

CAPÍTULO I

1. EL BANANO: CONSIDERACIONES GENERALES

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se hace un breve relato histórico del banano, su clasificación y descripción botánica, es decir la descripción de su sistema radicular, foliar, inflorescencia, sus frutos, etc. También los diferentes requerimientos ecológicos como suelos, clima, luminosidad, etc. que hacen posible cultivar el banano. Además se indican las diferentes zonas en las que el banano se encuentra distribuido en el litoral ecuatoriano y las diversas variedades que se cultivan en el Ecuador.

Se mencionan las diferentes enfermedades del banano y se detalla a una de las principales enfermedades del Banano como es la Sigatoka Negra, su sintomatología, los daños que ocasiona en las plantaciones, las condiciones ambientales para que se desarrolle la enfermedad y las medidas de control de la misma. Otro punto importante son algunos conceptos relacionados con la adaptabilidad y estabilidad de los genotipos estudiados ya que esta es la parte más importante y el objetivo primordial de esta investigación.

1.1 Historia del Banano

La historia del banano data de miles de años. Rumphius, el más prominente botánico antes de Linneo en su *Herbarium Amboinense*, escrito en las sombras de la antigüedad, manifiesta que el banano era de familia venerable. Es un hecho reconocido que el hombre ha usado el banano como alimento, por miles de años. Fue una de las primeras frutas que fueron cultivadas por los agricultores primitivos.

En la mayoría de las antiguas literaturas hindú, china, griega y romana se menciona constantemente al banano. También se manifiesta en varios textos sagrados de los pueblos de Oriente, entre estos se encuentran dos epopeyas hindúes, el *Magabharata*, de autor desconocido y el *Ramayana* del poeta Valmiki. Existen referencias en algunos textos sagrados budistas, en crónicas que relatan una bebida derivada del banano, que a los monjes de esta región les era permitido ingerir.

Yan Fu, un oficial chino del Siglo II, escribió una "Enciclopedia de Cosas Raras", en la cual hace una descripción de la planta de banano.

Además, el filósofo y naturalista griego Teofrasto escribió un libro sobre las plantas en el Siglo IV antes de Cristo, en el que describe el banano, asimismo, el naturalista romano Plinio el Grande, cita la planta de

banano en su *Historia Naturalis*, escrita en el año 77 después de Cristo y menciona como origen de sus datos, a Teofrasto.

Los arqueólogos modernos han encontrado dibujos del banano en ruinas antiguas tales como el templo budista de Bharbut, que datan del Siglo II antes de Cristo y en el monumento javanés a Buda, levantado en Borododur en el año 850 antes de Cristo.

El Sureste Asiático se considera el lugar de origen de los bananos, su cultivo se desarrolló simultáneamente en Malaya y en las Islas Indonecias Sin embargo, el origen exacto no es completamente claro. El antropólogo doctor Herbert Spiden escribió: "Es lo más probable que el banano alimenticio sea oriundo de las húmedas regiones tropicales del sureste de Asia, incluyendo el noreste de la India, Burma, Camboya y partes de la China del Sur, así como las Islas Mayores de Sumatra, Java, Borneo, las Filipinas y Taiwán. En esos lugares, las variedades sin semilla del verdadero banano de consumo doméstico, se encuentran en estado silvestre, aunque es probable que hayan simplemente escapado de los cultivos".

En épocas remotas la hoja del banano se usó como envoltura o como fuente de fibra, y la fruta como alimento, pero un gran porcentaje de las variedades conocidas tenían una alta proporción de semillas.

Con los años, al cultivarse el banano y originarse nuevos mutantes se obtuvieron formas sin semilla en una etapa relativamente temprana en la historia de las plantas cultivadas.

El banano no se conoció en el Mediterráneo como cultivo, hasta el año 650 después de Cristo. Los árabes lo introdujeron en África durante sus expediciones en las cuales comerciaban y obtenían esclavos.

El cultivo del banano en África Oriental y Uganda, es de reciente introducción, pero no así los cultivos de África Occidental los cuales ya estaban establecidos en el Siglo VI cuando llegaron los europeos.

La palabra "banano" es africana. Se supone que los navegantes portugueses tratando de encontrar una ruta hacia China, hace más de 500 años, desembarcaron en Guinea, donde observaron que los nativos lo cultivaban, y satisfechos de su excelente sabor se dedicaron a propagarlo en los territorios bajo su dominio, manteniendo su nombre "banano", "banana"; el cual se ha perpetuado hasta nuestros días, aunque también son aceptadas las variaciones "plátano", "guineo", "cambure" y otros.

Se cree que el banano estuvo presente en América en la época precolombina, pero no se tienen pruebas contundentes de esto. Los bananos son una introducción relativamente nueva realizada a comienzos del Siglo XIX y que selló el inicio de lo que Eduardo Galeano en su libro "Las venas abiertas de América Latina" ha llamado "la bananización de Guatemala, Honduras, Costa Rica, Panamá, Colombia y Ecuador", es decir compañías fruterías norteamericanas, como la United Fruit Company que pertenecía a Minor Keith, se apoderaron con técnicas no siempre muy correctas de grandes y productivas plantaciones de los países antes mencionados.

1.2 Clasificación y Descripción Botánica

Los bananos corresponden al orden Scitamineae, familia Musaceae, género Musa. La familia está formada por dos géneros: Ensete y Musa.

El género Ensete: está representada por siete u ocho especies monocárpicas, las plantas son vigorosas y muy parecidas a las del plátano, especialmente en el sistema foliar, pero se diferencia de éstas porque no muestran ramificaciones en el cormo¹ y como resultado no producen hijos. Se reproduce por semillas y su uso es esencialmente ornamental.

El género Musa es muy antiguo y fue clasificado por Cheesman en el año 1948 en cuatro secciones, donde se considera además en el Sistema de Clasificación Internacional de la Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y Plátano (INIBAP), del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI)(1998), a los híbridos formados entre especies de este género. (Ver Tabla 1.1).

Existe una gran variedad en el género Musa, numerosas de las especies pertenecientes a él son utilizadas tanto en la alimentación humana como en la animal. No obstante, las fibras y pulpas de ciertos bananos silvestres, como Musa velutina, Musa sanguinea, son

¹ **Cormo:** Tallo corto que permanece prácticamente enterrado, también llamado rizoma o bulbo, aunque Simmonds indica que lo correcto es llamarlo cormo pues es un tallo subterráneo erecto, con poco crecimiento horizontal.

utilizadas en la industria papelera. Además, en las diferentes secciones aparecen especies como *Musa coccinea*, que por sus brácteas² escarlatas tienen gran interés ornamental y *Musa textilis*, que por sus fibras son utilizadas para el comercio.

