutricional etc.). Considerando el peso de los frutos los botánicos han subdividido la especie en tres razas: microcarpa de tallo con o sin espinas, entre 10 y 20 gramos; mesocarpa de tallo con o sin espinas entre 25 y 65 gramos; y macrocarpa de tallo con y sin espinas entre 70 y 120 gramos.

5.7. Fenología

De acuerdo con Villachica (1996), el inicio de la germinación de la semilla esta entre 34 a 54 días después del embolsado, el primer síntoma del inicio de la germinación es la aparición del hinchamiento del poro germinal (el poro más prominente).

Según Escobar & Zuluaga (2002), el desarrollo de las plantas durante el primer año es muy lento, puede oscilar entre 25 y 50 centímetros/año, pero a partir del segundo año presentan promedios de 1.5 metros/año. El número promedio de hojas a los 18 meses puede ser hasta de 8/palma y a los 24 de 9/hojas por palma. Con respecto al número de hijuelos a los 18 meses algunos ecotipos pueden tener alrededor de 4 hijuelos /palma y a los dos años se ha duplicado el número.

5.8. Suelos

El cultivo de *B. gasipaes* (chontaduro) crece en diversos suelos adaptándose a los suelos bien drenados, desempeñando un mejor crecimiento en suelos moderadamente fértiles (Crane, 2013).

La planta soporta suelos ácidos con bajo contenido de nutrientes y materia orgánica y textura franco-arenosa hasta arcillosa (Villachica, 1996).

De acuerdo Villachica (1996), las características edafológicas con las cuales el cultivo tiene mejor desarrollo son:

Textura. Suelos de textura franco-arenosa a franco arcillosa, con buen drenaje. Los suelos de textura arenosa son preferibles en aquellas regiones donde llueve mucho durante todo el año.

pH del suelo. Se aconseja que el suelo tenga un pH entre 5.0 y 7.2. En suelos con pH menor a 4.5 y 50% o más de saturación con aluminio, se sugiere aplicar cal para neutralizar el aluminio intercambiable y, en ciertos casos, para proveer calcio y magnesio para la planta.

Materia orgánica. Crece mejor en suelos con más de 2% de materia orgánica.

Fosforo disponible. El cultivo crece mejor si el nivel de fósforo disponible está alrededor o sobre 10 ppm.

Potasio disponible. Debe ser mayor que 0.15 meq/100 g de suelo.

Calcio y magnesio disponible. Se sugiere que en los suelos ácidos el contenido de calcio y de magnesio intercambiable no debe ser menor de 2.50 y 0.25 meq/100 g de suelo, respectivamente.

Saturación con aluminio. El cultivo de chontaduro tolera bien los suelos con alto nivel de saturación con aluminio, siempre y cuando exista un adecuado contenido de calcio y magnesio intercambiable, así como de fósforo y potasio disponible.

5.9. Radiación

Escobar & Zuluaga (2002), indica que el óptimo de radiación parece estar alrededor 2.000 horas al año, sin embargo, se encuentran en áreas hasta con 1.000/horas año.

5.10. Temperatura

Para Escobar & Zuluaga (2002), *B. gasipaes* Kunth tiene buena adaptación en zonas cálidas con temperaturas medias entre 26 y 28 grados centígrados (°C), pero se encuentra en zonas con promedios inferiores o áreas denominadas de clima medio.

5.11. Precipitación

Adaptable en zonas con precipitación anual de 1.700 a más de 4.000 mm/año (Escobar & Zuluaga 2002).

5.12. Humedad relativa

Siguiendo con Escobar & Zuluaga (2002), indica que el chontaduro presenta buena capacidad para soportar elevadas concentraciones de humedad atmosférica (>80 por ciento), durante períodos prolongados.

5.13. Propagación

La palma de chontaduro es propagada en forma sexual por semilla o también de manera asexual separando hijuelos o retoños basales de la planta madre o mediante técnicas de cultivo de tejidos (Peña *et al*, 2014).

5.14. Usos

La palmera de *B. gasipaes* tiene múltiples usos, a partir de este cultivo se logra obtener subproductos como harina, aceite y palmito (cogollo) los cuales son utilizados en la alimentación humana, también en la elaboración de concentrado y ensilaje para la nutrición animal. Además, el tronco y hojas se utilizan como madera para construcción y otros usos ornamentales (Villachica, H. 1996).

5.15. Propiedades nutricionales del chontaduro

En la siguiente tabla se muestran los valores promedio de la composición en base seca de los chontaduros colectados en Colombia, conforme al estudio de la diversidad del chontaduro (*B. gasipaes*) consumido en Colombia. (Giraldo *al at*. 2009).

Tabla 2.
Análisis de composición en base seca de los chontaduros colectados en Colombia

Variables	n	\bar{X}	σ	Min	Max.
Materia seca (%)	39	48,7	8,5	29,5	68,5
Grasa (%)	46	11,5	5,8	3,3	23,5
Cenizas (%)	42	2,7	1,1	1,4	5,4
Proteína (%)	43	6,2	1,3	4,0	9,5
Fibra cruda (%)	43	4,7	1,3	1,3	7,9
Almidon (%)	42	66,6	4,6	55,2	78,6
Azucar Total (%)	42	3,3	1,1	1,0	5,3
Azucar Reduc (%)	42	2,6	1,0	0,8	5,1

Fuente: Giraldo, A., et al. 2009).

5.16. Plagas y enfermedades

5.16.1. Plagas

- **Picudo de la caña de azúcar (*Metamasius hemipterus*).**

Ataca cultivos de caña y musáceas. En el chontaduro su daño consiste en la elaboración de galerías en la base de los racimos de las flores, los cuales se debilitan y se secan. Su control se realiza con trampas construidas con tarros que contengan rodajas de piña o partes tiernas picadas de tallo de caña, banano y/o chontaduro como cebo, para su posterior captura, utilizando 10 tarros/hectárea (Quintero, 2006).

- **Barrenador del tallo (*Rhynchophorus palmarum*)**

Los daños son causados por las larvas que emergen de los huevos ovipositados por la hembra en los tejidos frescos resultante del deshije. Las larvas penetran en el tallo y como consecuencia

el daño favorece el desarrollo de pudriciones que pueden destruir La planta. Su control es ante todo preventivo, es un insecto que es atraído por las heridas frescas o que comienzan a fermentarse por lo cual se deben proteger los cortes después del deshije con soluciones insecticidas o caldo bórdeles, actualmente el insecto se captura mediante la localización de trampas con feromona de agregación y trozos de material vegetal (rodajas de piña, caña, banano o chontaduro) como cebo (Quintero, 2006).

- **El picudo negro (*Palmelampus heinrich*)**

Actualmente es la plaga de mayor importancia económica que afecta los cultivos de chontaduro. El insecto en estado adulto perfora el botón floral femenino o el fruto para alimentarse u ovipositar. Los huevos colocados por la hembra eclosionan y la larva barrena (perfora) los botones o frutos provocando la caída. En inflorescencias recién abiertas el insecto puede atacar acentuándose el daño. Cuando el ataque del insecto ocurre en frutos desarrollados, estos pueden llegar a su maduración, pero afectando su calidad tanto externa como interna. Su control y manejo está relacionado con el proceso de apertura de la espata floral y polinización de las flores recomendando el método del embolsado del racimo con bolsa plástica (Quintero, 2006).

- **Cucarrón marceño (*Cyclocephala sp.*)**

Antes que la espata abra (estructura que protege la inflorescencia), se debe regar con extracto de ají-ajo (10 cc/L), para repeler a los adultos, los cuales son atraídos por el olor que expelen las flores durante la polinización, tumbando las flores y frutos pequeños (Quintero, 2006).

5.16.2. Enfermedades

Villachica (1996), en base en las experiencias de (Mora-Urpí *et al.* 1984, Vargas 1993), en Costa Rica, identifica como principales enfermedades en el cultivo de *B. gasipaes* las siguientes.

- **Enfermedades de la semilla**

En el proceso de germinación las semillas son cubiertas con una lámina de agua o son humedecidas por largo tiempo para acelerar dicho proceso, se presentan problemas de pudrición en la semilla lo cual es causado por los siguientes hongos: *Thielaviopsis paradoxa*, *Schyzophyllum commune*, *Botrydiplodia theobromae*, *Fusarium* sp. Y *Penicillium* sp.

- **Enfermedades del follaje en semillero y plantación**

Mancha amarilla causada por *Pestalotiopsis* sp. Producto de la infección del hongo en la planta se presentan manchas de color amarillentas de forma redondeada con cierto aspecto acuoso, que al necrosarse terminan de color pardo oscuro.

Mancha parda producida por *Mycosphaerella* sp (*Cercospora*). La actividad dañina del hongo se presenta tanto en hojas jóvenes como viejas. Las manchas son de figura redondas de color pardo a claro y al exterior presentan un borde pardo-oscuro y un halo amarillo.

Mancha negra originada por el ataque de *Colletotrichum* spp. Se presenta en forma de manchas negras regulares tanto en plantas en viveros como en cultivos. El efecto del hongo provoca que las manchas presenten puntos cloróticos o amarillentos.

Mancha anular causada por *Dreschlera incurvata*. Los síntomas de la enfermedad se manifiestan con manchas redondas color café-oscuro variando hacia el centro a más claro y con círculos cloróticos.

- **Enfermedades del tallo**

Vargas (1993), identifico como enfermedad principal para los tallos de *B. gasipaes* la pudrición del corazón o del cogollo causada por los hongos *Fusarium* sp y *Phytophthora palmivora*, como por la bacteria *Erwinia chrysanthemi*. La enfermedad es favorecida por condiciones ambientales de excesiva humedad.

- **Enfermedades del fruto.**

Pudrición blanca causada por *Monilia* sp. Se caracteriza por atacar a frutos maduros los cuales presentan una consistencia blanda, acuosa, recubiertos con un moho blanco expeliendo un mal olor propio de la enfermedad.

- **Enfermedades del fruto en poscosecha.**

Como principal enfermedad del fruto en poscosecha se identifica la pudrición negra, la cual es causada por *Thielavipsis paradoxa* y por *Chalaropsis* sp. El efecto de la enfermedad es una pudrición suave de la fruta que conforme avanza se torna negra en su interior.

5.17. Biotecnología vegetal

Roca & Ramírez (2000) citando a Sasson (1989).

