

## Mejoramiento convencional de banano y plátano: Estrategias y logros

*Franklin E. Rosales\* y Luis E. Pocasangre\**

### RESUMEN

Esta presentación cubre aspectos generales de la historia del mejoramiento genético convencional del banano y el plátano, distinguiendo los periodos importantes en los 80 años desde sus primeras actividades en la década de 1920. Las bases del mejoramiento convencional son presentadas, enfatizando las complicaciones genéticas y estructurales del sistema, para luego explicar los objetivos y estrategias generales del mismo. Los esquemas, estrategias y logros de los seis principales programas de mejoramiento genético convencional del mundo son discutidos en forma individual.

### ABSTRACT

This presentation covers general aspects on the conventional banana and plantain breeding history. Especial important periods on the 80 years of breeding activities are highlighted since the off-set in the 1920 decade. The bases of the conventional breeding scheme are presented, emphasizing the system genetical and structural drawbacks, to later explain its major objectives and general strategies. Breeding schemes, strategies and achievements of the six most important banana and plantain improvement programs are discussed individually.

### I NTRODUCCIÓN

La historia del Mejoramiento Genético del banano ha sido descrita en varias publicaciones (Simmonds, 1966; Rowe and Richardson, 1975; Stover and Buddenhagen, 1986; Stover and Simmonds, 1987; INIBAP, 1994; Jones, D.R., 2000; Silva et al, 2001), Aspectos sobre la creación, estrategias, desarrollo y logros de cada uno de los programas de mejoramiento convencional, son parte principal de esta presentación. La historia más conocida comienza en el Colegio Imperial de Agricultura Tropical (ICTA por sus siglas en Ingles) en Trinidad en 1922, seguido casi simultáneamente por la creación del programa en Jamaica (1924)

bajo la supervisión del Jamaican Banana Board. En esa misma década, (posiblemente en el mismo tiempo) la United Fruit Company (UFCo) inició un programa en Panamá que fue cancelado en 1930 y la colección de germoplasma trasladada a Honduras. En esa época la causa de estas iniciativas fue la enfermedad conocida como el "mal de Panamá" o marchitez bacterial, la cual desde finales del siglo anterior estaba afectando a la variedad principal de exportación, el "Gros Michel".

Ambos programas hicieron sus propias expediciones al centro de origen y/o dispersión del banano para coleccionar germoplasma que sirviera de base a su esquema de mejoramiento. El ICTA hizo

\* Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, INIBAP, c/o CATIE, Turrialba, Costa Rica. Tel/fax: (506) 556 2431; e-mail: inibap@catie.ac.cr

dos colecciones, una al este de Africa y la otra al Sudeste de Asia y el Pacifico. El Dr. O.A. Reinking colectó para la UFCo en la Indochina Francesa, Filipinas, Malasia, Sumatra, Java, Islas Celebes, Nueva Guinea, Australia, Birmania, India y otros lugares del Sudeste de Asia. En esta expedición se colectó el cultivar “Valery” (Cavendish AAA), en Saigón, Vietnam (1925).

En los años 50s, cuando ya era evidente que el “Gros Michel” no podría ser cultivado comercialmente y los clones del subgrupo Cavendish ya estaban establecidos en el mercado, los programas empezaron a usarlo como el estándar de selección para su mejoramiento genético. En esa época hubo un fortalecimiento de las investigaciones bananeras; el programa del Caribe se afianzó en Jamaica (1969) y la UFCo reinició (1958) con fuerza su programa, esta vez en la estación experimental de Guaruma #1 en La Lima, Honduras. Para ese tiempo los programas de Jamaica y Trinidad habían sentado las bases del mejoramiento; tenían sus primeros híbridos tetraploides y triploides secundarios, así como algunos diploides mejorados y se habían dado cuenta que el éxito de este esquema de mejoramiento dependía de los progenitores diploides. Por tal razón, y muy justificadamente, se hicieron nuevas expediciones de colecta. Durante los años de 1959–1961, el programa de Honduras colectó en el Pacifico Occidental y nuevamente en el Sudeste de Asia.

Así como el Mal de Panamá inició el proceso del mejoramiento genético a principios del siglo pasado, otra enfermedad sería también la causa de cambios significativos en los estándares de selección y justificaría la apertura de nuevos programas. Con la aparición de la Sigatoka negra en América Latina (1972) y en Africa (1973) y su rápida dispersión y efecto negativo tanto en bananos de exportación como en el plátano y bananos de uso local, se dieron varios cambios en la historia del mejoramiento. Primero se fundó el programa de EMBRAPA-CNPMF en Brasil en 1981, aunque su objetivo principal ha sido la búsqueda de resistencia contra el mal de Panamá, ya preveía la llegada de la Sigatoka negra a ese país. Este programa esta ahora contribuyendo grandemente en la lucha contra esta enfermedad. La Sigatoka fue también la principal justificación para la creación de la Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano (INIBAP) quien desde 1984 empezó a

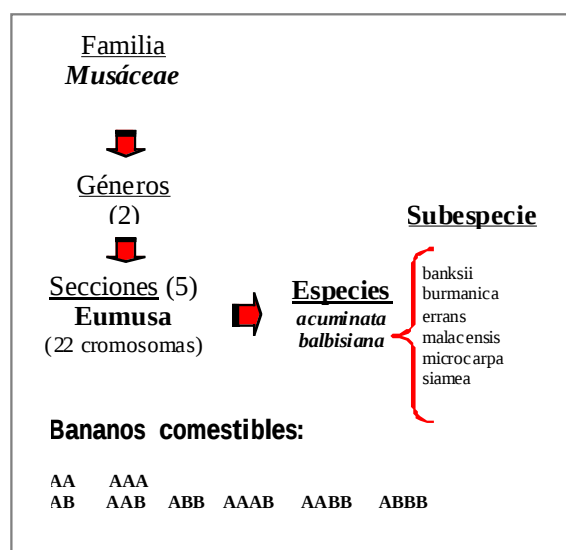
reposicionar a nivel mundial la importancia de los bananos en general, pero muy particularmente la de los plátanos y bananos de cocción que son alimento importante en Africa, Asia y América Latina. El INIBAP también comenzó a hacer notar el efecto de diferentes enfermedades (además de las Sigatokas) como el Mal de Panamá raza 4 y las virosis (BBTV, CMV, BSV), que estaban afectando la producción de los principales cultivares. En seguida de Brasil se inicia en Guadalupe (1983), Caribe Francés, el programa del CIRAD-FLHOR. En esa misma década, 4 años más tarde inicia también el programa del IITA en Onne, Nigeria (1987). Mas recientemente (1992) se funda el programa de mejoramiento genético de plátanos en Camerún bajo la supervisión del CRBP. Aunque Singh y Uma (2000) mencionan que ya desde 1949 se hacían trabajos de mejoramiento convencional en la India, no a sido hasta la década pasada en que se ha empezado a conocer algunos de los esfuerzos que se están haciendo en esa parte del mundo.