Tabla 1.1
Clasificación del género *Musa*.

Género	Sección	Especies
<i>Musa</i>	<i>Australimusa</i> <i>Callimusa</i> <i>Rhodochlamys</i> <i>Eumusa</i>	<i>Musa textilis</i> <i>Musa coccinea</i> <i>Musa ornata</i> <i>Musa acuminata</i> <i>Musa balbisiana</i>
	<i>Eumusa x Australimusa</i>	<i>Musa balbisiana x Musa textilis</i>

Fuente: Cheesman - Elaboración: Johnny Jiménez

Las especies o clones de banano se dividen en 3 tipos: Diploides, Triploides y Tetraploides (Ver Tabla 1.2).

² **Bráctea:** Término introducido en botánica por Linné. Llámese bráctea cualquier órgano foliáceo situado en la proximidad de las flores y distintos por su forma, tamaño, consistencia, color, etc., de las hojas normales, del cáliz y la corola.

Tabla 1.2

Clasificación de especies o clones de banano según tipo

Tipo	Especie o Clon
Diploides	<i>Musa textilis</i> <i>Musa ornata</i> <i>Musa basjoo</i> <i>Musa balbisiana</i> <i>Musa acuminata</i> Clon "Pahang"(AA) Clon "Figue Sucrée"(AA) Clon "Figue rose"
Triploides	Clon "Figue pomme"(AAB) Clon "Gros Michel" Clon "Valery" Clon "Gran Enano"
Tetraploides	Clon "IC-2" (AAAA)

Fuente: M. Soto - Elaboración: Johnny Jiménez

Los grupos de los cultivares acuminata e híbridos se designan por letras que indican su ploidía y su composición genómica. Se identifican con A los caracteres aportados por *Musa acuminata* y por B los de *Musa balbisiana*. Así por ejemplo, el grupo AAB indica que es un híbrido triploide, donde *Musa acuminata* aportó dos genomas y *Musa balbisiana* uno.

En la sección Eumusa se distinguen los cultivares triploides resultados del cruce entre *Musa acuminata* (AA) y *Musa balbisiana* (BB) que dan principio a las musáceas comestibles más importantes:

AAA: Bananos como Gros Michel y Cavendish (como Filipino, Gigante, Gran Enano, Valery y Williams).

AAB: Plátanos como Curraré y Dominico.

ABB: Guineos como Cuadrado y Pelipita.

Es trascendental indicar su alto valor nutricional en vitaminas A y C, fósforo y potasio, sin embargo contiene en pequeñas cantidades otros minerales y vitaminas (Ver Tabla 1.3). Su valor calórico es alto (104 cal./100 g.).

Tabla 1.3

Composición de la pulpa del Banano

Componentes	Unidades	Valores
Agua	Porcentaje	70
Carbohidratos	Porcentaje	27
Proteínas	Porcentaje	1.2
Fibra	Porcentaje	0.5
Grasa	Porcentaje	0.3
Cenizas	Porcentaje	0.9
Calcio	p.p.m.	80
Fósforo	p.p.m.	290
Hierro	p.p.m.	6
Potasio	p.p.m.	1920
B-caroteno (Vitamina A)	p.p.m.	2.4
Tiamina (Vitamina B1)	p.p.m.	0.5
Riboflavina (Vitamina B2)	p.p.m.	0.5
Piridoxina (Vitamina B6)	p.p.m.	3.2
Niacina	p.p.m.	7
Ácido ascórbico (Vitamina C)	p.p.m. ³	120

Fuente: Simmonds - Elaboración: Johnny Jiménez

³ p.p.m.: partes por millón

1.3 Caracteres Botánicos

Los bananos son plantas herbáceas perennes que pueden alcanzar los 6 m de altura y entre sus caracteres botánicos tenemos:

1.3.1 Rizoma o Bulbo

Llamado comúnmente cepa, produce una yema vegetativa que sale de la planta madre y soporta un cambio anatómico y morfológico de los tejidos y al crecer diametralmente forma el rizoma que alcanza una considerable altura.

Al dar origen a la planta, en la zona interna se originan las raíces y yemas vegetativas que serán los nuevos retoños o hijos. Cada planta nace en forma de brote y crece en la base de la planta madre o tallo principal de la cual depende para su nutrición hasta cuando produce hojas anchas y se autoabastece.

1.3.2 Sistema Radicular

Posee raíces superficiales se distribuye en una capa de 30 a 40 cms y se encuentra mayor concentración de raíces en la capa de 15 a 20 cms.

Las raíces son de color blanco, tiernas cuando emergen y se vuelven amarillentas y duras, su diámetro oscila entre 5 y 8 mm.,

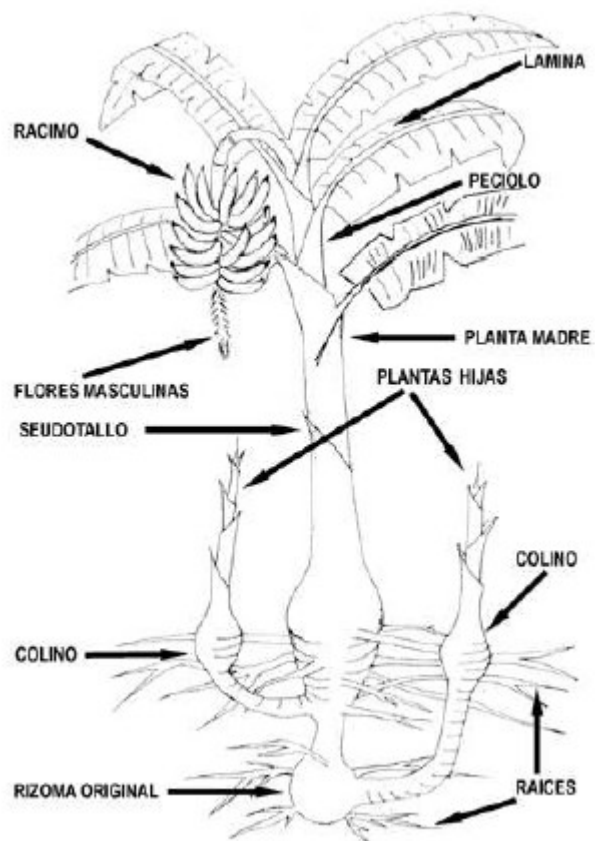
la longitud varía y puede llegar de 2,5 a 3 mts. en crecimiento lateral y hasta 1,5 mts. de profundidad.

