



REPÚBLICA DE PANAMÁ
— GOBIERNO NACIONAL —

MINISTERIO DE DESARROLLO AGROPECUARIO



ADAPTATION FUND



Fundación
NATURA

Guía sobre

MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL CAFÉ



Importancia y características de los híbridos como estrategia de mejoramiento para enfrentar los efectos adversos del clima, mediante el uso de mayor diversidad genética

Elaborado por William Solano Sánchez CATIE 2021

© Fundación para la Conservación de los Recursos Naturales –Fundación NATURA-. Se autoriza la reproducción de este material para fines educativos y no comerciales sin previo permiso de la Fundación NATURA dando los créditos respectivos.

Fotografía de portada y contraportada:

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Asociación de Productores de Renacimiento (APRE)

Fotografías o figuras de contenido:

Página 8, 10, 12, 13 – CATIE

Autor:

William Solano

Edición y revisión técnica:

Rolando Cerda
Elías de Melo Virginio Filho
Elvin Britton Jiménez

Esta obra deberá citarse de la siguiente manera:

Fundación para la Conservación de los Recursos Naturales –Fundación NATURA- 2020. Mejoramiento genético del café:
Importancia y características de los híbridos como estrategia de mejoramiento para enfrentar los efectos adversos del clima, mediante el uso de mayor diversidad genética. Solano, W. Panamá 2021. 16 pp.

Diseño gráfico:

Distribuidores Publicitarios La Rayuela, S.A.

Primera edición, 2021
200 ejemplares

Impreso en: Panamá

Acrónimos

APRE- Asociación de Productores de Renacimiento.

CATIE- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

CBD- siglas en inglés de la enfermedad de las cerezas del café (Coffee Berry Disease).

CIRAD- Centro de Cooperación Internacional de Investigación Agronómica para el Desarrollo de Francia.

MIDA- Ministerio de Desarrollo Agropecuario.

NATURA - Fundación NATURA.

PROMECAFE- Programa Cooperativo para la Protección y Modernización de la Caficultura en México, Centro América, Panamá y el Caribe.

Contenido

I. Introducción.....	3
II. ¿Y por qué la base genética del café es reducida?.....	5
III. ¿Por qué la estrategia de usar híbridos F1 en el café?.....	6
IV. El Programa de Mejoramiento Genético Centroamericano.....	7
V. Características de los híbridos.....	8
VI. ¿Son los híbridos más resilientes al cambio climático?.....	9
VII. ¿Los híbridos se adaptan a sistemas agroforestales?.....	10
VIII. ¿Puedo propagar los híbridos por semilla?.....	11
IX. Métodos de propagación de los híbridos.....	11
A. Embriogénesis somática.....	11
B. Propagación vegetativa por enraizamiento de microestacas.....	12
X. Perspectivas	14
XI. Conclusión.....	15
XII. Bibliografía.....	16

I. Introducción

El café es, después del agua, la bebida más consumida en el mundo y apoya a un amplio sector que abarca una larga cadena de valor desde el agricultor hasta el consumidor. Dado que la producción de café está en gran parte en manos de pequeños agricultores, el valor de los medios de vida es inmenso, con un estimado de 100 millones de cafetaleros en todo el mundo (Lashermes et al., 1999). La producción comercial se basa en dos especies, *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* Pierre. La calidad en taza (bajo contenido en cafeína y fino aroma) de *C. arabica* la convierte, por mucho, en la especie más importante representando el 70 % de la producción mundial (ICO, 2018). Sin embargo, según lo que nos dicen los especialistas, esta bebida está en peligro de desaparecer debido al cambio climático, ya que las alteraciones en el clima repercutirán directamente en el ciclo del cultivo, así como también en el hábitat de las abejas. Los aumentos de temperatura y el cambio en los regímenes de precipitación, que predicen los modelos de circulación global (GCM), tendrán un efecto desfavorable en las regiones de crecimiento tradicional del café tanto en África como en América (Läderach et al., 2011). En la medida en que los factores bióticos y abióticos afectan al café, se hace necesario mejorar el cultivo; sin embargo, la poca diversidad genética de las actuales variedades comerciales no da para seleccionar nuevos tipos de plantas. De ahí la importancia de las especies silvestres, que pueden tener genes con respuestas a estos problemas. Sin embargo, en el caso de *arabica*, se han degradado los bosques naturales de Etiopía y Sudán del Sur, donde se originó la especie, por lo que se debe recurrir a las colecciones de germoplasma que se recolectaron en los años 60. La colección de CATIE es una de las más importantes del mundo y el 40 % del material conservado es silvestre y es una herramienta valiosa para asegurar la sostenibilidad del cultivo del café.