## BASES DEL MEJORAMIENTO CONVENCIONAL

Sin entrar en los detalles y las implicaciones de la nomenclatura botánica, morfología, origen y dispersión, genética, citogenética, entre otros, que no son el tema de esta presentación, trataremos de describir en general el conocimiento que forma las bases sobre la cual descansan las actuales estrategias y esquemas del mejoramiento convencional del banano. Hacemos notar que en muchas partes de este documento, por brevedad, se usa el término banano en forma amplia para referirnos a todos los tipos de bananos, incluyendo los plátanos y los bananos de cocción.

Los bananos y plátanos son grandes plantas monocotiledóneas herbáceas, clasificadas según Simmonds (1966) dentro de la familia Musáceas, en la sección o serie *Eumusa*, género *Musa*. Casi todos los cultivares de banano y plátano se derivaron de las especies contenidas en la serie *Eumusa*, especialmente de las especies *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*, originarias de Asia. Las letras A y B designan la ploidía y la composición genómica con respecto a las dos especies parentales antes mencionadas: *M. acuminata* y *M. balbisiana*. Así tenemos que los plátanos, por ejem-

plo el plátano “Cuerno”, son del grupo AAB, triploides, con dos conjuntos de cromosomas de *acuminata* y uno de *balbisiana*. Conocemos también que los principales cultivares de exportación (i.e. “Grande Naine”) pertenecen al grupo AAA subgrupo Cavendish, triploides, con todos los cromosomas provenientes de *M. acuminata*. Los genomas más importantes por su valor como alimento básico o como fuente de ingreso, son los genomas AAA, AAB y ABB (Figura 1).



**Figura 1.** Clasificación botánica simplificada de bananos y plátanos.

El género *Musa* incluye miembros con tipo de reproducción sexual (por semilla) y asexual (cormos y meristemos) (Sharrock, 2001). El número básico de cromosomas para los bananos y plátanos (incluyendo los bananos de cocción tipo AAB y ABB) es de 11 ( $2n = 2x = 22$  cromosomas).

La mayoría de las especies en la sección *Eumusa* producen flores masculinas y femeninas en forma separada dentro de la misma inflorescencia. Las flores femeninas aparecen primero que las masculinas, en forma tal que la polinización dentro de la misma inflorescencia tiene que ser de tipo exógena ya que la autopolinización es imposible. Sin embargo, dentro de una misma mata (o postura de siembra) existen varias plantas que si pueden producir flores masculinas y femeninas en forma sincronizada, por lo que la autopolinización en la

misma planta (entre plantas hermanas) si es posible de esa manera. En muy pocos casos, como por ejemplo en *M. a. spp. banksii* y *M.a. spp. errans*, se producen flores hermafroditas y según J.P. Horry (mencionado por Sharrock, 2001) el nivel de heterocigosidad es menor del 10%, y que aún en las subespecies con flores no-hermafroditas el promedio de heterocigosidad es de solamente 25%.

Los bananos silvestres son diploide ( $2n = 2x = 22$  cromosomas), producen semillas, generalmente la semilla es fértil, y la polinización es esencial para el desarrollo del fruto. Los cultivares comerciales son triploides ( $2n = 3x = 33$  cromosomas), no producen semillas (solo en muy raras ocasiones y en contados cultivares) y el desarrollo de los frutos no requiere del auxilio de la polinización (partenocarpicos).

La partenocarpia y la esterilidad son producto de mecanismos genéticos diferentes. Existe esterilidad genética, así como también la causada por la estructura híbrida del germoplasma. La esterilidad en los triploides sería del tipo estructural; sus flores femeninas son altamente estériles, y las flores masculinas no contienen polen viable.

Los clones diploide, como se verá más adelante, son la base para el mejoramiento genético y ésta es su principal utilidad, ya que son muy poco usados como fuente de alimento. Generalmente son plantas más delgadas, de porte alto, con producción prolifera de hijos, de racimos y dedos pequeños y llenos de semillas. Los triploides son el producto final ideal de todo programa de mejoramiento por ser plantas mucho más vigorosas que los diploide, con un potencial de producción mucho más alto, racimos grandes y mejor conformados, frutos más largos y gruesos y lo que es esencial, partenocarpicos y estériles. La producción de semilla en un cultivar ya sea para exportación o para consumo local es un problema, mientras que a nivel de diploide usado en un programa de fitomejoramiento es una gran ventaja ya que permite producir nuevos y más variados materiales genéticos.

## OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS GENERALES DEL MEJORAMIENTO CONVENCIONAL

Se puede afirmar que los programas existentes de fitomejoramiento de banano y/o plátano o bananos de cocción, tienen en general un macro

objetivo: el desarrollo de cultivares resistentes a enfermedades y plagas, tales como Sigatoka (negra y amarilla), mal de Panamá, Moko o Marchitez bacterial, nemátodos, picudo, entre los más importantes. A esto se le agregan las características agronómicas deseables (tamaño y conformación de los dedos) y calidad de la fruta. Podemos también incluir la reducción del tamaño de la planta (especialmente en plátano), disminución del ciclo de cultivo y el aumento en la producción.

La presión o la rigidez en la selección de las progenies prometedoras, se aumenta o disminuye si el producto esperado es un banano de exportación o un banano para consumo local, plátano o bananos de cocción. El mejoramiento y selección para banano de exportación se complica por las exigencias impuestas por el mercado internacional, el cual demanda un tipo de agricultura altamente agresiva y competitiva en donde los estándares de calidad y la alta productividad marcan el éxito o fracaso de las empresas. En cambio, los mercados locales o los productores para autoconsumo demandan principalmente alta tolerancia a plagas y enfermedades, así como una amplia y fuerte adaptación a condiciones marginales, especialmente en suelo y clima.

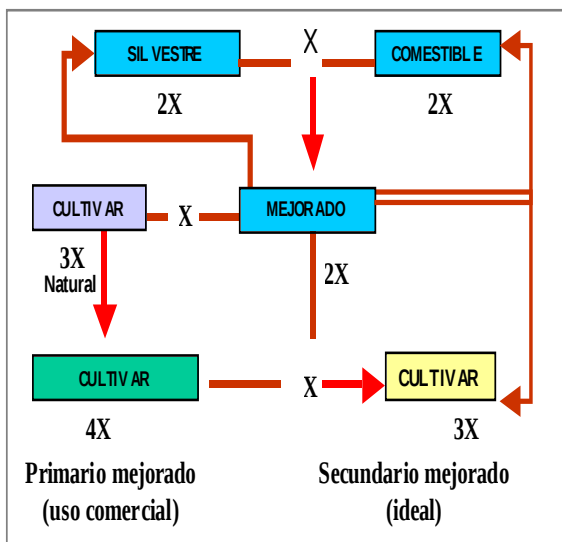
El mejoramiento convencional de banano y plátano utiliza una estrategia que combina tres esquemas, por lo que podríamos llamarle “el es-

quema 3 en 1”: a) diploide x diploide, b) triploide x diploide y c) tetraploide x diploide (Figura 2).