El poder de penetración de las raíces del banano es débil, su distribución radicular está relacionada con la textura y estructura del suelo.

En el Gráfico 1.1 se muestra el rizoma y las raíces en la planta de banano.

Gráfico 1.1

Rizoma en la Planta de Banano



Fuente: CIBE-ESPOL - Elaboración: Johnny Jiménez

1.3.3 Sistema Foliar

Las hojas del banano se originan del punto central de crecimiento o meristema terminal, situado en la parte superior del Bulbo. Luego se nota precozmente la formación del pecíolo y la nervadura central terminada en filamento, lo que será la vaina posteriormente. La parte de la nervadura se alarga y el borde izquierdo comienza a cubrir el borde derecho, los cuales crecen en altura y forman los semilimbos. La hoja se forma en el interior del pseudotallo.

La hoja emerge enrollada en forma de cigarro. Una vez que ha salido la tercera parte de la longitud, la presencia de la coloración verde o pigmentación clorofílica se hace inmediatamente.

La producción de las hojas finaliza cuando emerge la inflorescencia, o sea cuando la planta “pare”.

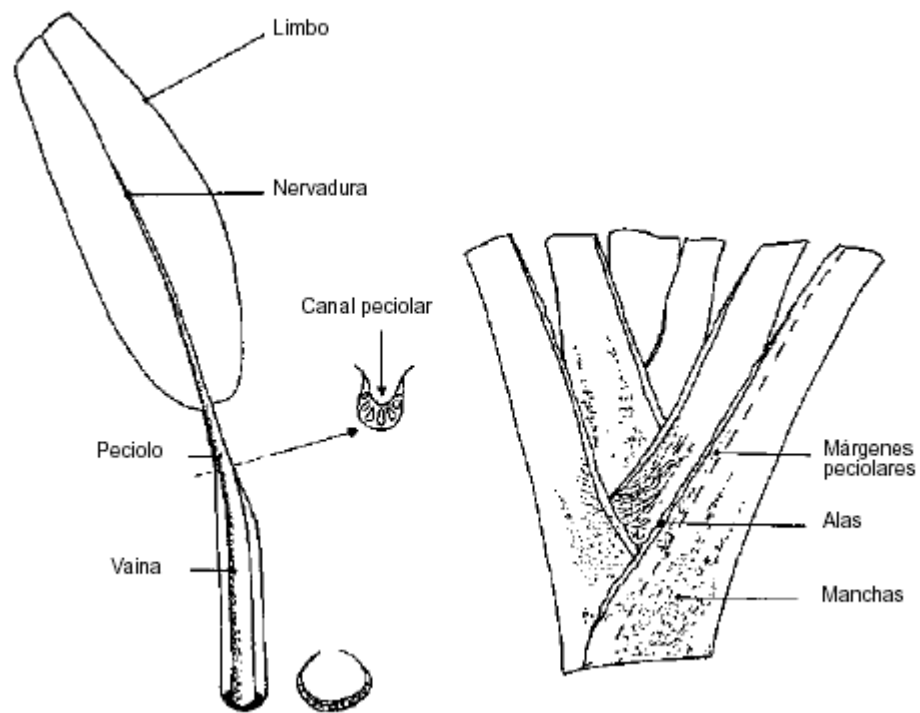
Una hoja adulta completa está formada por las siguientes partes:

- a) Vaina
- b) pecíolo
- c) nervadura
- d) limbo.

En el Gráfico 1.2 se muestran las partes de la hoja de banano.

Las dimensiones de los limbos varían de 70 a 100 cms. de ancho por 3 ó 4 mts. de largo, su espesor de 0.35 a 1 mm., tiene una cantidad de 11 a 12 hojas, al momento de la emisión floral.

Gráfico 1.2
Pecíolo/nervadura/hoja



Fuente: Champion 1963 (izq.), De Langhe 1961 (der.) - Elaboración: Johnny Jiménez

1.3.4 Inflorescencia

La yema floral es corta y cónica, este cambio en el punto de crecimiento marca el comienzo del crecimiento del tallo verdadero que ha permanecido a nivel del suelo y se convertirá en un tallo aéreo y crecerá por el centro del pseudotallo.

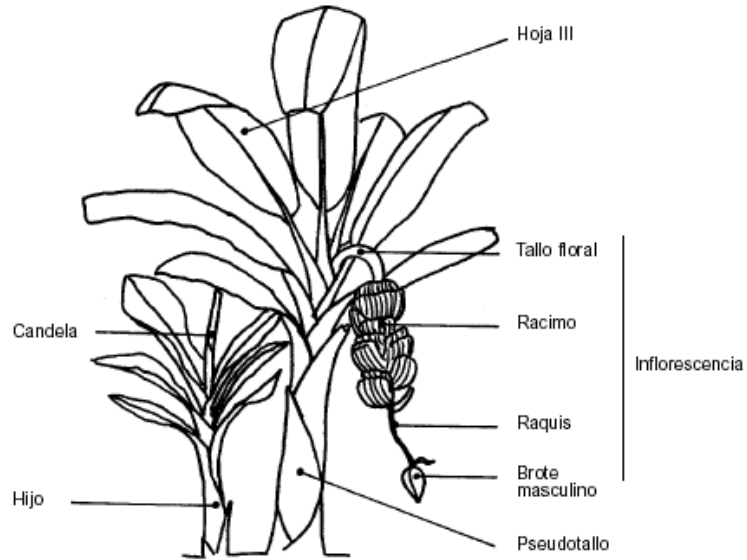
Las células de la yema floral continuarán creciendo longitudinalmente y hacia arriba por la parte central del pseudotallo para emerger por la parte superior de la planta.

Durante el crecimiento dentro del pseudotallo los brotes florales se diferencian y principian su desarrollo al emerger la bellota o inflorescencia, ya están diferenciados los brotes florales con el número de dedos y manos.

Las flores femeninas y las masculinas quedan expuestas, las flores femeninas agrupadas en grupos de dos filas apretadas y sobrepuestas, lo que se conoce con el nombre de mano y su distribución está en forma helicoidal a lo largo del eje floral; al conjunto de flores femeninas agrupadas en manos se lo conocen con el nombre de "RACIMO".