Este folleto está dirigido a los técnicos y a los productores que trabajan por mejorar la caficultura en medio de los embates climáticos que afectan los medios de vida de la población. Se logra en el marco del proyecto Establecimiento de proyectos de reforestación ribereña y agroforestería con sistemas de café y de conservación de suelos en la subcuenca del río Caisán, Renacimiento, Chiriquí, Panamá, que financia el Fondo de Adaptación, que tiene como entidad implementadora a Fundación Natura y como entidad ejecutora al MIDA; el proyecto es desarrollado por el consorcio CATIE - APRE.

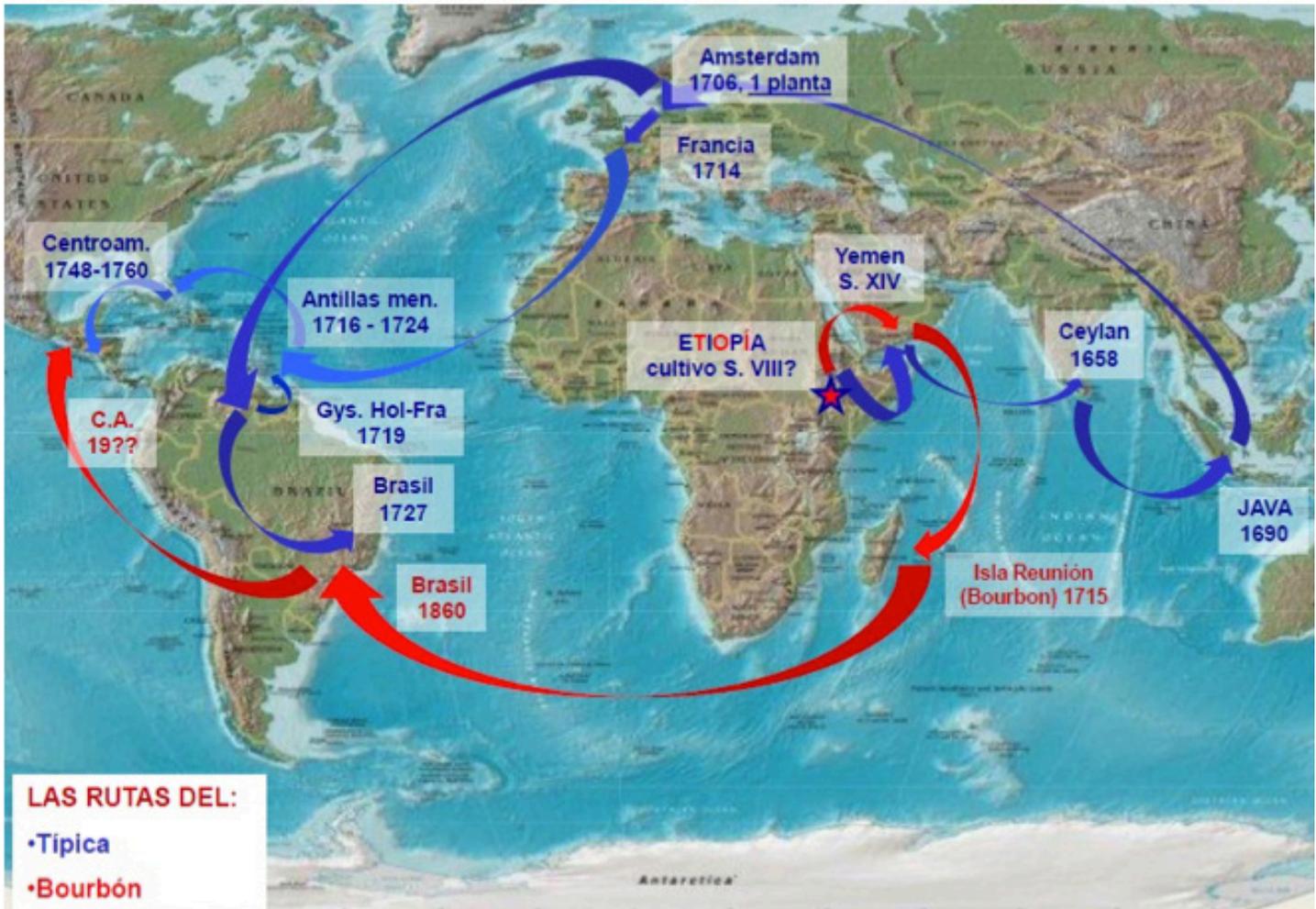


Figura 1. Rutas de distribución del café desde su lugar de origen hasta América

II. ¿Y por qué la base genética del café es reducida?

Las variedades de café más utilizadas comercialmente en América se caracterizan por tener una variabilidad genética muy estrecha. Una razón es la ruta de distribución del café desde su centro de origen (Etiopía) hasta el continente americano. Recordemos que el café es originario de África, específicamente de África del Este, principalmente Etiopía, Kenia y Sudán, y de allí pasó a Yemen, que fue el centro de domesticación. Desde allí tomó 2 rutas: una europea, la del grupo Typica, y otra la del grupo Bourbon. La primera

pasó de Yemen a Holanda, a Francia y de allí a Guyana y Martinica, respectivamente. Posteriormente, unos 150 años después, la ruta del Bourbon fue de Yemen a la Isla de Bourbon (actualmente, isla de La Reunión) y de allí ingresó a Brasil, y hace como 100 años a Centroamérica. Entonces, las plantas que ingresaron al continente fueron quizás menos de 5 (figura 1). Posteriormente, ya a nivel interno, hubo una fuente de variación, producto de mutaciones en Bourbon como Caturra, encontrado en Brasil, o Villa Sarchí,