El primer paso dentro de un programa de mejoramiento convencional de bananos sería evaluar la colección de germoplasma natural, buscando tipos sobresalientes que puedan servir como progenitores. Una buena caracterización y evaluación del germoplasma disponible es uno de los pilares más sólidos del fitomejoramiento de cualquier cultivo. De la variabilidad existente y de la facilidad de cruzamiento entre y dentro de las diferentes especies o subespecies y tipos disponibles, así como de la habilidad combinatoria general y específica (HCG y HCE) de ese material inicial, depende no solo el éxito del programa sino también el tiempo del proceso de mejoramiento genético para alcanzar el producto deseado. En el caso del banano, el mejoramiento genético convencional depende del mejoramiento de los progenitores diploides, por lo que su identificación y caracterización es esencial.

Ya desde 1943, Dodds había concluido que el progreso del mejoramiento de banano dependía del mejoramiento de diploides superiores para su cruzamiento con el progenitor triploide (en ese caso mencionaba al “Gros Michel”, como madre o progenitor femenino), para luego buscar productos de tipo comercial entre la progenie de tetraploides primarios provenientes de este tipo de cruzamiento ( $3x \times 2x$ ). El padre diploide debería contar en su constitución genética con una combinación de resistencia a la enfermedad o enfermedades de interés, ser partenocárpico (no producir semillas) poseer buenas características agronómicas y producir polen viable.

¿Por qué la importancia del mejoramiento de los diploides? Los cultivares triploides sufren de una gran esterilidad femenina y su polen no es viable, por lo que su uso está limitado a servir únicamente como progenitor femenino, con el agravante de que muy pocos cultivares existentes pueden prestar este servicio. Debido a su alta infertilidad femenina, la producción de semillas es muy escasa, especialmente cuando se usan padres diploides mejorados y no silvestres. Entre los diploides silvestres (partenocárpicos y no partenocárpicos) más usados, por lo menos al inicio de los diferentes programas de mejoramiento convencional, podemos mencionar: Calcuta 4, Long Tavoy, Paka, Pisang Lilin o Lidi, Pisang jari buaya, Tongat, Sinwobogi, Tjau Lagada,



**Figura 2.** Esquema de mejoramiento convencional de banana y plátano.

Tuu Gia, Guyod, entre otros.

Para el mejoramiento convencional de bananos de exportación se cuenta únicamente con los clones triploides tipo "Gros Michel" y sus mutaciones semi enanas y enanas ("Cocos", "Highgate" y "Lowgate"). A la fecha no se tiene conocimiento del uso de cultivares del subgrupo Cavendish, que son los predominantes en el comercio internacional, en ningún programa de mejoramiento. En el caso de los plátanos se cuentan con más tipos que pueden ser usados como progenitores femeninos, pero investigaciones recientes (Crouch *et al.*, 1998), indican que aunque morfológicamente diferentes estos cultivares ancestrales tienen una alta similaridad genética. Podríamos decir que el mejoramiento de los bananos de cocción tipo ABB (Bluggoe, Saba, Cardaba y Pelipita) es más manejable. Todos estos cultivares (ABB) tienen buena fertilidad femenina y producen semilla en cantidades adecuadas al cruzarse con padres diploides. Estos cultivares tienen además la ventaja de que poseen alta resistencia a la Sigatoka negra, son resistentes a la sequía y tolerantes a suelos con fertilidad marginal (Rowe y Rosales, 1993). Una marcada deficiencia de estos bananos de cocción es su alta estatura, por lo que es imperativo la incorporación de genes de enanismo.

En síntesis se puede decir, que el mejoramiento convencional de todos los tipos de bananos depende del desarrollo de diploides agrónomicamente superiores, por lo que en un principio el mayor esfuerzo deberá concentrarse en la búsqueda y desarrollo del material diploide parental con resistencia genética a enfermedades o plagas de importancia económica, atributos agrónómicos deseables o sobresalientes, un buen tamaño y excelente conformación del racimo, partenocarpia, porte bajo o enanismo, entre otros. Estos diploides mejorados son a su vez cruzados con cultivares triploides (bananos de postre, plátanos o bananos de cocción) que puedan producir semillas para desarrollar híbridos tetraploide (Figura 2).

Como el banano ideal de todo programa es del tipo triploide, por su ausencia de semillas y por sus excelentes características agrónómicas, el fitomejorador tiene que tratar de alcanzar esa meta y no quedarse a nivel de tetraploides, para lo cual utiliza el esquema  $4x \times 2x$ , cuyo primer producto es lo que se conoce como "triploides secundarios" Estos nuevos triploides, una vez seleccionados por

su fertilidad femenina pueden ser usados en subsecuentes ciclos de cruzamientos produciendo a su vez nuevos tetraploides ("secundarios", producto del segundo ciclo de un cruzamiento  $3x \times 2x$  y así sucesivamente), que a su vez se convierten en líneas parentales del esquema  $4x \times 2x$ . (Figura 2). El atractivo de esta serie de ciclos de cruzamientos y selección, es que nuevos diploides mejorados con resistencia a enfermedades pueden ser incluidos en el pedigrí de los buscados triploides (Rowe y Rosales, 1996) contribuyendo a la acumulación piramidal de nuevos genes.

Un valor agregado de este esquema "3 en 1" es que los mejores tetraploides, producto del esquema  $3x \times 2x$ , pueden ser seleccionados y evaluados por sus cualidades agrónómicas y su resistencia a plagas y enfermedades de interés económico para su potencial uso en plantaciones comerciales. De hecho, actualmente los bananos y plátanos desarrollados y liberados por los diferentes programas de mejoramiento (algunos de ellos usados ya a nivel comercial o en siembras extensivas) son tetraploides. Estos tetraploides "primarios", los podríamos considerar como "sub-productos" dentro del esquema general del mejoramiento, ya que el producto meta son los triploides. La cantidad de semillas o de polen por ellos producidos depende en gran parte de si el padre diploide usado es silvestre o mejorado.

Como se puede apreciar, en teoría es posible desarrollar híbridos triploides y tetraploides con valor comercial y resistentes a las principales enfermedades. En la práctica, a pesar de que los diferentes programas de mejoramiento han obtenido un sin número de nuevos cultivares, la producción de bananos híbridos triploides para uso en explotaciones comerciales para exportación no ha sido todavía posible. Igualmente, los triploides secundarios de plátano producidos hasta la fecha no han tenido las características agrónómicas y/o de calidad que les permita sustituir a los principales cultivares naturales existentes. Sin embargo el mejoramiento para bananos de cocción ya dio sus primeros frutos. El FHIA-25 es un triploide secundario de excelentes cualidades agrónómicas, porte bajo, racimo grande y bien conformado. Tal vez por ser este un prueba fehaciente de que la teoría si funciona, es que el Dr. Phil Rowe lo consideraba como su mejor logro.