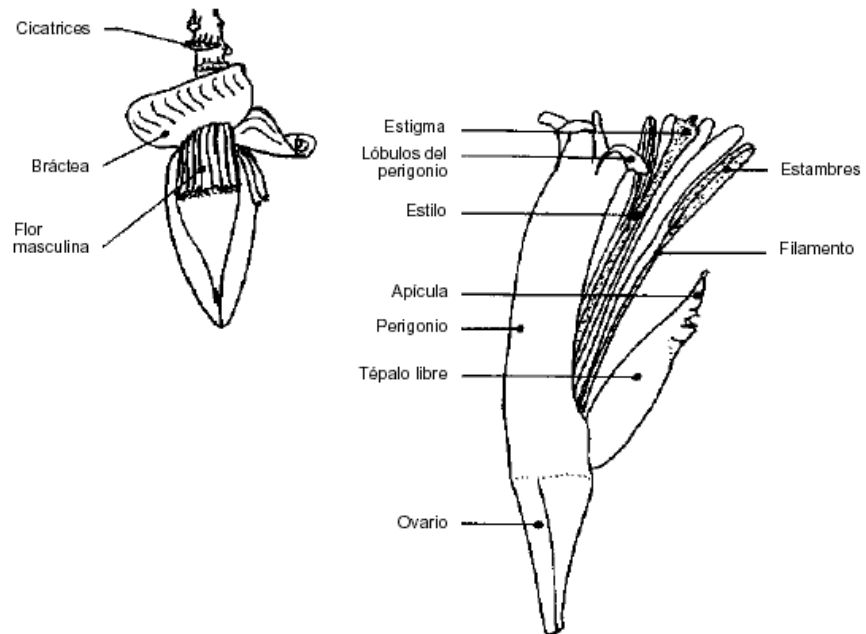
En el Gráfico 1.3 se muestra la inflorescencia y en el Gráfico 1.4 los brotes florales de la planta de banano.

Gráfico 1.3
Pseudotallo/hijos



Fuente: Champion (1963) - Elaboración: Johnny Jiménez

Gráfico 1.4
Brote masculino y flores



Fuente: Champion (1967) - Elaboración: Johnny Jiménez

1.3.5 El Fruto

Se desarrolla de los ovarios de las flores pistiladas por el aumento del volumen de las tres celdas del ovario, opuestas al eje central. Los ovarios abortan y salen al mismo tiempo los tejidos del pericarpio o cáscara y engrosan, la actividad de los canales de látex disminuye, cesando por completo cuando el fruto está maduro.

La parte comestible que resulta del engrosamiento de las paredes del ovario, es una masa de parenquima cargada de azúcar y almidón, en la madurez no hay células activas de taninos, ni tejidos fibrosos.

Los tres lóculos que forman el ovario se pueden separar longitudinalmente por sus planos de unión. En el lóculo inmediato a la cáscara se encuentra un surco fino longitudinal que corresponde a cada una de las haces vasculares principales.

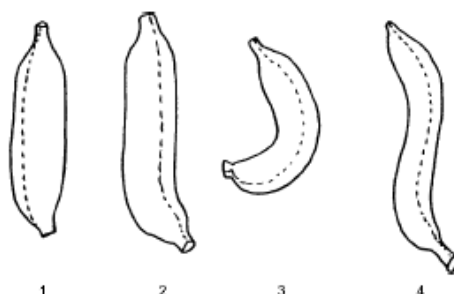
En un corte transversal aparecen muchos haces vasculares como puntos de color más claro sobre el fondo blanco del parénquima y del endocarpo que está presentado por paredes de células delgadas radiales, que en la madurez permiten separar la cáscara de la parte central de la fruta.

Los frutos son partenocárpicos, la longitud del fruto fluctúa entre 10 y 30 cm; un racimo pesa 11 Kg. en promedio, pero no es raro que algunos superen los 18 Kg.

El Gráfico 1.5 muestra la forma de los frutos de la planta de banano.

Gráfico 1.5

Forma de los frutos



Fuente: Dodds y Simmonds (1948) - Elaboración: Johnny Jiménez

1.4 Requerimientos Ecológicos

La planta de banano crece en las más variadas condiciones del suelo y clima; es necesario tomar en cuentas las condiciones más favorables y son:

1.4.1 Suelo

Los suelos aptos para el desarrollo del cultivo de banano son aquellos que presentan una textura: franco arenosa, franco arcillosa, franco arcillo limoso y franco limoso; además deben

poseer un buen drenaje interno y alta fertilidad, su profundidad debe ser de 1,2 a 1,5 mts.

Por otro lado deben poseer buenas propiedades de retención de agua, los suelos arcillosos con un 40% no son recomendables para el cultivo.

El Ph. del suelo para el banano es de 6,5; pudiendo tolerar un Ph. de 5,5 hasta 7,5.

1.4.2 Clima

El clima ideal es el tropical húmedo.

La temperatura adecuada va desde los 18,5° C a 35,5° C.

A temperaturas inferiores de 15,5° C se retarda el crecimiento.

Con temperaturas de 40° C no se han observado efectos negativos siempre y cuando la provisión de agua sea normal.

La pluviosidad necesaria varía de 120 a 150 milímetros de lluvia mensual o precipitaciones de 44 milímetros semanales. En nuestro Litoral Ecuatoriano es necesario realizar el riego porque tiene definido sus estaciones lluviosa y seca.

El banano requiere de buena luminosidad y ausencia de vientos fuertes.

1.4.3 Luminosidad

La luz no influye mucho en el desarrollo de la planta en condiciones tropicales, pero si lo hace en condiciones subtropicales, sin embargo al reducir la intensidad de la luz, el ciclo vegetativo de la planta se alarga. Por lo que el desarrollo de los hijos es afectado por la luz en cantidad e intensidad.

1.4.4 Resistencia a la sequía

El Banano ofrece poca resistencia a la sequía. Después de varios días de sequía se nota que las hojas se resecan unas después de otras, se marchitan las vainas y posteriormente ocurre la rotura del pseudotallo. El cormo por el contrario soporta cómodamente un período de sequía extenso y conserva la habilidad de volver a producir hojas mucho después de la desaparición del pseudotallo. Resultado de la sequía son las obstrucciones floral y foliar. La primera dificulta la salida de la inflorescencia dando como consecuencia, racimos torcidos y entrenudos muy cortos en el raquis que impiden el enderezamiento de los frutos. La foliar causa problemas en el desarrollo de las hojas.

1.4.5 Vientos

Las consecuencias del viento pueden variar desde provocar una transpiración anormal debida a la reapertura de las estomas foliar que es el daño más generalizado, ocasionando pérdidas en el rendimiento hasta de un 20%. Los vientos muy fuertes, superiores a 64 Km/h⁴, rasgan las hojas en los pecíolos, quiebran los pseudotallos o arrancan las plantas enteras inclusive. No es recomendable sembrar en áreas expuestas a velocidades del viento mayores a 20 Km/h.