encontrado en Sarchí, Costa Rica, y Pacas, en El Salvador y en Typica con Maragogipe en Brasil. Más recientemente, la fuente de variación fue producto del cruce del híbrido de Timor con Caturra para originar los Catimores y el híbrido de Timor con Villa Sarchí para originar a los Sarchimores. En resumen, todas las variedades de café de Centroamérica se originaron a través de selecciones genealógicas de un número bastante reducido de individuos: Typica, Bourbón y, en menor grado, las descendencias del híbrido de Timor (Bertrand *et al.*, 2005); por lo tanto, su variabilidad genética es muy reducida, lo que produce una condición de alta vulnerabilidad, ya que, si se produce una afectación biótica, como la roya en 2012, casi todos los materiales son susceptibles y se verían afectados.

La otra razón descubierta recientemente es que, mediante un análisis de la diversidad

genética de la especie y su relación con la distribución geográfica y los registros históricos, se observó una estructura de población débil debido a alelos derivados de baja frecuencia y valores altamente negativos de D de Tajima, lo que sugiere un cuello de botella reciente y severo, muy probablemente como resultado de un solo evento de poliploidización, no solo para el germoplasma cultivado, sino también para toda la especie. Los niveles extremadamente bajos de variación observados en la especie, como consecuencia del evento de poliploidización, hacen que la explotación de la diversidad dentro de la especie con fines de reproducción sea menos interesante que en la mayoría de las especies de cultivos y enfatiza la necesidad de introgresión de nueva variabilidad de los progenitores diploides (Scalabrin *et al.*, 2020).

III. ¿Por qué la estrategia de usar híbridos F1 en el café?



Para aumentar la base genética del café, se escogió un esquema de selección único en el mundo, que se fundamenta en la creación de híbridos entre las variedades cultivadas y los individuos silvestres y subsilvestres recolectados en el centro de origen de la especie *C. arabica* (cuadro 1). Con base en la utilización de un esquema para el mejoramiento genético de otros cultivos, se puede esperar un vigor fuerte de los híbridos F1 (heterosis) y la combinación de varios caracteres de interés en ellos.

Cuadro 1: Principales características de los tres grupos de progenitores.