## PRINCIPALES PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE BANANO Y PLÁTANO: ESQUEMA Y LOGROS

Generalmente el éxito de un programa de mejoramiento se mide principalmente por las variedades o híbridos liberados y usados por los productores. Podríamos decir que esto es injusto cuando hablamos de bananos, ya que conocemos las grandes barreras que hacen muy difícil su mejora genética, por ejemplo: un sistema genético extremadamente complicado con diferentes niveles de ploidía que aumentan la dificultad del proceso, especialmente cuando el producto final es un triploide; proceso de meiosis variable en algunas grupos, especialmente en el ABB, lo que ocasiona progenies con diferentes niveles de ploidía, así como individuos aneuploides; hibridación interespecífica, partenocarpia y esterilidad; semillas recalcitrantes; poco conocimiento de la heredabilidad de muchos de los componentes de la producción; un largo ciclo vegetativo, entre otros.

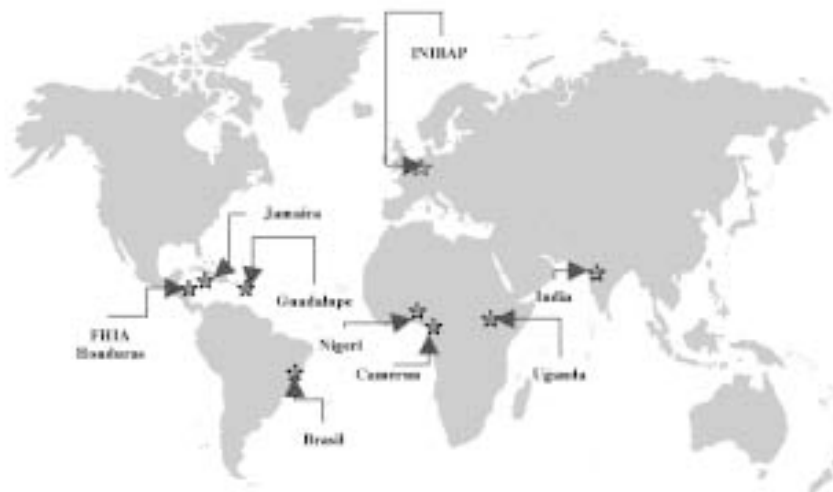
Sabemos que a pesar de 80 años de mejoramiento de banano aun no se a podido obtener el producto ideal que reemplace a un cultivar comercial o altamente popular, con marcada diferencia en producción y calidad. Sin embargo, creemos que aunque la definición de “éxito” arriba mencionada no se ha podido cubrir todavía completamente, es más que meritorio resaltar los grandes logros

y avances alcanzados por los programas de mejoramiento convencional más antiguos y conocidos tales como el de la FHIA, Jamaica, EMBRAPA, CIRAD-FLHOR, CRBP y el del IITA (Figura 3).

De todos ellos tenemos “productos secundarios”, por definición del esquema convencional, muchos de ellos ya liberados y varios usados comercialmente por productores, contribuyendo a mejorar su dieta alimentaria y ha aliviar en parte la pobreza de muchos de ellos. Esto nos llena de satisfacción como mejoradores y estoy seguro que los colegas que ya no están con nosotros y que marcaron el inicio del camino, se han de haber sentido igualmente satisfechos por la labor realizada.

Presentaremos brevemente cada programa de mejoramiento convencional. No mencionaremos los “no convencionales” que son muchos más, ya que en esta categoría se incluirían a todos los que utilizan mutaciones inducidas, variación somaclonal e ingeniería genética, entre otras. Las instituciones que usan ingeniería genética son muchas más que las que hacen mejoramiento convencional y siguen en aumento especialmente ahora que esta ciencia esta tan accesible y que sería en teoría la solución al corto plazo. Nosotros las reconocemos y las apoyamos como herramientas que so, esperando que den mayor empuje al mejoramiento convencional y hagan el camino al éxito más corto.

Cualquier error de apreciación o falta de infor-



**Figura 3.** Principales programas de mejoramiento convencional de banano y plátano en el mundo.

mación al describir los programas es responsabilidad de los autores y si esto ocurre es por falta de tiempo y no por mala intención.

## FHIA

El Programa de mejoramiento de banano y plátano de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) en La Lima, Honduras, fue iniciado por la United Fruit Company en 1959. La variabilidad genética utilizada por el programa proviene de varias colecciones realizadas en el Pacífico (Oeste) y Sudeste de Asia especialmente durante 1959-1961. La meta inicial del programa fue desarrollar un banano tipo "Gros Michel" resistente al Mal de Panamá (o marchitez por *Fusarium*), siguiendo el método convencional descrito anteriormente y utilizando como hembras al "Gros Michel" *per se* y a sus mutantes más enanos ("Cocos", "Highgate" y "Lowgate"). El diploide "Lidi" era en ese entonces el mejor padre disponible y fue usado intensamente en los primeros años del programa, produciendo tetraploides resistentes a la raza 1 del Mal de Panamá, pero no tan productivos como los clones "Cavendish" ya utilizados en la industria bananera. Con el éxito de los "Cavendish", el objetivo inicial del programa se modificó y se inició la búsqueda de nuevos cultivares que pudieran reemplazar al "Cavendish", en el evento de que este sucumbiera por alguna enfermedad no controlable. Este objetivo todavía se mantiene pero como parte de uno más amplio.

Siguiendo las reglas del mejoramiento convencional, antes descritas, la primera fase de este programa se concentró en la busca y desarrollo de diploides mejorados de porte bajo, con características agronómicas sobresalientes y resistentes a enfermedades, principalmente al Mal de Panamá. Esta fase se hizo con mucho éxito y el banco de diploides mejorados de la FHIA sigue siendo su mejor tesoro. El desarrollo de diploides mejorados ha sido documentado en varias publicaciones (Rowe y Richardson, 1975; Rowe y Rosales, 1994, 1996 a y b, 2000; entre otros). Entre estos diploide sobresalen el SH-2095 por su excelente racimo, resistencia al Mal de Panamá (como todos los diploide mejorados de la FHIA), pero muy pobre en producción de polen, por lo que generalmente se usa como progenitor femenino. El SH-3217 es derivado del SH-2095 con iguales características y productor abundante de polen. Otro

excelente progenitor a sido el SH-3142 quien a producido progenies con resistencia a las razas 1 y 4 del Mal de Panamá, así como al nemátodo barrenado. En esa misma línea de excelencia se encuentra el SH-3437 y el SH-3362; el primero conocido por su resistencia a la Sigatoka negra y el ultimo porque confiere resistencia al Mal de Panamá y al nemátodo barrenador. La Figura 4 muestra la larga ruta seguida en el mejoramiento del híbrido FHIA-03 (banano de cocción 4x) y lo complicado y tedioso que llega a ser el mejoramiento de banano. Aquí puede apreciarse también la combinación de diploides silvestres con diploides mejorados.