La biotecnología se puede definir como: la aplicación de principios científicos y de ingeniería para el procesamiento de materiales por medio de agentes biológicos con el objetivo de producir bienes y servicios, en donde los agentes biológicos se refieren principalmente a microorganismos, células de animales y plantas, enzimas, y material genético aislado y clonado p. 4.

Es el conjunto de técnicas que utilizan organismos vivos o partes de ellos para obtener productos o modificarlos, para mejorar plantas o animales, o para desarrollar microorganismos con fines bien determinados, es decir, para la obtención de bienes y servicios.

Las biotecnologías se refieren a las técnicas dirigidas a la producción de bienes y servicios mediante la utilización de sistemas biológicos o de sus productos con aplicaciones en medicina, agricultura, ambiente, industria alimentaria, farmacéutica, química, entre otras. El término biotecnología fue acuñado en 1919 por Karl Ereky, un ingeniero agrícola húngaro, como “todos

los métodos utilizados para convertir materia prima en bienes utilizando en alguna etapa organismos vivos o sus productos” (Dhlamini, 2009).

Por su parte, el Protocolo de Cartagena describe a la Biotecnología moderna como la aplicación de: “a) Técnicas in vitro de ácido nucleico, incluidos el ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u orgánulos, o b) La fusión de células más allá de la familia taxonómica, que superan técnicas utilizadas en la reproducción y selección tradicional”.

Con el transcurso del tiempo las definiciones sobre biotecnología se han modificado, de acuerdo con el conocimiento que el hombre adquiere sobre los seres vivos, dando lugar a una biotecnología tradicional, una clásica y una moderna (PROEXPORT, 2009).

5.18. Clases de biotecnología

Tradicional: esta no se basa en conocimientos científicos. Se desarrolló en Mesopotamia con el vino en el 5000-4000 A.C; con la fabricación de la cerveza por los sumerios en el 6000 A.C, o la fabricación del pan en 4000-3000 A.C, gracias a los egipcios.

Clásica: contempla el periodo de los siglos XIX- XX cuando empiezan a entenderse los procesos de la biotecnología tradicional. Se fundamenta en la totipotencialidad de las células, por ejemplo, la regeneración de plantas a partir de partes de ellas mismas.

Moderna: desde 1970 donde se conoció la tecnología del ADN recombinante, que consiste en una molécula de ADN artificial formada de manera deliberada in vitro por la unión de secuencias de ADN y que proviene de dos organismos de especies diferentes que normalmente no se encuentran juntos.

Se define a la moderna biotecnología como la aplicación científica y tecnológica a organismos vivientes, sus partes, productos y modelos destinados a modificar organismos vivos y/o materiales aplicados a la producción de conocimientos, bienes y servicios (Van Beuzekom & Arundel, 2006).

Tabla 3.
Historia de la Biotecnología

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
BIOTECNOLOGIA ANCESTRAL	8000 A.C	Los humanos comienzan a elegir las plantas y animales (ganado) para que puedan ser domesticados. Las papas se convierten en el primer alimento cultivado.
	4000 A.C	Los egipcios dominan el arte de la elaboración del vino.
	2000 A.C	Los egipcios y sumerios aprenden el arte de la fabricación de la cerveza y el queso.
	500 A.C	En China, las cuajadas de soja con moho se convierten en el primer antibiótico en tratar infecciones y dolencias.
	300 A.C	Los griegos desarrollan técnicas de injerto para la reproducción de plantas.
	1492	El maíz y la papa nativa de América del Sur son introducidos a Europa por Cristobal Colon y otros exploradores.
	1590	El fabricante de gafas Zacharias Janssen inventa el microscopio.
	1663	El físico, matemático e inventor inglés Robert Hooke descubrió la existencia de la célula.

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
	1675	El estudiante holandés de historia natural y fabricante de microscopios Antonij van Leeuwenhoek descubre las bacterias.
	1796	Edward Jenner descubrió la primera vacuna contra la viruela al inocular a un niño con un virus que lo protege contra viruela vacuna.
	1809	Por medio de la técnica del calor Appert esteriliza y conserva comida.
	1833	Se descubre y aísla la primera enzima.
	1838	El químico sueco Jöns Jakob Berzelius descubre las proteínas
	1839 – 1855	Los científicos alemanes Schleiden y Theodor Schwann proponen que todos los organismos están compuestos de células.
	1859	Charles Darwin, publica su libro el origen de las especies.
LOGIA TRADICIONAL O DE PRIMERA	1861	El químico francés Louis Pasteur desarrolla la pasteurización, un proceso que protege los alimentos calentándolos para matar microbios peligrosos.

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
	1865	Después de siete años de cultivar y probar miles de plantas de guisantes, Gregor Mendel publica una descripción de las reglas que rigen cómo los rasgos hereditarios pasan de generación en generación, la base de la genética moderna.
	1869	En el núcleo de células del pus Miescher descubre una sustancia acida a la cual llamó “nucleína”
	1870 – 1910	<p>Luther Burbank desarrolla más de 800 variedades nuevas de frutas, verduras y flores.</p> <p>Su patata Burbank, resistente a las plagas, es ampliamente plantada en toda Irlanda, lo que pone fin a la hambruna de la papa.</p> <p>El botánico William James Beal produce el primer híbrido de maíz experimental en el laboratorio.</p>
	1885	<p>Se descubre la vacuna contra la rabia.</p> <p>Pasteur vacunó a un niño que había sido mordido por un perro rabioso. Esta vacuna se hizo a partir del extracto de la columna vertebral de un infectado con rabia.</p>
	1887	En Paris se inaugura el instituto Pasteur.
	1892	Dimitri Ivanowski descubre el virus del mosaico del tabaco.
	1897	El químico alemán Eduard Buchner demuestra que el extracto de levadura puede convertir el azúcar en alcohol.

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
	1906	Paul Ehrlich revela el primer tratamiento medicinal “la arsfenamina” eficaz contra la sífilis.
	1910	En base a la actividad microbiana se da inicio al sistema de purificación de cloacas en Manchester – Inglaterra.
	1915	El genetista estadounidense Thomas Hunt Morgan publica su libro Mecanismos de la herencia mendeliana. Son descubiertos los virus que afectan a las bacterias (bacteriófagos o fagos).
	1916	Se obtiene inmovilizar enzimas, mejorando así el uso de estas en procesos industriales.
	1919	La palabra biotecnología se usa por primera vez por el ingeniero agrónomo húngaro Ereky.
	1922	En Toronto, el Dr. Frederick Banting y su asistente Charles Best descubren la insulina como un tratamiento para la diabetes.
	1927	El biólogo genetista estadounidense Herman Joseph Muller, descubre que la acción de los rayos X causan mutaciones.
	1928	El bacteriólogo escocés Sir Alexander Fleming descubre la penicilina como un antibiótico.

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
BIOTECNOLOGÍA DE SEGUNDA GENERACIÓN	1941	El microbiólogo danés A. Justin acuña el término ingeniería genética, una técnica que implica la transferencia de material genético de un organismo a otro.
	1942	El microbiólogo estadounidense Andrew Moyer a partir del cultivo del moho de melón en tanques grandes, desarrolla una técnica para producir penicilina en grandes proporciones, iniciando su carrera como una "droga milagrosa".
	1943	El médico e investigador canadiense Oswald Theodore Avery aísla el ADN puro.
	1944	Oswald Avery, Colin MacLeod y Maclyn McCarty concluyen lo que ya el médico inglés Frederick Griffith había sugerido que el principio transformante es el ADN.
	1951	Se descubren los genes "saltarines" o transposones en el genoma del maíz por la científica Barbara McClintock.
	1953	James Watson y Francis Crick son los primeros en describir la estructura de doble hélice del ADN.
	1958	Por primera vez el ADN es producido en un tubo de ensayo.
	1961	Descubrimiento del ARN mensajero también conocido como ARNm.

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
	1962	Francis Harry Crick, James Dewey Watson y Frederick Wilkins, reciben el premio nobel por sus descubrimientos sobre la estructura molecular del ADN. En México se plantan nuevas variedades de trigo de mayor rendimiento, dando un paso a la Revolución Verde.
	1968	Marshall W. Nirenberg y Har Gobind Khorana ganan el Premio Nobel por descifrar los códigos genéticos de los 20 aminoácidos, lo que lleva a los investigadores a concluir más tarde que el código genético es universal entre todos los seres vivos.
BIOTECNOLOGÍA MODERNA O DE TERCERA GENERACIÓN	1970	El científico suizo Werner Arber descubrió que las bacterias se defienden de los virus utilizando enzimas de restricción especiales. Estas enzimas abrieron el camino a la ingeniería genética.
	1971	Se logra la síntesis completa del primer gen.
	1973	Se inicia la técnica del ADN recombinante por los investigadores Stanley Cohen y Herbert Boyer. Este hecho es considerado el nacimiento de la biotecnología moderna.
	1975	Por primera vez Kohler y Milstein logran obtener los primeros anticuerpos monoclonales.
	1976	Se determina por primera vez la secuencia de pares de bases

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
		de nucleótidos que se combinan para formar un gen específico.
	1977	Herbert Boyer, fundador de la firma pionera de biotecnología Genentech, utiliza la bacteria E. coli para producir insulina humana. La técnica representa una mejora significativa en la eficacia y la viabilidad a largo plazo de la producción de esta terapia médica vital, anteriormente extraída de suministros limitados de tejidos animales que podrían provocar reacciones alérgicas. La gran mayoría de la insulina utilizada en el presente se produce ahora a través de este método recombinante.
	1892	La primera vacuna recombinante es usada para control de la fiebre aftosa en el ganado.
	1983	El tabaco y la petunia son las primeras plantas que se obtienen por ingeniería genética.
	1984	Se descubre la técnica fingerprinting o huella digital, la cual es utilizada hoy para establecer relaciones familiares y hechos criminales. Se da a conocer la secuencia completa del genoma del virus de la inmunodeficiencia adquirida (HIV).
	1986	Se cultiva por primera vez a campo abierto plantas de tabaco que fueron modificadas genéticamente.