Característica	Variedades tradicionales	Variedades introgresadas (Catimores y Sarchimores)	Individuos silvestres
Origen	Selecciones de la base genética introducida en el siglo XVIII	Líneas derivadas de cruces entre las variedades tradicionales Caturra y Villa Sarchí y el híbrido de Timor*	Individuos recolectados en el centro de origen de la especie (Etiopía)
Estructura genética de los individuos	Muy homogénea	Heterogénea con algunas segregaciones	Relativamente heterogénea
Características favorables	Porte alto Alta productividad Buena calidad	Resistencia a plagas y enfermedades Porte bajo Alta productividad	Gran variabilidad genética, inclusive para la resistencia a plagas y enfermedades y una calidad de taza muy alta
Características desfavorables	Susceptibilidad a plagas y enfermedades	Calidad por lo general inferior a Caturra	Porte alto Productividad baja

* Híbrido interespecífico natural entre *C. arabica* y *C. canephora*

IV. El Programa de Mejoramiento Genético Centroamericano

Ante esta situación, a inicios de la década del 90 se inició un programa colaborativo entre PROMECAFE, CIRAD y CATIE cuyo objetivo fue aumentar la base genética de las variedades

centroamericanas mediante el cruce de variedades comerciales como Caturra, Catuai, Costa Rica 95, con materiales silvestres recolectados en su lugar de origen y que están conservados en

la colección de CATIE. CATIE tiene en su colección alrededor de 2000 accesiones y, de ellas, 800, es decir un 40 % aproximadamente, son silvestres con características importantes desde el punto de vista de resistencia a enfermedades y calidad de taza. Estos materiales silvestres fueron cruzados mediante polinización controlada con las variedades comerciales, se crearon alrededor de 100 híbridos, que fueron evaluados según características del grano, calidad de taza y productividad, y quedaron 20 híbridos. Estos 20 híbridos fueron multiplicados en laboratorio a través de la técnica de embriogénesis somática y se produjeron 100 000 plantas. Estas fueron entregadas a investigadores del ICAFE, quienes establecieron alrededor de 15 ensayos en todas las zonas cafetaleras del país desde la zona sur hasta Guanacaste.

Después de 7-8 años de evaluación, algunos de ellos presentaron características sobresalientes en precocidad, productividad, resistencia a enfermedades, tolerancia a condiciones adversas y calidad de taza. En 2005, en un simposio de PROMECAFE fueron liberados para uso comercial los híbridos Centroamericano, Milenio y Casiopea. Posteriormente, después de más años de evaluación la hacienda Aquiares en Turrialba, Costa Rica, empieza a usar el híbrido Esperanza, ya que fue el que mejor se adaptó a las condiciones de alta precipitación y clima húmedo de la finca. Finalmente, en 2016 en Costa Rica un híbrido ganó el concurso Taza de la Excelencia y, desde entonces, a esa variedad se le conoce con el nombre de Excelencia.

V. Características de los híbridos

Tienen gran precocidad, ya que se cosechan al año de estar en campo. En productividad, en términos generales, podemos decir que los híbridos producen entre un 30 y un 50 % en comparación con Caturra. En algunos ensayos, se alcanzaron producciones de 80 y 90 fanegas por hectárea tanto en Costa Rica como en otros países de Centroamérica (figura 2). Algunos de ellos tienen resistencia a CBD, a nemátodos como *M. exigua*, *M. arabicida* y *Pratylenchus*, y algunos tienen

baja susceptibilidad a la roya; sin embargo, todos son susceptibles al ojo de gallo. Han presentado tolerancia a condiciones adversas, como sequía o condiciones de alta humedad del suelo quizás debido a su vigor híbrido. Finalmente, tienen mejor calidad de taza que Caturra, que es el referente de calidad. En zonas altas en catación han expresado hasta 4 puntos más que Caturra, que es el referente en calidad (Bertrand et al., 2005).



Figura 2. Plantas de Centroamericano (izquierda) y Esperanza (derecha) creciendo en la región de Tarrazú en Costa Rica

Cuadro 2: Principales características de los híbridos F1 propagados comercialmente

(Elaboración propia con información aportada por el ICAFE)

Híbrido	Progenitores	Producción* (quintales/Ha)	Reacción a la roya	Calidad de taza
Centroamericano	T5296 x Rume Sudán	83,4	Tolerante	Excepcional
Milenio	T5296 x Rume Sudán	71,8	Tolerante	Excepcional
Casiopea	Caturra 7 x ET41	64,8	Susceptible	Muy bueno
Esperanza	T5296 x ET41	74,6	Tolerante	Muy bueno
Excelencia	Caturra 7 x E531	70,71	Susceptible	Excelente

*Promedio de 7 cosechas evaluado en Costa Rica

VI- ¿Son los híbridos más resilientes al cambio climático?