1.5 Áreas Bananeras

En nuestro país el cultivo del banano se halla distribuido en todo el Litoral Ecuatoriano.

El ex-programa Nacional del Banano que controlaba y fomentaba el cultivo en el Ecuador, distribuyó las áreas bananeras de la siguiente forma:

1.5.1 Zona Norte

Ubicada en la provincia de Esmeralda y Pichincha y abarca las zonas bananeras de Quinindé, Esmeraldas y Santo Domingo de los Colorados.

⁴ Km/h: kilómetros por hora

1.5.2 Zona Central

Abarca las áreas bananeras de Quevedo, Provincia de los Ríos; La Maná, Provincia del Cotopaxi y Velasco Ibarra en la Provincia del Guayas.

1.5.3 Zona Subcentral

Localizada en la Provincia de Los Ríos, comprende las áreas localizadas en Pueblo Viejo, Urdaneta, Ventanas y el Cantón Balzar en la Provincia del Guayas.

1.5.4 Zona Oriental - Milagro

Se extiende desde Naranjito, Milagro hasta Yaguachi en la Provincia del Guayas.

1.5.5 Zona Oriental - El Triunfo

Situada en la Provincia del Guayas con jurisdicción en el Cantón El Triunfo, La Troncal en la Provincia del Cañar y Santa Ana en la Provincia del Azuay.

1.5.6 Zona Naranjal

Ocupa las localidades de Naranjal, Balao y Tenguel.

1.5.7 Zona Sur - Machala

Ubicada en la provincia de El Oro y comprende los Cantones: Santa Rosa, Arenillas, Guabo, Machala y Pasaje.

1.6 Variedades de Cultivo

En el Ecuador se cultiva las variedades conocidas como: GROS MICHEL Y CAVENDISH.

1.6.1 Gros Michel

Es una variedad grande y robusta, su pseudotallo tiene una longitud de 6 u 8 mts. de coloración verde claro con tono a rosa por algunas partes.

Su pecíolo en la base con manchas de color marrón oscuro. Los limbos son verdes siendo de 4 mts. de largo por 1 m. de ancho. Los racimos cuelgan verticalmente, son alargados de forma cilíndrica con 10 a 14 manos promedio.

Los frutos de la fila interna se muestran erectos pues su curva se encuentra en el pedúnculo y en la parte basal del fruto.

El ápice tiene forma de cuello de botella, el pedúnculo es más corto y robusto.

La maduración es regular y homogénea de sabor delicioso y textura delicada por lo que se le conoce con el nombre de “GUINEO DE SEDA” o “PLATANO DE SEDA” y es muy susceptible a las enfermedades como el caso del “MAL DE PANAMA” cuyo nombre científico es *Fusarium oxysporum cubense*.

1.6.2 Cavendish

Tiene 7 tipos principales y resistentes al “MAL DE PANAMA”.

1. Lacatan o Filipino
2. Poyo
3. Valery
4. Robusta
5. Giant Cavendish
6. Cavendish Enano
7. Grand Nain

A continuación se detallan algunas de éstas variedades:

1.6.2.1 Lacatan o Filipino

Alcanza alturas de 4 a 6 mts. con racimos largos de forma cilíndrica, los frutos son curvados en la parte apical. Los pedúnculos son largos y frágiles, el fruto es muy sensible

a los parásitos después de cosechados, la maduración es delicada y menos atractiva.

1.6.2.2 Poyo

Tiene una altura entre 2,8 mts. y 4 mts. lo que le hace más resistente al viento, sus hojas son más cortas, son de rápido desarrollo y se puede sembrar a mayor densidad, por lo que aumenta su productividad. Su racimo es compacto por tener sus entrenudos cortos y sus frutos son rectos y largos.

1.6.2.3 Giant Cavendish

Tiene una altura entre 2,8 mts. y 3 mts. sus limbos son cortos y grandes con falsos entrenudos cortos. Su racimo es de aspecto troncocónico. Las dos primeras manos se mantienen rectas pero están curvadas en las demás manos. Es una variedad muy productiva y la conformación de sus racimos es muy buena.

1.6.2.4 Cavendish Enano

Posee un pseudotallo con altura de 2 mts. sus limbos foliares son anchos y cortos. Los racimos presentan una forma troncocónica definida porque sus manos están más cerca

unas con otras y abiertas en relación al eje, los frutos son curvos.

1.7 Producción Mundial

Los bananos son cultivos perennes que se desarrollan con gran velocidad y pueden cosecharse durante todo el año. En el año 2000, se cultivó una extensión de aproximadamente 9 millones de hectáreas. El promedio de la producción mundial en el periodo de 1998 al 2000 fue de 92 millones de toneladas anuales y en el año 2001 se estimó en 99 millones de toneladas. Estas cantidades son una aproximación, porque la mayor parte de la producción mundial de banano, es decir casi el 85% proviene de zonas respectivamente pequeñas y granjas familiares en donde no hay estadísticas. En muchos países en desarrollo, gran parte de la producción de banano se destina al autoconsumo o se comercia localmente, desempeñando así una función primordial en la seguridad alimentaria.

Se estima que la producción mundial de banano aumentó un 30 por ciento durante los años noventa, debido en gran parte al incremento de la producción de Cavendish. No es posible determinar el valor exacto del cultivo puesto que sólo la séptima parte de los bananos producidos llegan al mercado internacional. El valor total del comercio internacional de banano fluctúa entre 4500 y 5000 millones de dólares americanos

anuales. América Latina es la primera región respecto a producción de Cavendish, seguida de Asia. El principal productor mundial de bananos Cavendish es la India, seguida de Ecuador, China, Colombia y Costa Rica. Estos 5 países juntos representan más de la mitad de la producción mundial de Cavendish.

1.8 Exportaciones

El comercio internacional de banano se basa primordialmente en la exportación de bananos del tipo Cavendish. El Cavendish sustituyó al Gros Michel en el comercio internacional debido a su resistencia a la enfermedad de Panamá y a su mayor productividad (hasta 60 toneladas por hectárea en plantaciones modernas). Los bananos Cavendish destinados a los mercados de exportación se producen ahora en todo el mundo, tanto en pequeñas explotaciones como en grandes plantaciones de miles de hectáreas. Alrededor de el 26% del total de los cultivos de Cavendish se exporta. Con ocho de cada 10 bananos, América Latina es con creces la mayor zona exportadora del mundo.

Los tres países más destacados son Ecuador, Costa Rica y Colombia. En Asia, el principal exportador es Filipinas; en África, Camerún y Côte d'Ivoire (Costa de Marfil); y en el Caribe, la República Dominicana y las Islas de Barlovento.