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
		La vacuna contra la hepatitis B para humanos obtenida por ingeniería genética obtiene licencia.
	1987	Bacterias recombinantes son liberadas a campo por la Advanced Genetic Sciences, con el propósito de inhibir la formación de hielo en el cultivo de la frutilla. Genes de la bacteria <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt) son transferidos a plantas de algodón.
	1989	Se descubre el gen defectuoso para la fibrosis quística.
	1990	Se experimenta por primera vez de forma exitosa la tolerancia al herbicida Bromoxynil en el cultivo transgénico del algodón. La quimosina una enzima utilizada en la fabricación del queso, se convierte en uno de los primeros productos alimenticios en Canadá que se fabrica con técnicas recombinantes.
	1991	En Argentina se crea el CENOBIA – Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria.
	1992	Un equipo de científicos estadounidenses e ingleses da a conocer una técnica para la detención de irregularidades en embriones in vitro tales como la fibrosis quística y la hemofilia.

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
	1993	La hormona rBGH/rBST de Monsanto es aprobada para el aumento en la producción de leche.
	1994	El tomate de maduración tardía FlavSavr se aprueba por la FDA para ser comercializado.
	1995	El genoma de la bacteria <i>Haemophilus influenzae</i> se descifra por primera vez.
	1996	Se publica completamente por primera vez el genoma de un organismo eucariota, la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .
	1997	El mundo conoce a la oveja Dolly, el primer mamífero clonado. La UNESCO adopta la Declaración Universal sobre el Genoma Humano y los Derechos Humanos, reconociendo el genoma humano como un patrimonio común que debe salvaguardarse de la manipulación inapropiada.
	1998	El gusano redondo <i>C. elegans</i> se convierte en el primer organismo multicelular en tener su genoma completamente secuenciado.
	1999	Científicos alemanes y suizos desarrollan el arroz dorado, fortificado con betacaroteno, que estimula la producción de vitamina A y previene las formas de ceguera.
	2000	Se conoce por primera vez la secuencia del genoma de la planta <i>Arabidopsis thaliana</i> .

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
		En Colombia el clavel azul se convierte en la primera planta sembrada genéticamente modificada (OGM).
	2001	En Córdoba Colombia, se realizan pruebas de campo con el algodón Bt. En Argentina se aprueban el maíz Bt y el algodón tolerante al herbicida glifosato.
	2002	En el cultivo del arroz por primera vez se completa la secuencia del genoma.
	2003	El algodón Bt es aprobado para su comercialización en Colombia. En Uruguay se aprueba el maíz Mon 810. Brasil ocupa el cuarto lugar con cultivos biotecnológicos plantados.
	2004	En Uruguay se aprueba el maíz Bt 11. El Paraguay sobrepasa el 1.2 millones de hectáreas plantadas con soya genéticamente modificadas.
	2006	Investigadores japoneses logran estimular la pluripotencialidad celular (iPS).
	2007	Es aprobada la primera vacuna contra el virus del papiloma humano, para su uso por mujeres y niñas en más de 80 países una de las causas del cáncer.
	2008	En Japón los científicos producen la primera roza azul mediante ingeniería genética.

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
	2009	<p>El Laboratorio Nacional de Microbiología de Winnipeg completa la primera secuencia genética del virus de la gripe H1N1, justo cuando la enfermedad está alcanzando proporciones pandémicas internacionales.</p> <p>La firma con sede en Quebec Medicago cultiva la vacuna H5N1 (gripe aviar) en hojas de tabaco. El producto se convierte en la primera vacuna contra la gripe basada en plantas que se somete a ensayos en humanos en Canadá.</p> <p>El Consorcio Internacional de Secuenciación de Papa y Potato publica un borrador de la secuencia completa del genoma de la papa, el tercer cultivo más importante del mundo.</p>
	2010	<p>Primera célula sintética en mayo de 2010, J. Craig Venter Institute creó la primera célula bacteriana autoreplicante completamente sintética, que se llamó Synthia.</p> <p>Colombia autoriza la siembra comercial de Soya GM resistente a herbicidas.</p> <p>En la Unión Europea se aprueba el cultivo de la papa Anflora (BASF).</p>
	2012	<p>El proyecto genoma para el trigo liderado por un equipo internacional anuncia un borrador del genoma del trigo. Un</p>

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
		híbrido de tres gramíneas, el trigo integral tiene 3 genomas y más de 96 000 genes dentro de una planta, lo que lo hace particularmente complejo para descifrar.
	2013	El primer ojo biónico ha visto la luz en los Estados Unidos, dando esperanza a los ciegos en todo el mundo. Desarrollado por Second Sight Medical Products, el sistema de prótesis para la retina Argus II ha ayudado a más de 60 personas a recuperar visión parcial, y algunas han tenido mejores resultados que otras.
	2014	<p>Se contabilizan 181.5 millones de hectáreas sembradas en 28 países con cultivos modificados genéticamente.</p> <p>Colombia cuenta con licencia para la siembra de cultivos genéticamente modificados de maíz, algodón, soya, rosas y claveles.</p> <p>En Indonesia los científicos desarrollan una caña tolerante a la sequía.</p> <p>Se desarrolla en Australia un arroz con mayor contenido nutricional más alto de hierro y zinc.</p>
	2016	<p>185.1 millones de hectáreas son contabilizadas en 26 países con cultivos genéticamente modificados (GM).</p> <p>Estados Unidos: desarrollan limones morados con mayor</p>

ETAPAS	SIGLO O AÑOS	SUCESOS
		contenido de antocianinas (University of Florida) Estados Unidos: aprueban la comercialización de una piña rosada alta en el antioxidante licopeno (Del Monte) Estados Unidos: aprueban la comercialización de una manzana resistente a la oxidación enzimática (Okanagan Specialty Fruits).

Tomado y Adaptado en base a Muñoz (2006); BOTECH (2013); Agro-Bio (2016)

5.19. Cultivo de tejidos vegetales

El cultivo de tejidos vegetales es definido como el conjunto de técnicas las cuales tienen en común que, a partir de un explante o fragmento de una planta cultivada en un medio nutritivo en condiciones físicas y químicas artificiales, originan una planta idéntica a aquella de donde se tomó el fragmento (Roca & Ramírez, 2000; Echenique *et al.*, 2004). Cada fragmento origina una planta idéntica a aquella de donde se tomó el fragmento, aunque, también puede ser modificada genéticamente para tener variedades artificiales (Mroginski, Sansberro, & Flaschland, 2010).

5.20. Factores que influyen en el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales

El rol del investigador es determinante para el éxito de los cultivos *in vitro* en la medida que debe controlar las condiciones en la que crecerán los explantes. Factores como el ambiente del cultivo y el medio o sustrato, el explante, la incubación y esterilización son consideradas las circunstancias más importantes para el éxito del cultivo de tejidos (Pesantes, 2015).

5.20.1. El explante

Mroginski *et al.*, (2010) indica que son varios los factores a tener en cuenta en la elección del explante apropiado para el establecimiento de los cultivos *in vitro* entre ellos:

1. Objetivo del cultivo: este se puede esquematizar en aplicaciones para:

- *Estudios básicos.* Las fuentes de explantes pueden ser diversas, depende del objetivo perseguido. Cuando se pretende obtener el desarrollo de callos con el fin de entender procesos fisiológicos la fuente de explante puede ser cualquier tejido o célula viva. En las anteriores condiciones para el desarrollo de callogénesis es recomendable el uso de material vegetal joven como explante en lo posible derivados de semillas en germinación, condiciones estas que permiten una mayor respuesta y reduce los riesgos de contaminación por microorganismos.
- *Obtención de plantas con sanidad controlada.* Con el fin de obtener plantas libres de virus, lo ideal es el uso de cultivos de meristemas el cual ha sido exitoso en la eliminación de virus y viroides.
- *Micropropagación.* El tipo de estudio a realizar determinará el sistema a utilizar. Cuando el propósito es la brotación de meristema, una excelente fuente de explante la constituyen los ápices terminales y los segmentos uninodales de las partes más joven de la planta madre o donadora. Es fundamental que el investigador conozca la fisiología reproductiva de la planta para así facilitar la elección de los explantes que en forma natural forman propágulos. Cuando el objetivo es inducir a la embriogénesis somática mediante el uso de semillas sintéticas los explantes originales para garantizar esta condición lo constituyen el empleo de embriones zigóticos inmaduros u hojas.

- *Obtención de híbridos interespecíficos.* El embrión cigótico en sus primeros estadios de desarrollo al igual que los ovarios u óvulos fecundados constituyen los explantes a cultivar cuando el propósito del estudio es la obtención de híbridos.
- *Obtención de plantas de semillas con embriones rudimentarios.* A partir de semillas se logran obtener explantes como es el caso de las orquídeas o a través del uso de embriones en su primer estadio de desarrollo como en el caso de yerba mate o de algunas variedades de duraznero.
- *Obtención de plantas haploides.* Las anteras son utilizadas como principal explante, también se recomienda el uso de óvulos y ovarios no fertilizados y microsporas aisladas.
- *Inducción de variación somaclonal.* Entendida como los cambios ocurridos en las plantas regeneradas y que son transmitidos a la progenie (Cardone, Olmos , & Echenique, 2010). Existe la posibilidad de emplear diferentes explantes cuando el propósito es emplear esta técnica con el objetivo de mejoramiento genético de las plantas se debe garantizar que los explantes permitan la regeneración de plantas enteras.
- *Producción y/o conversión de sustancias útiles.* Diversas son los explantes que se pueden utilizar para el logro de este objetivo. Las raíces son las fuentes de explantes más utilizados.
- *Obtención de híbridos somáticos.* La fusión de protoplastos constituye la técnica más utilizada para la obtención de híbridos somáticos. En la mayoría de los casos se aíslan los protoplastos de mesófilos de hojas y de suspensiones celulares.

- *Conservación e intercambio de germoplasma.* Para este propósito se utilizan como explantes los meristemas constituyéndose así en los preferidos para el desarrollo de sistemas de conservación en condiciones de temperatura ultra bajas. Como también aplica para el intercambio de material genético.
- *Establecimiento de suspensiones celulares.* Constituyen los explantes obtenidos a partir de la germinación de semillas los materiales ideales para iniciar los cultivos *in vitro*.

Siguiendo con Mroginski *et al.*, (2010) en cuanto al tipo de explante afirma que es necesario tener presente las siguientes situaciones:

- **Posibilidad de contaminación con microorganismos.** Con el propósito de reducir las tasas de contaminación se recomienda obtener explantes de plantas donadoras que crecen en condiciones controladas (invernadero), así mismo se recomienda evitar el uso de explantes provenientes de raíces o rizomas sucios obtenidos de plantas crecidas en macetas o en el campo ya que en gran porcentaje la desinfección no es total.
- **Edad fisiológica.** Se recomienda el uso de explantes jóvenes ya que estos por regla general presentan una mejor respuesta a los cultivos *in vitros*, siendo los meristemas apicales y axilares los más usados en la propagación clonal.
- **Tamaño.** En general, cuanto más grande sea el explante mayores serán las posibilidades de inducir la proliferación de callos o la regeneración directa de órganos. Sin embargo, a mayor tamaño de explante también son mayores las probabilidades de que los cultivos se contaminen con microorganismos. También es necesario tener en cuenta que existe un tamaño mínimo del explante, que depende de la especie y del material vegetal, por debajo del cual no es fácil lograr el establecimiento de los cultivos.