El programa de la FHIA ha explorado y puesto a prueba todo el esquema "3 en 1" ya que en sus objetivos tiene una gama de metas, todas con interés mundial, en parte por las donaciones de carácter internacional que ha recibido desde que este programa fuera donado por la United Fruit Company al Gobierno de Honduras en 1984 (año en que se fundó la FHIA.). Actualmente la FHIA busca como alternativas a los cultivares existentes: a) plátanos con resistencia a la Sigatoka negra; b) bananos de cocción enanos y de ciclo corto para uso en el Pacífico, Asia y parte de Africa; c) bananos de cocción con resistencia a Sigatoka negra que puedan ser usados en Africa del Este, como sustitutos de los "bananos de altura" típicos de esa región; d) bananos de exportación tipo "Cavendish" con resistencia a Sigatoka negra y nemátodos; e) bananos tipo "Silk" ("Manzano", "Maçã") con resistencia a *Fusarium* o Mal de Panamá.

La FHIA también sobresale entre los programas de mejoramiento convencional por su progreso alcanzado en la producción de híbridos tetraploides para uso comercial y semi comercial. Sus híbridos han sido distribuidos en más de 50 países alrededor del mundo. Estos híbridos empezaron su evaluación a nivel mundial en 1991, con el inicio del Programa internacional de Evaluación de Musáceas (IMTP por sus siglas en inglés) patrocinado por el INIBAP. Entre los híbridos más sobresalientes de la FHIA tenemos; como bananos de postre: FHIA-01 (también conocido como "Goldfinger"), FHIA-02 ("Monalisa"), FHIA-18 y FHIA-23; bananos de cocción: el FHIA-03 y el recientemente liberado FHIA-25; y del tipo plátano "Francés": FHIA-20 y FHIA-21. Estos últimos híbridos pueden ser cultivados como plátanos tipo "Cuerno" si se

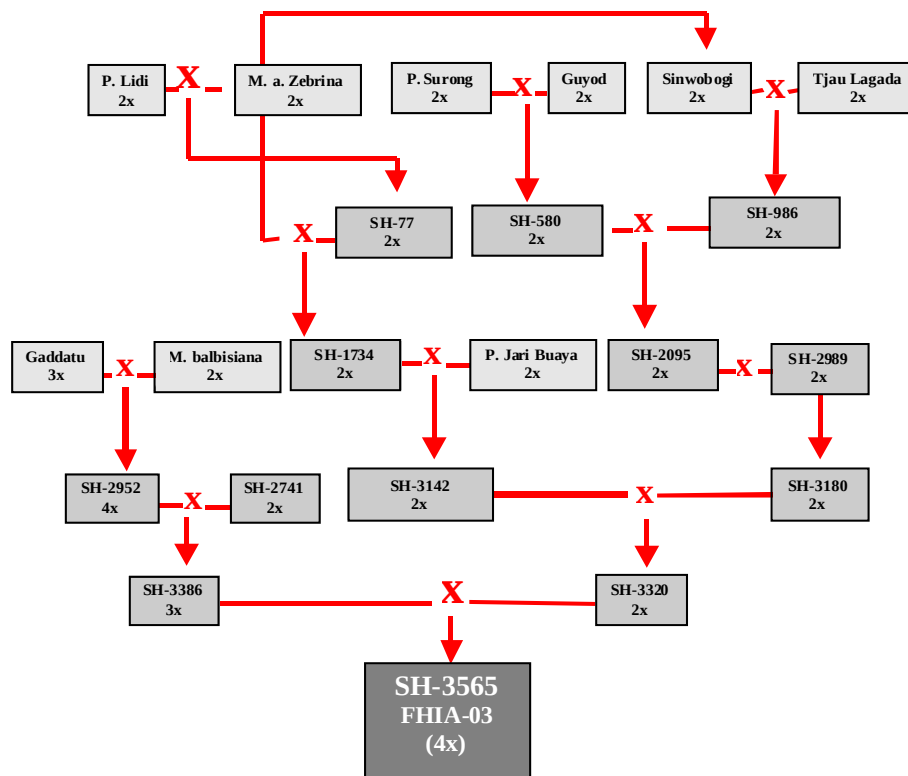


Figura 4. Pedigrí del híbrido SH-3565 (FHIA-03).

les eliminan algunas de sus manos distales. Todos los híbridos de la FHIA liberados a la fecha cuentan con excelentes características de racimo y planta y son resistentes o tolerantes a la Sigatoka negra y/o amarilla, así como al Mal de Panamá. En general tienen un adecuado rango de adaptación a condiciones de suelo y clima, y aunque algunos de ellos no son perfectos en sus características de calidad de fruto o duración de vida de anaquel, pueden ser cultivados y aprovechados a su máximo potencial si se usan las prácticas agronómicas adecuadas. El éxito más evidente de los híbridos de la FHIA a nivel de país es en Cuba, en donde actualmente se cultivan más de 10 000 hectáreas con estos cultivares principalmente con FHIA-18, FHIA-23 (o FHIA-01-V1 como se conoce en Cuba) y recientemente FHIA-21.

## EMBRAPA

El programa de mejoramiento genético de EMBRAPA-CNPMF se inició en el año de 1982 y está localizado en la ciudad de Cruz das Almas, Bahía. Desde su inicio el énfasis se ha puesto en

el mejoramiento de los cultivares "Prata" y "Maçã", ambos del tipo AAB, que son los más difundidos en Brasil. "Prata" es un cultivar de gran altura, tiene frutas pequeñas de sabor dulce a suavemente ácido, susceptible a la Sigatoka negra y amarilla y al Moko. "Maçã" es el banano más preferido por los brasileños. Su fruta es de cáscara muy fina, consistencia suave y sabor a manzana. Es altamente susceptible al Mal de Panamá, susceptible a la Sigatoka negra, así como al Moko (Silva et al, 2001).

El programa de EMBRAPA, al igual que el de la FHIA, basa su mejoramiento en el sistema convencional y su objetivo inicial fue la búsqueda de resistencia al Mal de Panamá. Su actual objetivo es más amplio: desarrollar genotipos resistentes al Mal de Panamá, a la Sigatoka (negra y amarilla), a la vez que buscan plantas de baja estatura. Actualmente usan únicamente diploide mejorados que son cruzados con cultivares comerciales triploides. Los híbridos tetraploides producidos son a su vez evaluados para tolerancia a nemátodos y Picudo.

Cuentan con su propia colección, que actualmente tiene cerca de 280 accesiones, producto de

intercambios y colectas internacionales. Su banco de germoplasma ha sido caracterizado ampliamente y cuenta con un fuerte programa de evaluación regional de características agronómicas y calidad de fruta para los mejores cultivares identificados en el banco o producidos a través del fitomejoramiento.