1.9 Importaciones

Los países desarrollados representan el 83% de las importaciones mundiales de banano. Los principales mercados son América del Norte, la Comunidad Europea, Japón y los países de Europa oriental y de la ex URSS. América del Norte y la CE⁵ obtienen más del 60% de las importaciones mundiales, mientras que Japón y la ex URSS tienen cerca del 12%. Se prevé que los Estados Unidos y la CE continúen desempeñando una función trascendental, a pesar del continuo descenso de su participación en el mercado mundial en el período 1985-2000.

El mayor crecimiento de las importaciones en los países desarrollados se produjo a finales de los años ochenta y comienzos de los noventa. Éste se aceleró a partir del año 1991 originando en parte a la liberalización económica de algunos países de planificación centralizada en Europa y Asia. En un periodo menor a 10 años estas economías emergentes han logrado obtener más del 10% de las importaciones mundiales, convirtiéndose en colaboradores de importancia en la economía mundial del banano. El crecimiento de la población y del poder adquisitivo en algunos países de Asia y Oriente Medio, en este período ha contribuido también al aumento de las importaciones.

⁵ CE: Comunidad Europea

1.10 Países Exportadores

Los países exportadores de Banano son: Ecuador, Costa Rica, Colombia, Guatemala, Honduras, Panamá, Islas de Barlovento (Santa Lucía, Dominica, Granada y San Kitts-Nevis, San Vicente), Jamaica, Belice, la República Dominicana, Surinam, Filipinas, Côte d'Ivoire, Camerún, Burkina Faso, Malí y Senegal. Cabe señalar que nuestro país es el mayor exportador de banano del mundo y su presencia en el comercio mundial va en aumento. Las exportaciones aumentaron de un millón de toneladas en el año 1985 a 3,6 millones de toneladas en el año 2000. Esto corresponde a un índice medio anual de aproximadamente el 9%, el más elevado de los cinco países exportadores más importantes. Este crecimiento se vio apoyado sobre todo por el aumento de la superficie plantada y en menor escala por el incremento de los rendimientos por hectárea. Alrededor del 18% de los bananos vendidos en el mundo durante los años setenta y ochenta provenían del Ecuador y este porcentaje creció en los años noventa hasta el 30%. La producción y el comercio del banano en el Ecuador ofrecen empleo directo a una cifra estimada de 380 000 personas.

1.11 Países Importadores

Algunos de los países importadores de banano que podemos mencionar son: Los Estados Unidos de América, Países de la Unión Europea, Japón, Rusia, China, Arabia Saudita, Chile, Argentina, Nueva Zelanda, Noruega, Bulgaria, Hungría, etc. Las marcas internacionales bajo las cuales aparece nuestro banano son: Bonita, Dole, Chiquita, Favorita, Del Monte y Goldfinger.

1.12 Principales Enfermedades

Una de las principales preocupaciones del Ministerio de Agricultura, es la protección permanente a las plantaciones bananeras de plagas y enfermedades, por medio de campañas fitosanitarias realizadas bajo la dirección y supervisión de los técnicos de campo.

Las Principales enfermedades del Banano son:

- Sigatoka Negra.
- Sigatoka Amarilla.
- Mal de Panamá.
- Moko.
- Erwinia o Cogollo negro.
- Picudo.
- Nemátodos.

Para efectos de éste estudio solo se analizará a la Sigatoka Negra.

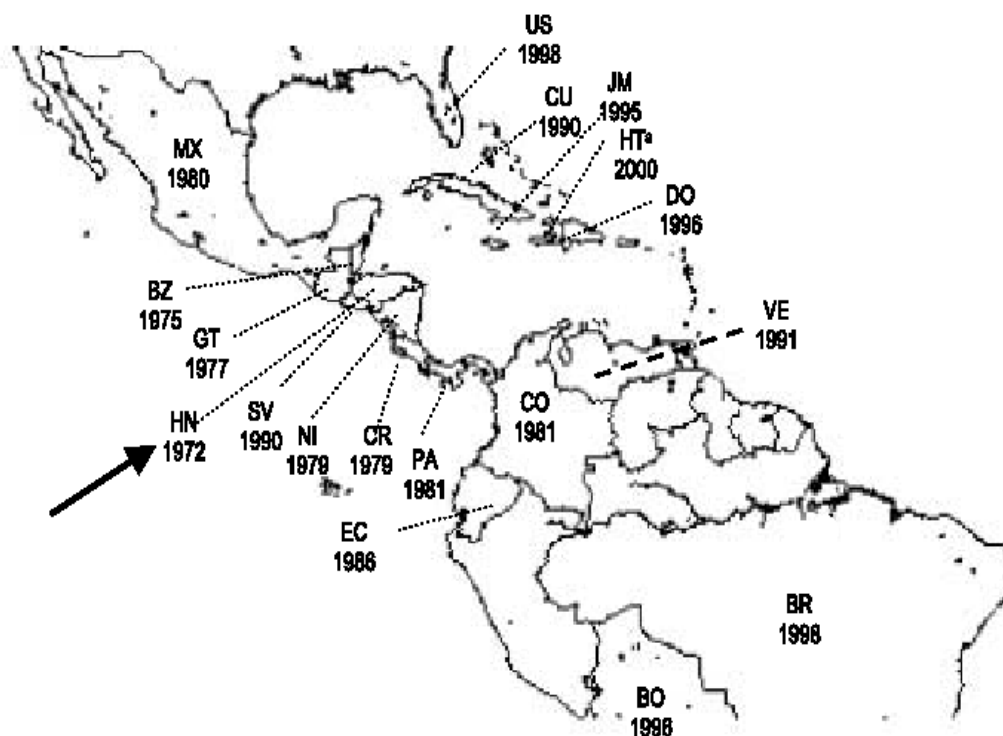
1.12.1 Sigatoka Negra: Origen

La Sigatoka negra es causada por el hongo *Mycosphaerella Fijensis*, se manifestó por primera vez en el Valle de Fiji en 1963, donde desplazó a la Sigatoka amarilla en muy poco tiempo. Después fue observada en septiembre de 1972 en el valle de Ulúa, Honduras, y luego se detectó en los siguientes países de Centro y Sur América y el Caribe: Belice (1975), Guatemala (1977), Costa Rica (1979), El Salvador y Nicaragua (1979), México (1980), Panamá (1981), Colombia (1981), Cuba (1990), Venezuela (1991), Jamaica (1995) y en Brasil (1998).

El Gráfico 1.6 muestra la aparición de la Sigatoka Negra en América.