- **Época del año.** Es un factor que suelen tener mucha importancia en la micropropagación y que generalmente está asociado al grado de dormición que presentan ciertos explantes (yemas, por ejemplo) y también con la posibilidad de mayor o menor proliferación de microorganismos.

5.20.2. Asepsia.

Las condiciones de asepsia de los medios de cultivos en los cuales se siembran las plantas se ven afectados por los nutrientes que los componen en especial las fuentes de carbono (sacarosa o glucosa), situación está que hace del medio de cultivo un escenario propicio para el crecimiento de microorganismos (bacterias y hongos) los cuales rivalizan con el crecimiento de las vitroplantas al consumir los nutrientes e invadirlas y matarlas (Smith, 2012).

En este mismo sentido, Echenique *et al.*, (2004) afirma que las fuentes de contaminación más comunes se presentan con microbios que habitan en el interior o superficie de los explantes y fallas humanas en los procedimientos de cultivos en los laboratorios.

En la medida que se localicen los agentes contaminantes se facilita su control y los procedimientos para manejarlos, lo cual garantiza el éxito de los cultivos *in vitros* (Mroginski *et al.*, 2010).

Al respecto siguiendo con Mroginski *et al.*, (2010) recomienda seguir los siguientes pasos que ayudan a evitar o reducir la contaminación por microorganismos.

- 1) Tener conocimiento del material vegetal que se utilizara y los agentes contaminantes específicos.

- 2) Realizar una adecuada preparación de la planta dadora de explantes, cultivándola preferentemente en invernaderos tratadas con productos químicos que eliminen patógenos y eventuales microorganismos endófitos.
- 3) Proceder a la desinfección superficial de los explantes mediante el uso de compuestos químicos con el objeto de eliminar los microorganismos con el menor daño posible para el explante. Si bien no es posible recomendar un procedimiento general, se puede señalar que el procedimiento más popularizado consiste en una doble desinfección mediante la inmersión de los explantes en etanol (70% v/v) durante 20-60 segundos seguido de hipoclorito de sodio 1 -3%, contenido en el agua de lavandina comercial, durante 3 a 30 minutos, dependiendo de la naturaleza del explante.
- 4) Emplear medios e instrumentos de cultivo esterilizados, es decir, liberados completamente de cualquier microorganismo vivo o esporas. Para la esterilización, en la mayoría de los casos se hace uso del calor en sus diversas formas: llama directa, calor húmedo (en forma de vapor abierto o bajo presión), calor seco (aire caliente). Se pueden usar hornos a microondas El agua caliente también puede ser usada. En el caso de sustancias termolábiles, la esterilización se puede hacer mediante filtración a través de filtros bacteriológicos.
- 5) Cultivar los explantes en una cámara de transferencia con aire estéril (gabinete de flujo laminar»), localizada en un ambiente limpio y no expuesta a corrientes de aire. De no disponer este equipamiento, se pueden sustituir con cuartos esterilizados previamente con luz ultravioleta (nunca exponerse a la luz UV en forma directa). La mesada de trabajo y las paredes del gabinete deben ser desinfectadas previamente con etanol al 70%. Al igual

se recomienda la desinfección de los recipientes utilizar en la contención de los medios de cultivos, agua y demás sustancias.

5.20.3. Medios de cultivos

Considerado como un conjunto de sales inorgánicas y compuestos orgánicos capaces de suministrar nutrientes a las plantas y permitir la manipulación de las mismas en los medios de cultivos (Mroginski, Sansberro, & Flaschland, 2010).

Krikorian (1991) citado en Meléndez (2012), menciona que el crecimiento de las células y tejidos cultivados a nivel In Vitro, requieren de compuestos orgánicos e inorgánicos dispuestos en diversas concentraciones de macro y micro sales, compuestos carbonados, vitaminas, hormonas, aminoácidos, etc., participando en una forma responsable y activa en el crecimiento de los explantes introducidos a nivel in vitro.

El medio de cultivo se compone de una mezcla de sales minerales, vitaminas reguladoras de crecimiento, azúcar, agua y agar. La composición del medio depende de la especie vegetal y de la etapa del proceso de micropropagación (Castillo, 2008).

5.20.4. Composición de los medios de cultivo

Existen numerosas formulaciones, cada una de las cuales comprende entre 6 y 40 compuestos. Mroginski L *et al.*, (2004). Indica que los elementos básicos que deben suministrar los medios de cultivos tienen que ver con una fuente de carbono que puede ser sacarosa o glucosa, sustancias inorgánicas, sustancias vitamínicas, hormonas reguladoras del crecimiento y sustancias solidoliquidas (gel) para medios semisólidos.

Tabla 4.
Composición de tres medios básicos usados en el cultivo in vitro de tejidos

Compuestos	Medio básico		
	MS	N6	B5
NH₄NO₃	1.650	-----	-----
KNO₃	1.900	2.830	2.500
KH₂PO₄	170	400	-----
CaCl₂.2H₂O	440	166	150
(NH₄)₂SO₄	-----	463	134
MgSO₄.7H₂O	370	185	250
NaH₂PO₄.4H₂O	----	-----	150
KI	0,83	0,80	0,75
MnSO₄.H₂O	----	----	10,00
H₃BO₃	6.20	1.60	-----
MnSO₄.4H₂O	22,30	4,40	----
Na₂MoO₄.2H₂O	0,25	----	0,25
CuSO₄.5H₂O	0,025	-----	0,025
FeSO₄.7H₂O	27,80	27,85	27,80
FeSO₄.7H₂O	37,30	37,25	37,30
CoC₁₂.6H₂O	0,025	-----	0,025
Glicina	2,00	2,00	----
Tiamina –HCl	0,10	1,00	10,00
Piridoxina –HCl	0,50	0,50	1,00
Ácido	Nicotínico	0,50	0,50
1,00			
Mioinositol	100,00		
Sacarosa	30.000,00	50.000,00	20.000,00
PH	5,7	5,8	5,5

Fuente: Tomado y adaptado de Abdelnour & Escalant (1994).

5.20.5. pH del medio

Considerando que el pH inicial del medio de cultivo debe oscilar entre 5.5 y 6.0 debe tenerse en cuenta que este tiende a variar conforme avanza el desarrollo del cultivo. En este sentido, los daños a los tejidos vegetales no están asociados a los efectos del pH en explante, más si a la disponibilidad de iones y a la absorción de nutrientes (George, 2008).

5.21. Reguladores de crecimiento hormonal

El funcionamiento normal de los organismos pluricelulares exige mecanismos precisos de regulación que permitan una perfecta coordinación de las actividades de sus células, tejidos y órganos. Además, el organismo debe ser capaz de percibir y responder a las fluctuaciones de su ambiente. Entre los posibles mecanismos de regulación, el más conocido es el sistema de mensajeros químicos (señales químicas), que permite la comunicación entre las células y coordina sus actividades. En las plantas, la comunicación química se establece fundamentalmente a través de hormonas (o fitohormonas) (Azcon & Talón, 2008).

Las hormonas vegetales (fitohormonas) pueden ser definidas como un grupo de sustancias orgánicas, sintetizadas por las plantas, que tienen la capacidad de afectar a los procesos fisiológicos en concentraciones mucho más bajas que los nutrientes o las vitaminas ($< 1\text{mM}$, frecuentemente $< 1\ \mu\text{M}$). El control de la respuesta hormonal se lleva a cabo a través de cambios en la concentración y la sensibilidad de los tejidos a las hormonas (Azcon & Talón, 2008).

Las hormonas vegetales son un grupo de moléculas pequeñas de naturaleza química diversa que controlan procesos, que van desde el crecimiento y desarrollo de la planta, hasta su respuesta frente al estrés biótico y abiótico (Chávez, Álvarez, & Ramírez, 2012).

5.21.1. Auxinas

Las auxinas corresponden a un grupo de hormonas que codifican diversos procesos en el normal crecimiento y desarrollo de las plantas. Básicamente están asociadas a elongación celular, ejemplo de las auxinas tenemos al ácido indolacético (IAA) y el ácido Indol Butírico (AIB) (Jordan & Casaretto, 2006).

Existen también auxinas sintéticas entre estas las derivadas de los ácidos indólicos, los ácidos naftalénicos, los ácidos clorofenoxiácidos, y aquellos derivados de los ácidos benzoico y picolínico (Acosta, Sánchez, & Bañón, 2008).

El uso de estas hormonas en altas concentraciones puede presentar un comportamiento herbicida o fitotóxico para la planta.

Entre los efectos de las auxinas se encuentran la elongación celular, la inhibición en el crecimiento de las yemas laterales, promueve el desarrollo de las raíces laterales, favorecen el desarrollo de los frutos, la dominancia apical y actúa como regulador fisiológico (Acosta, Sánchez, & Bañón, 2008).

5.21.2. Citoquinas

Las citoquininas son otro grupo de hormonas asociados a procesos de división celular en presencia de auxinas. Como ejemplo de ellas tenemos las 6-N-Bencilaminopurina (6-BAP), las cuales están involucradas en división y diferenciación celular su celular su síntesis se da a nivel de los meristemos de la raíz y en diversos tejidos como tallos, raíces y hojas (Segura, J., 2008).

Además de los efectos ya indicados, las citoquinas tienen implicancia en la morfogénesis, en el retraso de la senescencia y en la síntesis de clorofila (Segura, 2008).

5.21.3. Giberelinas

Este grupo de hormonas como el ácido giberélico está asociado tanto en la elongación como en la división celular, las giberelinas son sintetizadas en la zona apical tanto en frutos como en semillas también están involucradas en la distribución del calcio en los tejidos. Los efectos más evidentes se observan en la estimulación del crecimiento del tallo, la inducción del desarrollo del fruto y la germinación de las semillas (Iglesias & Talón, 2008).