El programa de mejoramiento convencional se apoya también en estrategias no convencionales, a través de varias alianzas con institutos de investigación y universidades nacionales que les permite incursionar en campos como la selección *in vitro* de mutantes, uso de radiación para crear variabilidad y seleccionar mutantes resistente al Mal de Panamá; uso de agentes químicos mutagénicos e hibridación somática a través de fusión eléctrica y más recientemente el uso de biobalística para la producción de plantas transgénicas.

La más reciente publicación sobre el Programa de Mejoramiento genético de EMBRAPA (Silva et al., 2001) hace un excelente recuento de actividades y logros de esa institución desde su inicio en 1982, por lo cual nos limitaremos a mencionar únicamente algunos de los allí reportados.

La colección de bananos ha sido caracterizada morfológicamente y también molecularmente usando RAPDs y micro satélites; sus accesiones son mantenidas tanto en vivo como *in vitro*. Los materiales han sido evaluados permitiendo la identificación de diploides promisorios silvestres y cultivares (Calcutta, Madang, Lidi, Sinwobogi, Tjau Lagada, Tuu Gia, Heva; diploides mejorados de otros programas como el M-53, M-61, F2P2 y F3P4). Esto también permitió identificar cultivares y recomendarlos para uso directo por los productores tales como: Pacovan, Prata Ana, Caipira y Thap Maeo (todos AAB) y los híbridos FHIA-18, FHIA-21 y el SH-3640.

El mejoramiento de diploides esta avanzado. Actualmente todos los diploide usados por el programa son mejorados y se cuenta con un "pool" de 31 diploides. Esto a su vez a permitido la obtención de tetraploides usando como hembras principalmente a los cultivares triploides del tipo "Prata" y "Maçã". A pesar de los problemas de baja producción de semilla del clon Maçã, se han producido ya varias decenas de este tipo de híbridos con resistencia al Mal de Panamá y excelente sabor y ya se están evaluando los mejores de ellos en varios estados del país.

Con la confirmación de la presencia de la Sigatoka en Brasil en 1998, el programa de evaluación regional tomó mayor envergadura y las evaluaciones tanto de cultivares introducidos como los desarrollados directamente por EMBRAPA, se han multiplicado en numero de cultivares así como de sitios de evaluación. Esto ha permitido la recomendación de los híbridos: "Pioneira" (PV12-03), híbrido de "Prata Anã" X "Lidi" con frutos de sabor muy agradable, resistencia a Sigatoka amarilla, moderada resistencia al Mal de Panamá y baja incidencia de Picudo y nemátodos; el híbrido "Pacovan Ken" (PV42-68) tipo Prata, producto del cruzamiento de "Pacovan" X M-53, que presenta resistencia a la Sigatoka amarilla y negra, así como al Mal de Panamá y es también moderadamente susceptible al Picudo y nemátodo (Comunicación personal del Dr. Sebastiao de Oliveira e Silva). El Pacovan Ken fue nombrado así en tributo al Dr. Ken Shepherd quien laboró por 12 años en este programa, antes de su retiro en 1994.. También están pronto a ser liberados los híbridos PV42-85 (Pacovan X M-53) y el YB42-21 (Yangambi No.2 X M-53), tipo "Prata" y "Maçã", respectivamente. Ambos son resistentes a la Sigatoka negra y amarilla. El PV42-85 es también resistente al Mal de Panamá, mientras que el YB42-21 es tolerante.

## JAMAICA

El programa de mejoramiento genético de Jamaica se inició en 1924, trabajando en forma paralela y complementaria con el Colegio Imperial de Agricultura Tropical (ICTA). Su objetivo original era desarrollar un banano de exportación para el comercio del Reino Unido, que tuviera buenas características agronómicas, resistencia a las razas 1 y 2 del Mal de Panamá, resistencia a la Sigatoka amarilla y una adecuada vida de anaquel (INIBAP, 1993). Posteriormente en 1947 se funda en Jamaica el "Banana Breeding Research Scheme" financiado por el Gobierno Británico y la Industria Bananera de Jamaica (Gonsalves, 1987). En 1960, todos los trabajos de mejoramiento del Caribe estaban concentrados en Jamaica, bajo la dirección de la Junta del Banano ("Banana Board").

Con la desaparición del "Gros Michel" del comercio internacional y la entrada de los clones resistentes al Mal de Panamá ("Lacatán" y "Robusta"), el "Gros Michel" dejó de ser el estándar para el mejoramiento genético, aunque la resistencia a

Fusarium seguía siendo un parámetro indiscutible de selección. Luego a este objetivo se le sumaron la resistencia a la Sigatoka (primero la negra y luego la amarilla) y finalmente la calidad y el rendimiento de los Cavendish era una meta mandatoria. La colección de germoplasma de Jamaica fue considerada como una de las más importante del mundo por mucho tiempo.

El aporte del programa de Jamaica ha sido invaluable, no por los cultivares producidos, sino por los conocimientos básicos de la genética, citogenética y del esquema de mejoramiento convencional, tal y como lo conocemos actualmente. Por esto merecen especial mención los Drs. Norman W. Simmonds, Kenneth Shepherd y Ren Gonsalves, quienes contribuyeron grandemente a sentar las bases del mejoramiento genético del banano. El esquema básico del mejoramiento convencional de banano fue desarrollado en Jamaica en 1958 (Simmonds, 1966).

La mejor época del programa en lo que se refiere al mejoramiento *per se* podemos situarla entre 1960 y 1980, por todos los esfuerzos y productos desarrollados a nivel de diploides y tetraploides. Al igual que en los otros programas, los mejores resultados fueron cultivares tetraploides, aunque si se produjeron buenos triploides pero no sobrepasaron el estándar esperado. Entre los tetraploides de Jamaica se conocen el S.19, Bodles Altafort, Calypso, Bucanier, Ambrosia, B7925 y RG-1 (éste último nombrado en honor a su creador; Ren Gonsalves). El programa de Jamaica es conocido también por la producción de excelentes diploides que han sido utilizados en varios otros programas, entre ellos tenemos: el M48, M53, M61 y el SH-13.