Se estima que para 2050 podríamos perder hasta el 40 % de la tierra agrícola apta para el café, exponiendo la industria actual a desafíos nunca vistos, debido a que se reduciría la cantidad de tierra apta para el cultivo clave que genera ganancias, un cambio como este tendría un enorme impacto en millones de pequeños caficultores en todo el mundo. Los patrones climáticos cambiantes, las plagas y enfermedades, la deforestación y el aumento de las temperaturas son solamente algunos de los factores ambientales que amenazan la producción mundial de café. Una posible solución a lo anterior podría ser el uso de los híbridos F1 que ofrecen una tolerancia a condiciones adversas de clima. En los ensayos establecidos en Centroamérica, se ha podido ver cómo las variedades híbridas toleran suelos anegados y sequía en mucho mayor

proporción que las variedades tradicionales. También se reporta que han tolerado una helada en Laos.

Los híbridos F1 son la primera generación de descendientes que se crea cuando se cruzan dos plantas padres genéticamente diferentes. Cuanto más genéticamente distantes están los dos progenitores de un café el uno del otro, tendrá más «vigor híbrido»: esto es algo que los fitomejoradores denominan heterosis, característica que los hace mejores para resistir a las condiciones climáticas cambiantes de la actualidad. Incluso en Costa Rica, el rango de adaptación de los híbridos va desde los 40 msnm en la costa de Caribe (figura 3) hasta los 2100 msnm en la región de Tarrazú.



Figura 3. Plantas del híbrido Esperanza creciendo en la finca EARTH en Guácimo de Limón a 40 m.s.n.m. Foto: Noel Arrieta

VII- ¿Los híbridos se adaptan a sistemas agroforestales?

La productividad y rentabilidad de las plantaciones de café Arabica se ve afectada hasta en un 30 % cuando están bajo sombra, ya que hasta la fecha las variedades de café han sido seleccionadas para sistemas intensivos de producción a pleno sol. CATIE inició un ensayo de sistemas agroforestales en el año 2000, y recientemente publicó los resultados de 20 años continuos de investigación. El ensayo fue diseñado con seis tipos de sombra con la especie de servicio *Erythrina poeppigiana* y los maderables *Terminalia amazonia* (no fijador de nitrógeno) y *Chloroleucon eurycyclum* (fijador de nitrógeno), solos y en combinación, en contraste con el testigo a pleno sol. Como subtratamientos se definieron dos tipos de manejo (orgánico y convencional) en cuatro niveles: alto convencional (AC), moderado

convencional (MC), orgánico intensivo (MO) y bajo orgánico (BO). La variedad principal de estudio fue Caturra; además, se establecieron en algunos sistemas microparcels con Costa Rica 95 y los híbridos Centroamericano y Milenio. Como resultado de la comparación productiva entre diferentes variedades, los híbridos Milenio y Centroamericano, produjeron más del doble (14 212,5 y 13 368,75 kg/ha respectivamente en valores promedio), que Caturra con el promedio más bajo (5230,62 kg/ha), y también superado por Costa Rica 95 con promedio de 9823,75 kg/ha (de Melo et al., 2021). En conclusión, los ensayos de campo mostraron que los híbridos presentan además una excelente adaptabilidad a la sombra manteniendo un alto nivel de producción (hasta un 30-40 % más que las variedades clásicas más productivas).

VIII- ¿Puedo propagar los híbridos por semilla?

Los híbridos NO pueden ser propagados por semilla, ya que la descendencia presentaría una alta variabilidad debido a la heterosis; por lo tanto, es estrictamente necesario propagarlos vegetativamente. Las semillas tomadas de plantas de los híbridos no tienen las mismas características que las plantas madre. La planta producida por semilla de un híbrido no se comporta de la misma manera que los padres, ya que pueden presentar

pérdidas en rendimiento, resistencia a enfermedades, calidad y otras características agronómicas.