Se reconocen a las giberelinas como componentes concluyentes en el control de la elongación del tallo y en procesos de rejuvenecimiento en algunas plantas. Se ha comprobado también su participación en procesos reproductivos de las plantas regulando la inducción de la floración, el crecimiento y reproducción de las flores como también en el cuajado, y en el desarrollo y maduración de los frutos (Iglesias & Talón, 2008). Etileno

El etileno es una hormona gaseosa que acelera la maduración de los frutos, comercialmente se utiliza cuando se requiere acelerar este proceso. Además de acelerar la maduración de frutos, promueve la abscisión de hojas, flores y frutos; está involucrado en la epinastia o doblamiento de la planta, en la formación de raíces y en algunos casos puede inducir a feminidad en flores (Jordan & Casaretto, 2006).

5.21.4. Ácido abscísico

El ácido abscísico es otra hormona de crecimiento que regula la maduración y la latencia de semillas es sintetizada en plastidios particularmente clorofila y se produce en respuesta a estreses ambientales. El ácido abscísico también regula la apertura estomática previniendo la pérdida de agua por transpiración (Zacarías & Lafuente, 2008).

Entre los efectos más comunes del ácido abscísico se encuentra la regulación del crecimiento, la inducción a la latencia de yemas y semillas, la inhibición del crecimiento de los tallos, la inducción a la senescencia de las hojas (Zacarías & Lafuente, 2008).

5.22. Micropropagación

La micropropagación se entiende como la capacidad de producir plantas en ambientes artificiales, tomando como principio la totipotencia que les permite a las células vegetales regenerar una planta completa contando con las condiciones adecuadas. Esta técnica es muy utilizada en la regeneración y mejoramiento de especies vegetales ya que partiendo de un genotipo selecto se logra multiplicar a gran escala, uniformidad y calidad plantas para diferentes propósitos (Olmos, Luciani, & Galdeano, 2004).

5.22.1. Etapas de la micropropagación *in vitro*

Castillo, A. (2008). Indica que dentro del proceso de micropropagación se diferencian varias fases o etapas:

- Fase 0: Selección y Preparación de la planta madre

Se recomienda obtener explantes en óptimas condiciones de nutrición y desarrollo, provenientes de plantas donadoras cultivadas en condiciones de asepsia en invernaderos, con lo cual se garantiza obtener materiales uniformes, libre de plagas y enfermedades

- Fase 1: Desinfección de las yemas de la planta y/o desinfección de semillas

A partir de las plantas madres previamente seleccionadas se extraen los explantes consistentes en yemas, secciones de hojas, raíces, meristemas, semillas etc. Es importante realizar desinfección a los fragmentos obtenidos de plantas madres para eludir cualquier tipo de microorganismos contaminante. Entre estos, hongos y bacterias los cuales son las más comunes

en el ambiente. Una vez desinfectado el material vegetal, se debe mantener en condiciones de asepsia. Todo el proceso de obtención de explante se realiza en condiciones de asepsia en cabina de flujo laminar, garantizando así la viabilidad fitosanitaria de los medios de cultivo y las plantas a obtener.

- Fase 2: introducción del material seleccionado in vitro

El paso siguiente en esta fase consiste en depositar los explante en medio de cultivo estéril, dependiendo del material seleccionado, en unas semanas 1 o 2 o más inicia el proceso de germinación o regeneración de los tejidos vegetales con lo cual se da inicio al ciclo del cultivo in vitro.

- Fase 3: Multiplicación de brotes

A partir de los explantes obtenidos de las fases anteriores se obtendrán brotes a partir de los cuales se cultivarán las yemas en medio de cultivo. Habitualmente los nuevos brotes son subcultivados en un nuevo medio de cultivo realizando así nuevas divisiones y resiembras en nuevos recipientes garantizando así la multiplicación o aumento de las plantas. Todas estas labores son realizadas en condiciones de asepsia.

- Fase 4: Elección de un medio de enraizamiento de los explantos

Durante esta fase se tiene como propósito trasladar los brotes obtenidos en la fase de multiplicación a un medio excepto de hormonas o que solo contenga auxinas, con el propósito de enraizar los explantes. Algunas especies no requieren de esta etapa ya que suelen echar raíces en la fase previa sucediendo el proceso de multiplicación y enraizamiento simultáneamente.

- Fase 5: Aclimatación de los explantos enraizados.

En la fase de aclimatación se garantiza que las recientes plantas no sean expuestas a los cambios ambientales de manera brusca, por lo tanto, para garantizar el éxito de las plantas es

recomendable ir adaptándolas gradualmente a condiciones naturales a efectos de que se vayan familiarizando con su nuevo ambiente. Ya que al haber estado las plantas en condiciones artificiales tienen estructuras no funcionales que afectan procesos como la transpiración, la pérdida de agua y la desecación de los explantes.

En la propagación *in vitro* las dos vías principales utilizadas en la regeneración de plantas son la organogénesis y la embriogénesis somática. La primera se basa en la abolición de la dominancia apical y la proliferación de yemas axilares o adventicias y la segunda es la formación de embriones a partir de células somáticas (Vasil, 1994).

La organogénesis puede darse por inducción de yemas axilares o adventicias. La inducción de yemas axilares comprende la multiplicación de yemas preformadas, usualmente sin formación de callo. La inducción de yemas adventicias comprende la inducción de tejido meristemático localizado mediante un tratamiento con reguladores de crecimiento, conduciendo a la diferenciación del primordio y desarrollo del vástago, esto último generalmente en ausencia del regulador de crecimiento que indujo la organogénesis (Olmos, Luciani, & Galdeano, 2004).

La embriogénesis somática es una vía más conveniente porque permite saltar las etapas de formación de yemas y enraizamiento, regenerando plantas en una forma mucho más rápida y eficiente. A su vez, la disponibilidad de protocolos para la obtención de embriones somáticos es clave para la automatización de la micropropagación y la consecuente reducción de costos para su implementación a escala comercial (Olmos *et al.* 2004).

5.23. Organogénesis

Proceso morfogénético que se realiza vía diferenciación de órganos vegetativos generándose así la obtención de una planta completa a partir de brotes, yemas adventicias etc. con su posterior

enraizamiento. Si los brotes se forman directamente del explante, hablamos de organogénesis directa en cambio cuando la formación de brotes se origina a partir de callos estamos en presencia de organogénesis indirecta (Kessel, 2008).

5.24. Embriogénesis somática

Vilchez Perozo, J. A. (2016) citando a von Arnold *et al.*, (2002). La embriogénesis somática es la vía del desarrollo celular mediante la cual las células somáticas dan lugar a estructuras semejantes a embriones cigóticos (organización bipolar sin conexión vascular al tejido parental).

En este proceso se obtienen estructuras similares a un embrión cigótico sin la mediación de interacciones gamética que conlleven a la fecundación (Kessel, 2008). Siendo utilizado frecuentemente en la propagación clonal por sus variantes aplicaciones, su potencial de rendimiento al obtener miles de embriones somáticos con pocos gramos o mililitros de cultivos celular en suspensión, convirtiéndose pues así la embriogénesis somática en una de las herramientas biotecnológicas indispensable para la regeneración y mejoras de especies vegetales.

Según Deo, Tyagi, Taylor, Harding, & Harding, (2010), la regeneración u obtención de plantas por la vía de la embriogénesis somática presenta algunas ventajas frente a otros tipos de propagación clonal entre estas tenemos:

- Posibilidad de cultivar en gran proporción embriones somáticos aptos para la regeneración de plantas.
- Reducción de tiempos al desaparecer la etapa de enraizamiento la cual si está presente en otros tipos de cultivo in vitros.
- Crecimiento a gran escala sin incurrir en demasiados costos laborales.

- Posibilidad de hacer coincidir la formación embrionaria y la germinación reduciendo así costos de operación.
- Al ser posible la inducción de la dormancia los embriones pueden ser almacenados por largos periodos.

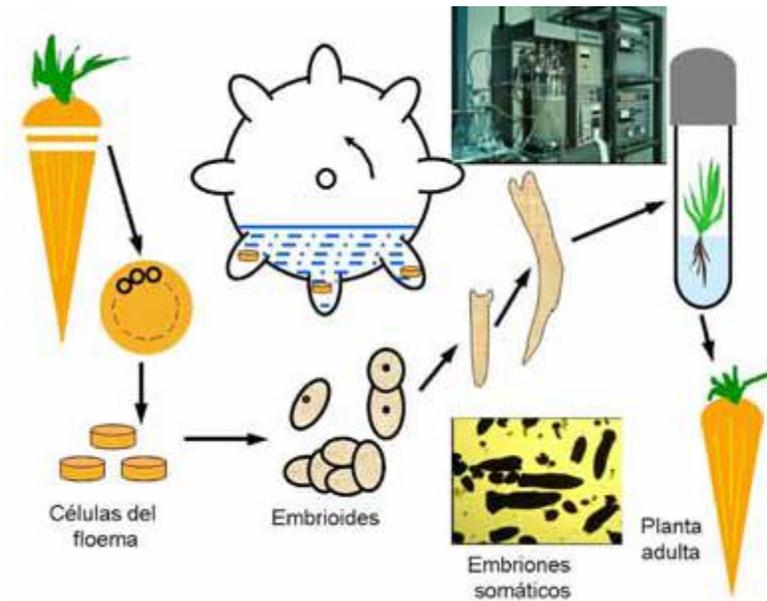


Figura 9. Embriogénesis somática en zanahoria. Fuente: Olmos S. et.al. (2004).

6. PRESENTACIÓN DE TRABAJOS REALIZADOS EN LA MICROPOPAGACIÓN DE *BACTRIS GASIPAES* KUNT.

A continuación, se relacionan algunos estudios relevantes realizados en el proceso de micropropagación de *B. gasipaes* Kunt.

Autores como Arias & Huete (1983), reportaron por primera vez la regeneración in vitro de la plántula de chontaduro por vía organogénesis indirecta Valverde *et al* (1987) y posteriormente Stein y Stephens (1991) reportan estudios sobre la regeneración de *B. gasipaes* por vía embriogénesis somática. En este mismo sentido, Almeida & Kerbauy (1996) propagan planta de chontaduro por embriogénesis directa.

En estos primeros intentos por contar con un protocolo eficiente en la regeneración clonal de plántulas de *B. gasipaes*, Arias (1985) reporto repuestas morfogénéticas en diferentes tejidos sin evidencias de regeneración de plantas.