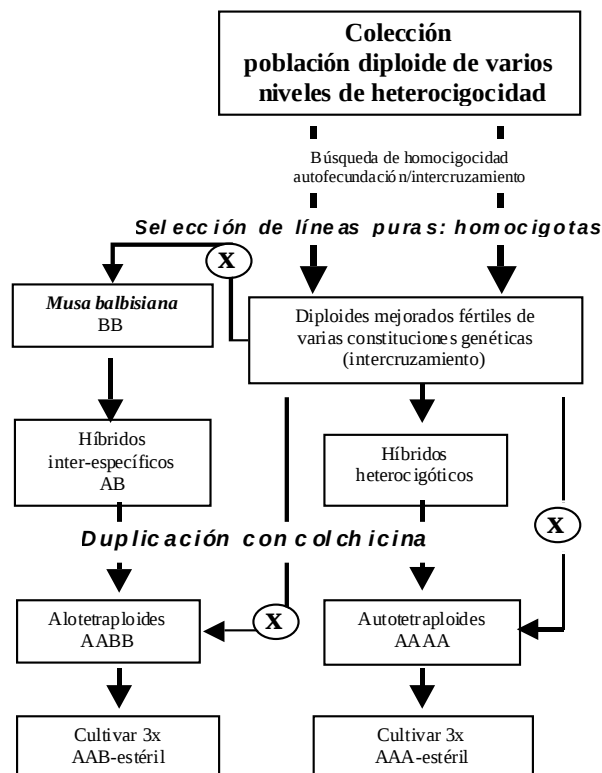
## CIRAD-FLHOR

El programa de mejoramiento de banano del CIRAD (Centre de Coopération internationale en Recherche Agronomique pour le Développement-Francia) fue creado en 1983 y opera como una red que tiene su centro de operaciones en la isla de Guadalupe, Caribe Francés. El programa tiene conexiones con diferentes centros de investigación propios o asociados que lo apoyan con estudios especializados o estratégicos tales como: caracterización molecular de germoplasma, cultivo de tejidos, variación somaclonal, mutagénesis, estudios genéticos (marcadores moleculares, mapas),

embriogénesis somática, transformación genética no convencional, entre otros.

Su objetivo general es desarrollar híbridos triploides de banano de diferentes tipos con resistencia a enfermedades y con alto rendimiento. El programa del CIRAD se diferencia de todos los otros programas por el uso de una estrategia desarrollada en Guadalupe por los Drs. Bakry y Horry. Su estrategia busca el desarrollo especialmente de triploides, tratando de sobreponerse a algunos de los inconvenientes que tiene el esquema de mejoramiento convencional como son: la baja fertilidad de los progenitores comerciales triploides, el limitado número de esos progenitores, deficiencias estructurales de algunos tetraploides, la existencia de semillas en algunos frutos, la baja tasa de éxito alcanzado al hacer retrocruzas con los tetraploides primarios, entre otros.

Como se aprecia en la Figura 5, (Bakry *et al*, 1993) el proceso se inicia mejorando las poblaciones diploides (como en el método convencional), buscando las resistencias necesarias, característi-



**Figura 5.** Estrategia del mejoramiento de banano del CIRAD-FLHOR (modificado desde Bakry *et al*, 1993).

cas agronómicas deseables y calidad de fruta, a través de selección recurrente. Los diploides silvestres son caracterizados y se identifican entre ellos (o se desarrollan) líneas puras y fértiles. Estas líneas pueden o no ser destinadas a cruzamientos inter e intra específicos. Las mejores líneas se seleccionan de acuerdo con el tipo de banano que se quiere desarrollar (plátanos, bananos de cocción o de postre), características de resistencia a plagas y enfermedades y características agronómicas y de calidad de fruto. Las líneas seleccionadas son tratadas con colchicina para producir auto y/o allotetraploides. Estos tetraploides son luego cruzados con diploides selectos para producir los individuos triploides, meta del programa. Este esquema es utilizado únicamente por el CIRAD-FLHOR.

Entre las ventajas más notorias que se aprecian y/o se mencionan en este esquema estarían: un mayor uso de formas genéticas que pueden ser creadas a nivel de tetraploides, ya que la creación de los mismos no depende únicamente de los triploides con fertilidad parcial que puedan usarse con progenitores como en el esquema  $3x \times 2x$ ; que las combinaciones genéticas seleccionadas a nivel de diploide son mantenidas y duplicadas en los tetraploides y podrían ser transferidas total o parcialmente a las progenies triploides.

Entre los híbridos más sobresalientes del CIRAD se conocen el IRFA 909 y el IRFA 910, que son triploides tipo Silk con buenos racimos y tolerantes a la Sigatoka negra. El IRFA 904 es un tipo plátano pero éste fue desarrollado usando el esquema convencional; tiene un excelente racimo (14-17 kg.), 8-9 manos y alta resistencia a la Sigatoka negra (Tezenas du Montcel et al, 1996).

## CRBP

El CRBP (Centre de Recherches Régionales sur Bananiers et Plantains) localizado en Camerún, inició su programa de mejoramiento en 1992 con el objetivo de obtener plátanos tetraploides mejorados usando el esquema convencional, buscando principalmente resistencia a la Sigatoka negra. La diversidad de sus líneas parentales la obtienen de su banco de germoplasma en Njombé, que es una de las colecciones de plátanos más grande que existe (130 cultivares). El programa ha tenido siempre una colaboración muy estrecha con el CIRAD-FLHOR, especialmente en estudios básicos de genética y desarrollo de líneas homocigotas diploi-

des para ser utilizadas como padres en el cruzamiento  $4x \times 2x$ .

El mejoramiento de plátanos del CRBP depende actualmente de los diploides mejorados M-53 (de Jamaica); dos clones provenientes de M-53 a través de autofecundaciones; Calcuta 4, Banksii y "Paliama" (*M.a. spp banksii*). Aparentemente las progenies tetraploides producidas usando Calcuta 4 (altamente resistente) muestran solamente resistencia parcial; mientras que muchas de las derivadas del M-53 exhiben una alta resistencia y no tienen las hojas caídas como los híbridos derivados de Calcuta 4. Como progenitores femeninos tienen 10 cultivares de plátano tipo "Francés" seleccionados por su alta fertilidad, tamaño de racimo, buenas características de cocción y buen sabor. (Tomekpe et al, 1998).

La producción de híbridos tetraploides ha sido abundante y muestran características muy similares a los plátanos triploides y sus frutos son partenocarpicos. Tienen además algunas características agronómicas mejores que sus progenitores femeninos como son: una estatura más baja, mayor producción de hijos, producción más alta y dedos de mejor calibre (Tomekpe et al, 1998). Dentro de estos híbridos elite, sobresalen el CRBP 39 y el CRBP 85, que son muy parecidos al típico plátano Francés pero con frutos de mejor calibre y longitud.

El énfasis actual está siendo puesto en el desarrollo de plátanos de baja estatura con baja producción de semillas y buenas cualidades de cocción y sabor de fruta. Como una prioridad de futuro, el programa está visualizando extender su esquema y llegar a la producción de triploides estériles con resistencia múltiple a enfermedades, mejores características agronómicas y adaptados a las principales prácticas culturales y preferencias del consumidor final. En otras palabras, su objetivo sería muy parecido al de todos los otros programas de mejoramiento convencional, aunque aparentemente utilizarían también tetraploides producidos por o con la estrategia del CIRAD.

Actualmente el programa pertenece al recién formado CARBAP (Centre Africain de Recherches sur Bananier et Plantain), siempre en Camerún.