Gráfico 1.6

Aparición de la Sigatoka Negra en América por país



Fuente: CIBE-ESPOL - Elaboración: Johnny Jiménez

En nuestro país se la detectó por primera vez el 30 de Enero de 1986 en la zona Norte de Esmeraldas en la Hacienda “Timbre”. Posteriormente apareció en las haciendas “Flamingo” y “Victoria”, también localizadas en la provincia de Esmeraldas y en la actualidad se ha extendido a todas las áreas bananeras del

Ecuador continental, ya se ha reportado su presencia en pequeñas áreas cultivadas en la provincia de Galápagos.

En este momento se encuentra propagada en las principales áreas productoras de musáceas en todo el mundo.

1.12.1.1 Sintomatología

La enfermedad presenta las siguientes características: punto de color café rojizos de 0.25 mm. de diámetro que aparecen en el envés de la hoja; posteriormente se presentan unas estrías de color café rojizo de 20 mm. de largo por 2 mm. de ancho paralela a la venación lateral de la hoja y visibles todavía en el envés. Luego las estrías se tornan de café oscuro a casi negro un poco más alargadas, visibles ya en el haz de la hoja.

La mancha sigue avanzando en su desarrollo y evolución y se hace más grande y ancha de forma elíptica y se rodea de un borde café oscuro visible cuando la hoja está mojada; luego de este estado la mancha se seca en el centro, se torna gris y se deprime, la lesión se rodea de un borde angosto negro bien definido, al unirse todas las lesiones la hoja se

torna negra y muere en 3 ó 4 semanas después de asomar los primeros síntomas.

1.12.1.2 Daños que ocasiona la Sigatoka Negra

Los daños que producen son:

- El área foliar se reduce en proporción a la severidad del ataque.
- La “quemazón” que produce la enfermedad afecta el proceso fotosintético.
- Se altera el proceso normal de maduración de la fruta, la misma que se torna muy prematura y en caso extremos amarilla antes de la cosecha.
- Las plantaciones afectadas por Sigatoka Negra producen racimos pequeños, dedos cortos y deformes, pulpa crema y sabor ligeramente ácido.
- Afecta el crecimiento normal de las plantas tanto en la emisión de las hojas como de los hijuelos.

1.12.1.3 Condiciones Ambientales

Las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad son:

- Un ambiente lluvioso.
- Alta temperatura
- Alta humedad
- Drenajes deficientemente mantenidos
- Mal control de malezas
- Desechos inapropiados
- No eliminación de hojas secas y enfermas
- Carencia de buenos programas de fertilización

1.12.1.4 Medidas de Control

En los países donde existe la enfermedad se han realizado las siguientes consideraciones:

1.12.1.4.1 Medidas de Cuarentena, eliminación y erradicación

La propagación del patógeno se da tres formas:

- a) Camiones que transportan bananos y plátanos en los que se usan hojas contagiadas para evitar magulladuras y quemaduras del sol en la fruta.

b) Material de siembra (hijos o cormos) sin ningún tratamiento preventivo, llevados a áreas no infectadas.

c) Dispersión de ascosporas por el viento. La dispersión es ineficiente si la distancia entre áreas infectadas y áreas no infectadas es mayor de 50 Km.

Las medidas de cuarentena han sido establecidas para demorar el avance de la enfermedad, llevada por el hombre a través de las barreras naturales como son: las montañas, mares, selvas u otros cultivos no hospederos que separan a las plantaciones de bananos y plátanos no infectadas, de los focos de infección.

Esas medidas han sido difíciles de hacer cumplir, debido a que el hombre usa rutas evasivas. Se debe tener en cuenta que al descubrirse un brote de la enfermedad en áreas nuevas, ya el patógeno tiene uno o dos años de establecido. La dispersión durante este período inicial, no siempre es posible detectarla, por lo cual la enfermedad abarca grandes extensiones, haciendo difícil el éxito de un programa de erradicación. El avance de la enfermedad demuestra

que las medidas de cuarentena para frenar la dispersión no han sido del todo eficientes.

1.12.4.1.2 Uso de productos químicos

Su control se realiza con fungicidas sistémicos y penetrantes en dosis que a continuación se mencionan:

Tabla 1.4

Uso de productos químicos para el control de Sigatoka Negra

Nombre	Dosis
TILT	0.4 lts/Ha. (sistémico)
CALIXIN	0.6 lts/Ha (penetrante)
BENLATE	0.25 a 0.28 kg/Ha. (sistémico)
ACEITE AGRICOLA	3.5 a 4 gal/Ha.

Fuente: CIBE-ESPOL - Elaboración: Johnny Jiménez

1.13 Mejoramiento Genético del Banano

La búsqueda de variedades resistentes a plagas y enfermedades ha sido una de los principales objetivos en la historia de los programas de mejoramiento del banano.

La selección y mejoramiento de los bananos comerciales, se inició en Jamaica con la fundación del Imperial College of Tropical Agriculture en el año de 1922. El objetivo principal del mejoramiento fue producir un

banano con todo lo bueno del "Gros Michel" pero resistente al "Mal o Enfermedad de Panamá". En 1930 la "Mancha de la Hoja" (Sigatoka) empezó a ser una enfermedad de importancia económica y otra resistencia deseable fue agregada a los objetivos.

Los primeros cruzamientos fueron exitosos y casi positivos, pero el proceso subsiguiente fue lento debido a la falta de información fundamental acerca de la botánica de esta planta y a la falta de un banco de germoplasma seleccionado específicamente con ese propósito.

Fue así como en la década siguiente los estudios botánicos fundamentales se llevaron a cabo en Trinidad en tanto que los operativos de selección de germoplasma resultaron más adecuados en Jamaica. Este proyecto se paralizó durante la Segunda Guerra Mundial. En 1947 se creó la Banana Research Scheme con el propósito de canalizar todas las investigaciones en este campo. Este proyecto permitió la selección de progenitores masculinos en el Imperial College of Tropical Agriculture (I.C.T.A.) así como el establecimiento de una estación de mejoramiento.

En la década de los cuarenta se conocía muy poco de la clasificación y estructura genética de los bananos. Con la colaboración de los centros en los países antes citados, los trabajos iniciales enseñaron algo más que la importancia de los factores básicos e indujeron a la aparición prolífica de métodos de mejoramiento.

El trabajo de los dos centros era formalmente coordinado, en 1947 en la primera de una secuencia por Banana Research Scheme (financiada entonces por la Commonwealth Development), por la fundación Welfare y por la industria jamaicana. La Cameroons Development Corp., contribuyó también hasta 1952.