En el protocolo establecido por Valverde *et al.* (1987) se describió la regeneración in vitro de la palma de *B. gasipaes* obteniendo diez callos embriogénicos, cada uno de los callos produciendo 2-8 embriones somáticos. En el protocolo descrito por Stein y Stephens (1991), sólo se establecieron cuatro cultivos de callos, produciendo más de 10 mudas por cultivo, Almeida y Kerbauy (1996) usaron como explante inflorescencia inmadura de *B. gasipaes* logrando describir un protocolo para la regeneración por medio de la organogénesis.

Steinmacher *et al.*, (2007b) lograron describir un protocolo completo para la regeneración completa de *B. gasipaes* utilizando embriones zigóticos maduros como explantes, siendo este el primer paso para el desarrollo de un protocolo confiable a utilizar en la multiplicación a gran escala de la palma de chontaduro.

En este estudio, los análisis histológicos mostraron que la regeneración de las plántulas ocurrió a través de la embriogénesis somática y las plántulas regeneradas fueron aclimatadas con éxito (Steinmacher et al., 2007b).

En otro estudio Steinmacher *et al.* (2007c) a través del uso de inflorescencia de *B. gasipaes* como explante, describió la inducción, desarrollo y conversión de embriones somáticos.

Siguiendo con Steinmacher et al., (2007d) aplicando la técnica de capa fina de células reporto la formación de embriogénesis somática utilizando como explante la base de hojas jóvenes y ápices caulinares.

Almeida, Marcílio de, & Almeida, Cristina Vieira de. (2006). En su artículo Embriogénesis somática y regeneración de plantas in vitro utilizando primordios foliares de plantas adultas de *B. gasipaes* lograron regenerar plantas normales mediante la evaluación de un protocolo de regeneración de plantas por medio de embriones somáticos.

Más recientemente Steinmacher et al. (2011) comprobó la formación de aglomerados de embriones somáticos de *B. gasipaes* a partir de la embriogénesis somática secundaria. En este trabajo también se observó que los cultivos inoculados en Sistemas de inmersión temporal (TIS) aumentaban su capacidad regenerativa. Después de la maduración de los embriones somáticos la tasa de conversión quedó en el 30%, y ninguna de las plántulas obtenidas en placas de Petri alcanzó más de 6,4 cm, mientras que el 51% de las plántulas obtenidas en TIS presentaban tamaño mayor a 6,4 cm.

Pesantes (2015), utilizando un sistema de inmersión temporal estableció un protocolo para la multiplicación masiva de la palma de *B. gasipaes*. En este estudio se indujo a la proliferación de callo y posteriormente a la embriogénesis somática.

En Colombia son pocas las investigaciones que se han realizados en propagación *in vitro* de *B. gasipaes* Kunth. Se documentan los trabajos realizados en este sentido, por el grupo de investigación en biodiversidad, biotecnología y bioingeniería – **GRINBIO** de la Universidad de Medellín, entre estos: el desarrollo de un protocolo utilizando medios sólidos para la regeneración *in vitro* de *B. gasipaes* H.B.K vía embriogénesis somática.

De igual forma este mismo grupo de investigación realizo, la evaluación de la estabilidad genética de las plántulas de chontaduro (*B. gasipaes* H.B.K) obtenidas vía embriogénesis somática mediante técnicas moleculares (AFLPs) y la multiplicación masiva de embriones somáticos de chontaduro (*B. gasipaes* H.B.K) en biorreactores (UDEME *s.f*).

Otro avance en este sentido realizado en Colombia es el presentado por Quintero G., O. (2006) en el estudio denominado avances en la micropropagación de cinco especies forestales en la estación biodiversidad de Piedras Blancas de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia - CORANTIOQUIA, aplicando los protocolos establecidos por Garcés y Roldan, (1996) y Botero y Atehortúa logro la propagación *in vitro* de palma de chontaduro (*B. gasipaes* H.B.K.)

Tabla 5.

Descripción de protocolos utilizados en la micropropagación de la palma de chontaduro (B. gasipaes).

Referencia	Explante	Composición del medio de cultivo	Principales resultados y observaciones
Arias & Huete (1983)	Ápices de plantas jóvenes	El medio Murashige y Skoog modificado con diferentes concentraciones de 2,4-D y 6 BAP o del ácido naftalenacético (ANA) y la cinetina (K), fue complementado con Inositol (100 mg l ⁻¹), hidrocarburo de tiamina (0.4 mg l ⁻¹), Sacarosa (3%) 6-benzilaminopurina - BAP (1 a 12 mg l ⁻¹), α naftalenacético – ANA (1 a 10 mg l ⁻¹), 6-furfurilaminopurina – K (0.25 – 2 pmm)	Los ápices de <i>B. gasipaes</i> formaron callos entre los 3 y 4 meses de cultivo. Las dosis 2,4-D que favorecen la formación de callo esta entre 20 y 50 mg l ⁻¹ . Una concentración de 3 y 6 mg l ⁻¹ de BAP en el medio estimula la formación y el desarrollo inicial de los callos. Los tratamientos con ANA en concentraciones de 1.25 mg l ⁻¹ y 10 mg l ⁻¹ favorecen la diferenciación de plántulas al cabo de 8 a 10 meses de cultivo.
Almeida & Kerbauy (1996)	Yemas florales de <i>B. gasipaes</i>	Los explante fueron puesto en un medio de Murashige y Skoog (1962) con 50 mL y	Como resultado de este estudio se logró comprobar el potencial de regeneración de

		<p>posteriormente transferidos a un medio con 1.6 mg L⁻¹ BA durante 3 meses. En la fase siguiente los explante fueron transferido al mismo medio añadiendo las combinaciones de BA y NAA: 0.1 mg L⁻¹ BA + 0.4 mg L⁻¹ NAA; 0.2 mg L⁻¹ BA + 0.8 mg L⁻¹ NAA; 0.4 mg L⁻¹ BA + 1.6 mg L⁻¹ NAA; 0.8 mg L⁻¹ BA + 2.4 mg L⁻¹ NAA y 1.6 mg L⁻¹ BA + 3.2 mg L⁻¹ NA. El pH fue ajustado a 5.8 y se adicionaron 0.8 agar g L⁻¹. (Bacto-Agar, Difco).</p>	<p>las yemas florales de <i>B. gasipaes</i> para formar brotes vegetativos. Los mejores resultados se obtuvieron con 0,8 ml de BA más 2,4 ml de NAA.</p>
Almeida & Almeida (2006)	Primordio s foliares de plantas adultas de chontaduro.	(Murashigue & Skoog, 1962) suplementado con ácido naftalenacético (NAA) y 6 bencilaminopurina (BAP) en las siguientes concentraciones: en el cultivo	<p>Se observo embriogénesis somática directa, ya que no se observó callo en los análisis histológicos.</p> <p>Los primordios de la hoja de <i>B. gasipaes</i> adulto presenta</p>

		<p>inicial (primeras cuatro semanas), sin reguladores de crecimiento; en el primer y segundo período de subcultivo (segundo y tercer mes de cultivo), los explantes se mantuvieron en medio de cultivo con BAP de 7,1 μM y, después de eso (tercer período de subcultivo, cuatro meses), se transfirieron a un medio de cultivo agregado con 12.9 μM NAA y 3.55 μM BAP. El valor de pH de todos los medios de cultivo se ajustó a 5,8 antes de la adición de Agar (Merck) al 0,45% (v / v).</p>	<p>una alta capacidad de respuesta morfogénica directa al tratamiento con auxina y citoquinina, lo que induce el desarrollo de embriones somáticos que regeneran plantas normales, sin la necesidad de usar el choque de auxina.</p>
Valverde et al. (1987)	ápices de B. gasipaes.	<p>El medio líquido consistió en Murashige y Skoog (1962) modificado el NH_4NO_3 por NH_4Cl (535mg/L), el KNO_3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se observó embriogénesis somática y organogénesis al mismo tiempo en el callo. • La organogénesis fue más

		<p>aumento a 2528 mg/L se le agregaron 0,06 mg/L de picloram, 5 mg/L de 6 BA y después de 3 meses el picloram se redujo a 0,03 mg/L.</p>	<p>frecuente que la embriogénesis somática.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las plantas fueron regeneradas y aclimatadas en invernadero.
<p>Steinmacher et al. (2007)</p>	<p>TCL de brotes de la región meristemática de plántulas germinadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Germinación del embrión cigótico: MS, vitaminas del grupo MW, sacarosa 30 g, 1,5 g AC, agar 7g, condiciones de luz. • Inducción de callos: SBM sin agar y con 0,5 g de glutamina y Phytigel 2.5g, en condiciones oscuras o <p>Comparación: picloram de 0, 150, 300 o 600 μM.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maduración: SBM con 40μM 2,4-D, 10μM 2ip, 1 g de glutamina, 0,5 g de hidrolizado de caseína, condiciones oscuras 	<ul style="list-style-type: none"> • Picloram fue esencial para el inicio del cultivo, ya que en todos los tratamientos con picloram se observaron respuesta en el tejido. • Las regiones TCL con la mayor formación de callos primarios fueron secciones del meristema con tasas de respuesta que disminuyen rápidamente más alejadas del meristema. • Las regiones meristemáticas dieron lugar al mayor porcentaje de explantes que forman callos embriogénicos

		<ul style="list-style-type: none"> • Conversión: SBM con 24.6μM 2ip y 0.44μM NAA 	<p>con el tratamiento con picloram de 300 μM que tiene la mayor tasa de regeneración.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las plantas fueron regeneradas exitosamente a partir de embriones somáticos y aclimatadas con éxito.
Steinmacher et.al. (2011)	Embrión zigóticos maduro	<ul style="list-style-type: none"> • Inducción ES: sales MS, vitaminas MW, 30 g de sacarosa, 500 mg de glutamina, 2,5 g de gelita, nitrato de plata 1 μM y picloram 10 μM, e condiciones oscuras • Multiplicación: SBM o Comparación: Medios sólidos o líquidos en un sistema de inmersión temporal de matraz doble (TIS) • Maduración: SBM con 40μM 2,4-D y 10μM 2ip, 1.5 g de CA, 1 g de glutamina, 	<ul style="list-style-type: none"> • Embriogénesis secundaria. El sistema de Inmersión Temporal (TIS), mejoró enormemente el número de embriones somáticos producidos durante la multiplicación. • El sistema de Inmersión Temporal (TIS) incrementó el crecimiento de las plántulas en altura, % de enraizamiento y número de raíces por plántula. • La tasa de supervivencia de las plántulas de embriones somáticos cultivados en