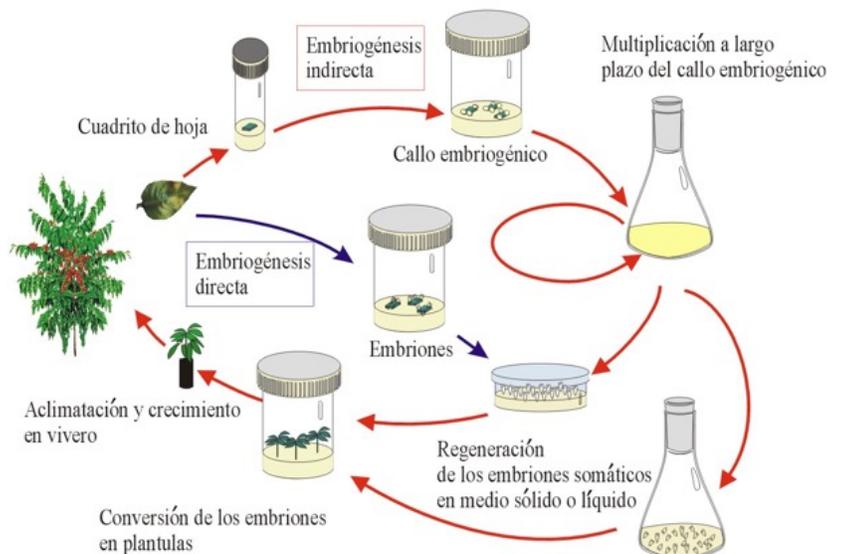
CATIE utiliza la técnica de embriogénesis somática que, complementada con la técnica hortícola de enraizamiento de microestacas, es factible producir una gran cantidad de plantas genéticamente igual a la planta madre.

IX- Métodos de propagación de los híbridos

A. Embriogénesis somática

Desde su creación, los híbridos F1 se han propagado en laboratorio mediante la técnica biotecnológica de propagación vegetativa llamada embriogénesis somática (figura 4).

Figura 4. Esquema de la embriogénesis somática directa e indirecta desarrollado en CATIE



La embriogénesis somática (ES) es un proceso de formación de embriones asexuales en la cual las células somáticas se diferencian produciendo una planta completa sin pasar por el cruzamiento sexual. Para el caso de café, se usan como explante las hojas jóvenes, que, a partir de los cuadrillos

de hoja producen inicialmente una masa de células llamada callo embriogénico que posteriormente son regenerados en embriones que se germinan en medio líquido y, una vez que presentan al menos 2 pares de hojas verdaderas, se aclimatan en invernadero (figura 5). La propagación vegetativa de estos

materiales permite la obtención de copias idénticas de cada uno de los híbridos. Esta técnica de propagación vegetativa tiene gran potencial como alternativa en comparación con otros métodos de propagación asexual.

El café constituye uno de los pocos ejemplos de aplicación de la embriogénesis somática a escala comercial a pesar de las limitaciones técnicas que aún presenta la tecnología (Etienne-Barry et al., 1999).



Figura 5. Aclimatación de vitroplantas en sustrato hortícola en invernadero

La técnica de embriogénesis somática requiere de personal e infraestructura especializados, y requiere un tiempo largo para la generación de plantas listas para el campo; por lo tanto, el CATIE inició una serie de investigaciones

para evaluar la técnica de enraizamiento de miniestacas a partir de las plantas producidas en laboratorio con el fin de producir plantas a gran escala y a un costo menor.

B. Propagación vegetativa por enraizamiento de microestacas

El proceso de producción de microestacas enraizadas se inicia con la obtención de plantas madre juveniles que han sido producidas en el laboratorio por embriogénesis somática y su establecimiento en jardines clonales en camas hidropónicas donde las plantas madre se establecen a altas densidades para la producción periódica y abundante de rebrotes (fig. 6). Los rebrotes son cosechados

aproximadamente una vez al mes. Las estaquillas se cortan a una longitud de unos 5-7 cm, dejando dos entrenudos y podando la mayor parte de las hojas para reducir el área de transpiración. Luego se aplica a la base de la estaquilla una hormona enraizadora y seguidamente se colocan en una bandeja con sustrato hortícola tipo turba.

Figura 6. Plantas de híbridos establecidas en camas hidropónicas



Las bandejas son trasladadas de inmediato a túneles plásticos cerrados con irrigación periódica por aspersion que permanecen por un periodo de 30-40 días, que es el tiempo requerido para que las estaquillas emitan nuevas raíces. Una vez que las raíces se hacen evidentes, se suben las cortinas laterales de los túneles para iniciar un periodo de acondicionamiento de las estaquillas, el cual tarda una semana aproximadamente.

Luego, las estaquillas son trasladadas a un invernadero convencional para un periodo final de acondicionamiento, el cual tarda 1-2 semanas, con riego periódico y sombra parcial, antes de su traslado al vivero (Mesén y Jiménez, 2016). Un esquema del proceso de enraizamiento de microestacas es presentado en la figura 7.