## IITA

El programa de mejoramiento en el IITA (Instituto Internacional de Agricultura Tropical) se ini-

42

y los "beer bananas" (grupos AAA y ABB, respectivamente) del África oriental, así como el mejoramiento de bananos de cocción tipo ABB (Vuylsteke y Swennen, 1993). Para apoyar estas actividades el IITA abrió una nueva estación de mejoramiento en Namulonge, Uganda, en donde se concentra el mejoramiento de los cultivares recién mencionados.

## RECONOCIMIENTOS

Agradecimiento especial a los Drs. Sebastiao Silva de Oliveira, Christophe Jenny y Abdou Tenkouano, fitomejoradores de EMBRAPA, CIRAD-FLHOR e IITA, respectivamente, por proveer material escrito reciente (algunos sin publicar) del estado de avance de sus respectivos programas. A la FHIA por haberme permitido laborar como mejorador y conocer su programa por un poco más de 10 años.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bakry, F., Haicour, R., Horry, J. P., Megia, R. and Rissignol, L. 1993. Applications of biotechnologies to banana breeding. In: INIBAP 1993. Proceedings of the Workshop on Biotechnology Applications for Banana and Plantain Improvement, held in San Jose, Costa Rica, 27-31 January, 1992. P52-60.
- Crouch, J. H., Vuylsteke, D. and Ortiz, R. 1998. Perspectives on the application of biotechnology to assist the genetic enhancement of plantain and banana (*Musa* spp.). Electronic Journal of Biotechnology 1 (1).
- Dodds, K.S. 1943. The genetic system of banana varieties in relation to banana breeding. Exp. J. Exp. Agr. 11:89-98.
- Gonsalves, R. 1987. Proposal for regional banana breeding research project. In: R. Jaramillo y N. Mateo (eds). Memoria de la Reunion Regional de INIBAP para America Latina y el Caribe. San Jose, Costa Rica. Pp232-235.
- INIBAP 1994. Annual Report *Musa* Breeding and the *Musa* Breeders' Network.
- Jones, D. R. 2000. History of banana breeding. In: Jones: D.R. (eds.). Diseases of Banana, Abacá and Ensete. CABI Publishing, New York, NY. pp. 425-434.
- Ortiz, R. and Vuylsteke, D. 1994. Plantain Breeding at IITA. In: Jones David R, ed. 1994. The Improvement and Testing of *Musa*: a Global Partnership. Proceedings of the First Global Conference of the International Musa Testing Program held at FHIA, Honduras, 27-30 April 1994. P 131-156.
- Rowe, P. R. and Richardson, D. L. 1975. Breeding Bananas for disease resistance, fruit quality and yield. Bulletin No. 2-December, 1975. SIATSA, La Lima, Honduras.
- Rowe, P. R. and Rosales, F. E. 1994. *Musa* Breeding at FHIA. In: Jones David R, (eds.). The Improvement and Testing of *Musa*: a Global Partnership. Proceedings of the First Global Conference of the International Musa Testing Program held at FHIA, Honduras, 27-30 April 1994. pp 117-129
- Rowe, P. R. and Rosales, F. E. 1996. Current Approaches and Future Opportunities for Improving Major *Musa* (ABB) Types Present in the Asian/Pacific Region: Saba, Pisang Awak, Bluggoe. In: Frison Emile A., Horry, Jean-Pierre and Dirk De Waele, (eds.) 1996. Proceedings of the workshop on New Frontiers in Resistance Breeding for Nematodes, Fusarium and Sigatoka, 2-5 October 1995. Kuala Lumpur, Malaysia. INIBAP, Montpellier, France. pp 129-140.
- Rowe, P. R. and Rosales, F. E. 1996. Bananas and plantains. In: Janick, J. And J.N. Moore (eds.). Fruit Breeding, Vol. I: Tree and Tropical Fruits. John Wiley and Sons, New York, NY. pp. 167-211.
- Rowe, P. R. and Rosales, F. E. 2000. Conventional banana breeding in Honduras. In: D.R. Jones (eds.). Diseases of Banana, Abacá and Ensete. CABI Publishing, New York, NY. pp 435-448.
- Sharrock, S. L., Horry, J. P. and Frison, E. A. 2001. The state of the use of *Musa* diversity. In: H.D. Cooper, C. Spillane and T. Hodgkin(eds.). Broadening the Genetic Base of Crop Production. IPGRI/FAO 2001. pp 223-243.
- Silva, S. de O. E. Souza, J. M. T. Alves, E. J. Silva, S. J. R. and Bezerra, L. M. 2001. Banana Breeding at EMBRAPA. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 1, n. 4, pp. 399-436.
- Simmonds, N.W. 1966. Bananas, 2<sup>nd</sup> edn. Longman. London.
- Singh, H. P. and Uma, S.. 2000. Genetic improvement of banana in India – A retrospective. H.P. Singh and K.L. Chadha. (eds.) Banana – Improvement, Production and Utilization. Proceedings of the Conference on "Challenges for Banana Production and Utilization in 21<sup>st</sup> Century, AIPUB, NCRB, Trichy, India, 2000. pp 247-263.
- Stover, R. H. and Buddenhagen, I. W. 1986. Banana Breeding: polyploidy, disease resistance and productivity. Fruits, 41. 175-191.
- Stover, R. H. and Simmonds, N. W. 1987. Bananas. Tropical Agricultural Series. Longman Scientific & Technical, U.K Ltd. Third Edition. 468 p.
- Tenkouano, A. 2000. Current issues and future directions for *Musa* genetic improvement research at the International Institute of Tropical Agriculture. In: Advancing and Plantain R&D in Asia and the Pacific- Vol 10. Proceedings of the 10th INIBAP-ASPNET Regional Advisory Committee meeting held in Bangkok, Thailand, 10-11 November, 2000. Los Baños, Laguna, Philippines. pp 11-23.
- Tezenas du Montcel, H., Carreel, F. and Bakry, F. 1996 Improve the diploids: the key for banana breeding. In: Frison Emile A., Horry, Jean-Pierre and Dirk De Waele, (eds.) Proceedings of the workshop on New Frontiers in Resistance Breeding for Nematodes, Fusarium and Sigatoka, 2-5 October 1995. Kuala Lumpur, Malaysia. INIBAP, Montpellier, France. pp 119-128
- Tomekpé, K. Noupadja, P. Abadie, C. Auboiron, E. and Tchango Tchango, J. 1998. Genetic Improvement of Plantains at CRBP: Performance of black Sigatoka resistant plantain hybrids. In: International Seminar on Plantain Production. Armenia, Quindio, Colombia, 4-8 de Mayo de 1998. pp 45-50.
- Vuylsteke, D. and R. Swennen 1993. Genetic improvement of plantains: the potential of conventional approaches and the interface with in-vitro culture and biotechnology. In: Proceedings of the workshop on Biotechnology Applications for Banana and Plantain Improvement. San José, Costa Rica, 2731 January 1992. INIBAP 1993..