		<p>500 mg de caseína hidrolizada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conversión: SBM con 20μM 2ip y 0.5μM NAA, condiciones de luz • Conversión secundaria: SBM con 1.5g AC. 	<p>medios sólidos fue significativamente mayor que las plántulas del sistema TIS.</p>
<p>Pesantes (2015)</p>	<p>5cm de hojas jóvenes adyacentes al área meristemática</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inducción de callo: 2,4-D, BAP, picloram y L-glutamina como fitoreguladores. • Inducción de la embriogénesis: Medio de cultivo suplementado con BAP 1.6mg/L o picloram 10μM y Lglutamina 500mg/L. Los pro-embriones obtenidos fueron madurados en un medio de cultivo con carbón activado, 2,4-D 40μM, 2-iP 10μM y L-glutamina 1g/L. 	<p>Se formularon medios de cultivo para la inducción de callo a partir hojas jóvenes establecidas a condiciones in vitro.</p> <p>Se demostró que las concentraciones de 2,4-D entre 0.5 y 1.5 mg/L son adecuadas para la obtención de este tipo de callo.</p> <p>Se logró inducir, con el uso de fitoreguladores, la embriogénesis somática obteniendo embriones somáticos en plantas de</p>

			palmito. Se obtuvieron radículas además de embriones en la etapa de maduración de pro-embriones.
Heringer (2013)	embrión cigótico	<ul style="list-style-type: none"> • Inducción. MS (Murashige y Skoog 1962) complementado con vitaminas Morel y Wetmore (1951), sacarosa al 3% (p / v), 500 mg de glutamina -1 (Sigma), 2,5 g de l-1 Sigma-Phytigel TM, AgNO₃ 1 μM y Picloram [ácido 4-amino-3,5,6-tricloropicolínico (Sigma) 1 μM]. • Multiplicación: MS (Murashige y Skoog 1962) con los mismos componentes utilizados en la inducción de embriones somáticos sin AgNO₃, y la adición de 2,5 g l-1 de Sigma-Phytigel TM 	El protocolo de embriogénesis somática desarrollado demostró una alta eficiencia para la multiplicación, maduración de los embriones somáticos y producción de plántulas de <i>B.gasipaes</i> y enfatiza la importancia de modificar sistemas de cultivo en las diferentes etapas del protocolo resultando en alta calidad de embriones somáticos , acortando el tiempo y aumentando el número de plántulas al final del proceso.

		<ul style="list-style-type: none">• Maduración: Se utilizo 0,2 g de material proveniente de la fase de multiplicación, pero con un medio de cultivo de maduración consistente en MS suplementado con vitaminas Morel y Wetmore, 3% (p / v) de sacarosa, 500 mg Glutamina l-1 (Sigma) y ABA 5 μM [ácido abscísico (Sigma)].• Conversión: Se mantuvieron 0,2 g de cultivo de la fase de maduración sometiendo los embriones a medios de cultivo de conversión suplementado con MS con vitaminas Morel y Wetmore, 3% (p / v) de sacarosa, 500 mg l-1 de glutamina (Sigma) y 20 μM de 2-iP (2- isopentiladenina) y NAA 0,5 μM (ácido α-	
--	--	---	--

		naftalenacético).	
Forero (2015)	Ápices de plantas de <i>B.g.</i> Embriones cigóticos de frutos maduros.	Medio de Gamborg con 14 mg/l-1 BAP, 5 mg/l-1 ANA, 5 mg/l-1 de carbón activado y 10 mg/l-1 de kanamicina (Hernández y Alvarado de González 2003). En ensayos posteriores se usó MS con 2 mg/l-1 AG. Los embriones cigóticos se cultivaron en medio MS con AG 1, 2, 3, 4, 5 mg/l-1 y MS solo; 5 embriones cigóticos por tratamiento, bajo luz indirecta a 25°C, durante cuatro meses.	Se observó crecimiento de los embriones cigóticos, hasta la regeneración de hojas y raíces, en todas las concentraciones de AG; las plantas mejor formadas se obtuvieron en medio MS con 2 y 4 mg·l-1 AG, por lo tanto, se seleccionó el medio que lleva menor cantidad de regulador de crecimiento, MS+2 mg·l-1 AG. Ensayos posteriores, permitieron regenerar plantas sanas, de aproximadamente 4 cm de altura, con una o dos hojas.
Quintero (2006).	Ápices caulinares, aislados de plantas de menos de un	• Siembra: Sales Murashige & Skoog, (1962) completo, suplementado con 1.0 mg/L de biotina, 5.7µM de AIA, 9µM de 2-4 D, 8.3µM de	Se observó la formación de embriones logrando la regeneración completa de la palma de <i>B. gasipaes</i> .

	año.	<p>piclorám, 5.4μM de ANA, 0.16% (p/v) de Fitagel, 3% (p/v) de sacarosa y agua de coco 15% (v/v).</p> <ul style="list-style-type: none">• Inducción de embriones y multiplicación: Murashige & Skoog, 1962) completo, suplementado con 1.0 mg/L de biotina, 22.8μM de AIA, 9μM de 2-4 D, 5.4μM de ANA, 0.16% (p/v) de Fitagel, 3% (p/v) de sacarosa, y agua de coco 15% (v/v). El pH del medio fue ajustado a 5,7 antes de ser esterilizado a 121°C por 20 minutos.• Bioconversión de los embriones en plántulas: MS (Murashige & Skoog, 1962) completo, suplementado con Biotina 1.0 mg/L, 0.16% (p/v) de Fitagel, 3% (p/v) de	
--	------	--	--

		<p>sacarosa. El pH del medio fue ajustado a 5,7 antes de ser esterilizado a 121°C por 20 minutos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enraizamiento: MS (Murashige & Skoog, 1962) concentración, con sus respectivas vitaminas y suplementado con 2,5µM de AIB, 1.5% (p/v) de sacarosa, 0.2 % (p/v) de fitagel a un pH de 5,7 y mantenidos con un fotoperíodo de 12 horas a 23 ±1°C. 	
Campos Boza (2017)	Técnica de capa fina de células.	<p>Inducción: se utilizaron 15 tratamientos de medios de cultivo con 5 concentraciones variables de picloram entre 150 a 750 (µM).</p> <p>Cada tratamiento utilizó el medio de cultivo con las sales minerales MS (Murashige y</p>	<p>Se observó la formación de callos embriogénicos y por ende embriones somáticos en cada uno de los tratamientos utilizados.</p> <p>Formación de plántulas en la fase de conversión. La formación de las plántulas de</p>

		<p>Skoog 1962) suplementadas con tiamina-HCl (0,1 mg/l), piridoxina-HCl (0,5 mg/l), ácido nicotínico (0,5 mg/l), myo-inositol (100 mg/l), pantotenato de calcio (1 mg/ml), biotina (0,01 mg/ml), glutamina (500 mg/l), sacarosa (3% p/v) y carbón activado (1,5 g/l); con un pH de 5,8 (ajustado con KOH) y gelificado con Phytigel.</p> <p>Desarrollo: consistió en el mismo medio de cultivo de la fase de inducción, pero con una disminución en la dosis de picloram (10 μM).</p> <p>Conversión: en esta fase el picloram es sustituido por ABA (5 μM) en placas Petri y siempre en condiciones de oscuridad a una temperatura</p>	<p>forma múltiple y en macolla (más de una planta por explante), evidenció parte de las ventajas de la embriogénesis somática, en cuanto a la producción a mayor escala de plantas completas, gracias a la estructura bipolar con ápices de tallo y raíz (Steinmacher et al. 2013, Viñas y Jiménez 2011).</p>
--	--	--	---

		<p>de 24°, por un periodo de dos semanas.</p> <p>Finalmente, dichos explantes se transfirieron a un medio de cultivo en ausencia de reguladores de crecimiento vegetal, en frascos gerber y en condiciones de luz a una temperatura de 24°C, con la finalidad de formar plántulas.</p>	
--	--	--	--

Fuente: elaboración propia en base a: Arias & Huete (1983); (Almeida & Kerbaui (1996); Almeida & Almeida (2006); Forero (2015); Heringer (2013); Pesantes (2015); Quintero (2006); Steinmacher et al. (2007); Steinmacher et al. (2011); Valverde (1987) y Campos Boza (2017).

7. CONCLUSIONES

- Se logro recopilar información científica sobre el género *B. gasipaes* consultando bases de datos, informes, tesis etc. Lo cual permitió identificar las técnicas biotecnológicas que en materia de propagación clonal se aplican a la micropropagación y multiplicación del género *B. gasipaes*.
- Entre las técnicas de propagación *in vitro* revisadas en los protocolos la embriogénesis somática demostró ser la más utilizada en las diferentes etapas permitiendo acortar tiempo y aumentando el número de plántulas al final del proceso.
- Producto del análisis bibliográfico se identificaron 11 protocolos utilizados en la propagación *in vitro* de la palma de *B. gasipaes* (chontaduro) indicando medios de cultivos, componentes, dosis y principales resultados.
- Se determino como principales adelantos biotecnológicos aplicados a la propagación clonal del chontaduro (*B. gasipaes*), los sistemas de inmersión temporal (SIT), la técnica de capa fina de células constituyendo así aplicaciones biotecnológicas fundamentales para la propagación clonal del chontaduro.
- La baja tasa de multiplicación y sobrevivencia que presenta la propagación vegetativa en el chontaduro constituyen a la propagación *in vitro* como la mejor opción para la propagación clonal masiva de esta especie.
- A pesar de que el Chontaduro es considerado una especie recalcitrante a la propagación por medio de cultivo *in vitro* las investigaciones demuestran la viabilidad de las herramientas biotecnológicas en la regeneración *in vitro* de esta especie.

- En Colombia son pocos los estudios realizados en propagación *in vitro* de la especie *Bactris gasipaes*.

8. RECOMENDACIONES

Realizar estudios biotecnológicos que permitan optimizar protocolos de propagación clonal de la especie.

Promover investigaciones tanto en campo como en laboratorio que permitan implementar herramientas biotecnológicas para el control de insectos plagas en especial (*Rhynchophorus palmarum*).