Figura 7. Representación de la propagación vegetativa de café a través de enraizamiento de microestacas



X- Perspectivas

CATIE seguirá investigando el desempeño de los materiales silvestres, tanto los que pertenecen a la Core Collection (Colección Núcleo) como a los de la Colección Internacional desde el punto de vista de tolerancia a enfermedades y características organolépticas, porque estamos convencidos de que este germoplasma representa el futuro de la caficultura mundial tanto por su uso como variedad, como también su uso como progenitores en esquemas de mejoramiento genético.

Asimismo, continúa con la investigación con los híbridos y, desde 2015, se han cruzado distintas variedades comerciales con otros silvestres seleccionados con base en una caracterización molecular del germoplasma de la colección. Se han creado alrededor de 150 nuevas familias de híbridos que están en fase de preselección de los mejores individuos. Creemos que los resultados estarán en 5-6 años, cuando se seleccionen los mejores híbridos.

XI- Conclusión

Actualmente, los híbridos F1 representan una alternativa para renovar los cafetales de la región y hacer frente a problemas como la roya y el cambio climático, ya que presentan características que los hacen superiores a las variedades tradicionales de café. El CATIE está comprometido con esta estrategia de mejoramiento, con la convicción de que

es la mejor forma de poner al alcance de los caficultores los resultados de nuestra investigación, ofreciendo materiales de alta calidad genética, alta producción y excelente calidad de taza. De esta forma cumplimos con el lema del programa de multiplicación de café «Del laboratorio al campo».

XII- Bibliografía

Bertrand, B., Etienne, H., Cilas, C., Charrier, A., Baradat, P. 2005 Coffea arabica hybrid performance for yield, fertility and bean weight. *Euphytica* 141:255–262

De Melo, E., Somarriba, E., Cerda, R., Casanoves, F., Cordero, C., Avelino, J., Roupsard, O., Rapidel, B., Vaast, P., Harmand JM., Staver, Ch., Beer, J., Mora, A., Morales, V., Fonseca, C., Vargas, V., Ramírez, L., Soto, G., Isaac, M., Durán, L., Tapia, A., Romero, L., Gómez, R., Gamboa, H., Diniz, P., Viu, S., Pires, B., Menezes, Z., Caicedo, C., Pico, J., Montagnini, F., Hagggar, J. 2021. Aportes a la investigación, fortalecimiento de capacidades y formulación de políticas para el sector cafetalero en 20 años de ensayos de sistemas agroforestales con café. *AgroForestería en las Américas* (51): 107-151. <http://hdl.handle.net/11554/11143>

Etienne-Barry, D., Bertrand, B., Vasquez, N. 1999. Direct sowing of Coffea arabica somatic embryos mass-produced in a bioreactor and regeneration of plants. *Plant Cell Reports* 19, 111–117. <https://doi.org/10.1007/s002990050720>

Lashermes, P., Combes, MC., Robert, J., Trouslot, P., D'Hont A, Anthony, F., Charrier, A. 1999. Molecular characterisation and origin of the Coffea arabica L. genome. *Mol Gen Genet.* Mar;261(2):259-66. doi: 10.1007/s004380050965. PMID: 10102360

Mesén, F., Jiménez, LD. 2016. Producción de clones de café por miniestacas. Manual técnico N° 130. CATIE. Costa Rica

ICO 2018. International Coffee Organization. Obtenido de Trade Statistics: www.ico.org/trade_statistics.asp



Panamá2021

Fundación Natura como Entidad Nacional Implementadora, es la responsable de todos los procesos relacionados con la administración, adjudicación, seguimiento y control del Programa de Adaptación al Cambio Climático a través de la Gestión Integral del Recurso Hídrico en Panamá.

El Ministerio de Desarrollo Agropecuario es una institución oficial creada mediante Ley N°12 del 25 de enero de 1973, con la finalidad de promover y asegurar el mejoramiento económico, social y político del hombre y comunidad rural y su participación en la vida nacional.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Panamá es uno de sus miembros desde 1975.

APRE (Asociación de Productores de Renacimiento) se dedica a promover la modernización del sector agropecuario a través del desarrollo de programas permanentes de capacitación, asistencia técnica, mejoramiento genético, de infraestructuras, control de calidad y comercialización de productos agropecuarios.