Se recomienda transferir los resultados de las técnicas biotecnológicas en la propagación clonal del chontaduro a los productores.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Abdelnour, A., & Escalant, J. (1994). Conceptos básicos del cultivo de tejidos vegetales. *Centro Agronómico Tropical de Investigación*. Costa Rica.
- Acosta, M., Sánchez, J., & Bañón, M. (2008). Auxinas. En J. Azcón, & M. Talón, *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (págs. 377-397). Madrid, España: Universitat de Barcelona.
- Agro-Bio. (2016). Una historia de logros importantes para la agricultura. *Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola*. Obtenido de <http://www.agrobio.org/biotecnologia-linea-del-tiempo-agrobio/>
- Almeida, M., & Almeida, C. V. (2006). Somatic embryogenesis and in vitro plant regeneration from pejibaye adult plant leaf primordia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(9), 1449-1452. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000900015>
- Almeida, M., & Kerbauy, G. (1996). Micropropagation of *Bactris gasipaes* (PALMAE) THROUGH FLOWER BUD CULTURE. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal.*, 8(3).
- Arias, O., & Huete, V. (1983). Propagación vegetativa in vitro de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B. K.). *Turrialba (IICA)* v, 33, 103-108.
- Azcon, J., & Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. *McGraw-Hill Interamericana*. Obtenido de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- BOTECH. (2013). Biotechnology timeline celebrating innovation in biotechnology. *European Biotech Week*. Obtenido de <http://www.biotechweek.org/>

- Campos Boza, S. (2017). Utilización de la técnica de capa fina de células para la propagación de pejíbaya (*Bactris gasipaes* Kunth) mediante embriogénesis somática. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4877/1/42259.pdf>
- Cardone, S., Olmos, S., & Echenique, V. (2010). Variación somaclonal. En V. Echenique, C. Rubinstein, E. Hopp, & L. Mroginski, *Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II* (págs. 229-241).
- Castillo, A. (2008). Propagación de plantas por cultivo in vitro: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo. *Unidad de Biotecnología, INIA Las Brujas*. Uruguay. Obtenido de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=UY2006005431>
- Chávez, L., Álvarez, A., & Ramírez, R. (2012). Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico. *Cultivos Tropicales*, 33(3), 47-56.
- Crane, J. (2013). Pejíbaya (Peach Palm) Growing in the Florida Home Landscape. Obtenido de <http://edis.ifas.ufl.edu/hs312>
- Deo, P., Tyagi, A., Taylor, M., Harding, R., & Harding, D. (2010). Factors affecting somatic embryogenesis and transformation in modern plant breeding. *The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences*, 28(1).
- Dhlamini, Z. (2009). Agricultural Biotechnology. En: Biosafety of Genetically Modified Organisms: Basic concepts, methods and issues. *Chowdhury MKA, Hoque MI & Sonnino A (Eds.) pp 1-50. ©.FAO.*
- Echenique, V., Rubinstein, C., Mroginski, L., Levitus, G., & Hopp, E. (s.f.). Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II. *Ediciones INTA*. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/47730652/bio_WEB.pdf?AWSAccess

sKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1553226977&Signature=qG8UTC%2F5CHClI0UxrS8XNNFZRag%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DInst_it_ut_o_Nacional_de_Tecnologia_

Echenique, V., Rubinstein, C., Mroginski, L., Levitus, G., & Hopp, E. (2004). Biotecnología y mejoramiento vegetal II.

Escobar, C., & Zuluaga, J. (2002). Cultivo de chontaduro para palmito (*Bactris gasipaes* HBK): manejo agroforestal. *Innovación & Cambio Tecnológico*, 2(3).

Forero, C. (2015). MICROPROPAGACIÓN DE PIFÁ (*Bactris gasipaes* Kunth).

George, E. (2008). Micropropagation: Uses and Methods. . *IN: Plant Propagation by Tissue Culture. 3rd. Edition.*

Giraldo, A., Dufour , D., Rivera , A., Sanchez , T., Scheldeman, X., & Gonzáles , A. (2009).

Estudio de la diversidad del chontaduro (*Bactris gasipaes*) consumido en Colombia.

Heringer, A. S. (2013). Embriogênese somática e criopreservação de embriões somáticos em pupunha (*Bactris Gasipaes* Kunth). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/30387294.pdf>

Hernández , J., Mora Urpí, J., & Rocha, O. (2008). Diversidad genética y relaciones de parentesco de las poblaciones silvestres y cultivadas de pejibaye (*Bactris gasipaes*, Palmae), utilizando marcadores microsatelitales. *Revista de Biología Tropical*, 56(1). Obtenido de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442008000100016

Iglesias, D., & Talón, M. (2008). Giberelinas. En J. Azcón, & M. Talón, *Fundamentos de fisiología vegetal* (págs. 399-420). Madrid: McGraw-Hill.

Jordan, M., & Casaretto, J. (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas. *Squeo, F, A., & Cardemil, L.(eds.). Fisiología Vegetal*, 1-28.

Kessel, A. (2008). Aplicación de técnicas biotecnológicas en frutales, una vía valiosa para el rescate y la conservación de estas especies. *Cultivos Tropicales*, 29(3), 27-37. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362008000300005&lng=es&tlng=es.

Krikorian, A. D. (1991). Propagación clonal in vitro. Cultivo de Tejidos en la Agricultura: *Fundamentos y Aplicaciones. CIAT*, 95-125. Cali, Colombia. Obtenido de http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Cultivo%20de%20Tejidos%20en%20la%20Agricultura/capitulo5_parte1.pdf

Meléndez, M. (2012). *Efecto de los reguladores de crecimiento vegetal y el endospermo líquido de coco en la supervivencia y proliferación de callos embriogénicos de aguaje (Mauritia flexuosa Lf)*. Obtenido de <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/1153/ITEM%4011458-411.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mora, J., & Solís, E. (1980). Polinización en *Bactris gasipaes* H.B.K. (Palmae). *Revista de biología tropical*, 28(1). Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/25637>

Mora, J., Weber, J., & Clement, C. (1997). Peach Palm *Bactris gasipaes* Kunth. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.20. Obtenido de https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Peach_palm__Bactris_gasipaes_Kunth_155.pdf

- Morán, T. (2015). *Evaluación del proceso de obtención de aceite de diferentes variedades de *Bactris gasipaes*, de las zonas costa y amazónica del Ecuador*. (Tesis de grado), Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- Mroginski, L., Sansberro, P., & Flaschland, E. (2010). Establecimiento de cultivos de tejidos vegetales. En G. Levitus, V. Echenique, C. Rubinstein, E. Hopp, & L. Mroginski, *Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II* (págs. 17-25).
- Muñoz, M. (2006). Biotecnología. *Universidad Nacional de Quilmes*.
- Olmos, S., Luciani, G., & Galdeano, E. (2004). Micropropagación. En G. Levitus, V. Echenique, C. Rubinstein, E. Hopp, & L. Mroginski, *Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II* (págs. 353-362).
- Panduro, D. (1993). PROPAGACION VEGETATIVA DE *Bactris gasipaes* Bailey (PIJUAYO). *Folia Amazónica*, 5(1-2). doi:<https://doi.org/10.24841/fa.v5i1-2.218>
- Peña, E., Jaramillo, A., & Carabalí, A. (2014). *Manejo técnico para establecimiento de viveros de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth)*. Palmira, Colombia. Obtenido de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1347?show=full>
- Pérez, D., & Iannacone, J. (2006). Efectividad de extractos botánicos de diez plantas sobre la mortalidad y repelencia de larvas de *Rhynchophorus palmarum* L., insecto plaga del Pijuayo *Bactris gasipaes* Kunth en la Amazonía del Perú. *Agricultura Técnica*, 66(1). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072006000100003>
- Pesantes, S. (2015). *Desarrollo de un sistema de inmersión temporal para la multiplicación masiva de plantas de *Bactris gasipaes**. Tesis de pregrado, Universidad de las Américas, Quito. Obtenido de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/4699>

- Quintero, O. (2006). Avances en la micropropagación de cinco especies forestales en la estación biodiversidad de piedras blancas. Obtenido de http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/FLORA/AIRNR_CN_6571_2006.pdf
- Roca , W., & Ramírez, H. (2000). *Introducción a la biotecnología vegetal*. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37150671/BIOTECNOLOGIA.PDF?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1553214384&Signature=qskTogEnKA5Ayn3A%2BFAhhdNGjjM%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIntroduccion_a_la_Biotecnologi
- Segura, J. (2008). Citoquinas. En J. Azcón, & M. Talcón, *Fisiología y bioquímica vegetal* (págs. 421-444). Madrid: Mac Graw Hill.
- Smith, R. (2012). Plant tissue culture: techniques and experiments. *Academic Press*.
- Steinmacher, D. A., Cangahuala, G., Clement, C., & Guerra, R. (2007). Somatic embryogenesis from peach palm zygotic embryos. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 43(2), 124-132.
- Steinmacher, D. A., Guerra, M. P., Saare-Surminski, K., & Lieberei, R. (2011). A temporary immersion system improves in vitro regeneration of peach palm through secondary somatic embryogenesis. *Annals of Botany*, 108(8).
- Steinmacher, D. A., Jimenez, V. M., & Guerra, M. P. (2013). Somatic embryogenesis and plant regeneration in peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth). *Somatic embryogenesis and genetic transformation in plants*, 1, 75-94. New Dehli.
- Valverde, R., Gomez, L., Arias, O., & Thorpe, T. (1987). RESPUESTA MORFONEGENETICA DE LOS ÁPICES DE PEJIBAYE (*Bactris gasipaes* H.B.K) CULTIVADOS IN VITRO

EN CONDICIONES DE LUZ Y OSCURIDAD. *Agronomía Costarricense*, 11(1), 97-102.

Van Beuzekom , B., & Arundel, A. (2006). Biotechnology Statistics. *OECD*. Obtenido de <https://search.oecd.org/innovation/inno/36760212.pdf>

Vargas, E. (1993). Principales enfermedades del pijuayo en Costa Rica. *En: J. Mora-Urpí et al. (eds). IV Congreso internacional sobre biología, agronomía e industrialización del pijuayo*. Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Vasil, I. (1994). Automation of plant propagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 39(2), 105-108.

Villachica, H. (1996). Cultivo del pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth) para palmito en la Amazonia. Obtenido de http://www.otca.info/portal/admin/_upload/publicacoes/SPT-TCA-PER-43.pdf

Villachica, H. (1996). Cultivo del pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth) para palmito en la Amazonia.

Zacarías, L., & Lafuente, M. (2008). Etileno, ácido abscísico y otros reguladores. En J. Azcón, & M. Talón, *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (págs. 445-465). Madrid: McGraw-Hill.