En 1960 todo el trabajo estaba centralizado bajo la supervisión de Banana Board Research Department en la selección de los bananos obedeciendo en un primer período al mejoramiento del clon "Gros Michel" como resultado del deterioro que este clon sufría en ese momento por su incidencia muy alta de la "Enfermedad de Panamá" y la "Sigatoka".

En un periodo de 50 años, se destruyeron aproximadamente 40.000 ha de banano en Centro y Sur América. Esta circunstancia hizo que se dedicaran todos los esfuerzos para conseguir clones resistentes a esas enfermedades, pero que guardaran el mayor parecido posible con el fruto de "Gros Michel", ya que los mercados estaban habituados a ese patrón.

Los clones "Cavendish" fueron estériles para propósito de mejoramiento, mientras que con "Gros Michel" se pudo inducir a tetraploides de un tipo general aceptable. Los tetraploides por sí mismos, no prometen como material de mejoramiento, debido a que sus características deseables fueron disipadas por segregación en cualquier cruzamiento subsecuente. Así el mejoramiento empezó a concentrarse en la crianza de tetraploides primarios de polinización de "Gros Michel".

En 1959, la United Fruit Co., inició un programa en mejoramiento genético, para lo cual colectó germoplasma en varias expediciones al Pacífico Occidental y Sureste Asiático (1959 a 1961), introduciendo clones de Filipinas, Java, Malasia, Bali, Papua, Nueva Guinea e Islas Salomón. Con este material se inició el programa de mejoramiento genético en cuestión. Este material y el trabajo paciente y sistemático de investigadores como el Dr. Rowe, han permitido avanzar por el camino del mejoramiento genético de los bananos, hasta límites muy cercanos a la selección deseada.

Los trabajos de Rowe, se han dirigido a encontrar diploides resistentes a la "Sigatoka", especialmente a la "Sigatoka Negra", al Nematodo Barrenador *Radopholus Similis* y a la "Enfermedad de Panamá".

A mediados de los años setenta, se iniciaron nuevos programas de mejoramiento en todo el mundo para combatir la Sigatoka negra, incluida la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) y más recientemente, en 1983, EMBRAPA-CNPMPF en Brasil y CIRAD-FLOHR en Guadalupe y el África occidental.

En 1985 se fundó la Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano (INIBAP) como centro de investigación e información destinado a apoyar las investigaciones efectuadas en todo el mundo. Cuenta con un servicio de documentación especializado en el banano y comprende la mayor colección de Germoplasma de Musa del mundo.

El INIBAP trabajó durante la última etapa de los años ochenta y principios de los años noventa con programas Fitogenéticos regionales de América Latina, África y Asia. En África, trabajó con el Centre Africain de Recherches sur Bananiers et Plantains (CARBAP) en Camerún, y con el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) en Nigeria. Ambos institutos multiplicaron las variedades usualmente mejoradas por INIBAP, las distribuyeron a los programas regionales y ofrecieron formación técnica. En Asia, la INIBAP trabajó con la Red Regional para Asia y el Pacífico de INIBAP (ASPNET), creada en 1991 y conocida actualmente como la Red de Investigación Bananera para Asia y el Pacífico (BAPNET). Ésta ha colaborado en la evaluación, conservación

y recogida de Germoplasma de Musa, en la coordinación de la comunicación y colaboración regional entre los investigadores de Musa, y en la asistencia al intercambio intrarregional de información. A pesar de la creación de todas estas instituciones de investigación, los analistas creen que la cantidad de programas de mejoramiento de Musa es insuficiente tomando en consideración el valor del comercio mundial del banano y su importancia como producto de primera necesidad mundial.

Posteriormente en 1997 se creó PROMUSA (Programa global para el mejoramiento de Musa) para reforzar la colaboración y el intercambio de información entre investigadores involucrados en la mejora genética de Musa. Tiene como finalidad crear una amplia gama de híbridos apropiados para los cultivadores de banano de todo el mundo, y contiene las técnicas convencionales de mejoramiento basadas en la hibridación, con la ingeniería genética y las técnicas biotecnológicas.

Las técnicas de las variedades mejoradas por ingeniería genética son relativamente nuevas y las actividades de investigación están todavía muy limitadas a laboratorios especializados. En los últimos diez años, se ha dado un formidable esfuerzo de investigación a la producción de bananos modificados genéticamente. Se han creado protocolos y se

han cultivado estas plantas en determinadas condiciones, lo que confirma que el banano puede modificarse genéticamente.

Existen estudios para descubrir métodos de preparación del material vegetal básico (progenitores) para su transformación y para transferir las características genéticas requeridas. Este trabajo lo están realizando empresas comerciales, universidades de los Estados Unidos y de Europa e institutos de investigación especializados en fitología, puesto que su costo es elevado y se requieren laboratorios complejos (con instalaciones de confinamiento adecuadas) además de contar con personal muy calificado, la distribución de una variedad de banano transformada para su producción comercial no es probable que se lleve a cabo este decenio.

La disponibilidad de variedades resistentes a las enfermedades está claramente vinculada con el aumento de los rendimientos de los agricultores que producen para consumo local, tanto en banano como en plátano. Los agricultores que proveen a los mercados locales bananos de diversos tipos (bananos para postre, cocción y molturación, y plátanos) precisan disponer de clones resistentes, pero muchos carecen de recursos económicos para pagar la tecnología.

No obstante, la transformación de todas las variedades que en la actualidad se cultivan en países como Uganda o la India, donde hay una gran diversidad que permite satisfacer determinadas preferencias, no es realista. Además, esto no podría ser provechoso, ya que su éxito podría llevar a la pérdida futura de la diversidad genética, preocupación que está siendo analizada por la INIBAP, cuando al cambiar las preferencias de las poblaciones, se eliminan antiguos clones específicamente menos productivos. A los productores les importa conservar la diversidad de variedades, incorporando al mismo tiempo nuevos adelantos que promuevan la productividad.

Posiblemente la biotecnología pueda brindar nuevas oportunidades para la seguridad alimentaria allí donde el banano es una fuente importante de alimento, especialmente entre los pequeños agricultores de los países en desarrollo. Si se logran muchos genes diferentes para la resistencia a las enfermedades, la regulación de la maduración, etc. y se pusieran a disposición de los pequeños agricultores muchos clones diferentes del banano con genes diferentes, el riesgo de que cualquier nueva enfermedad ocasionara daños imprevistos e importantes sería mínimo. Por lo tanto, la biotecnología podría mejorar efectivamente la situación de los pequeños agricultores, permitiendo extender la

campaña y colocando a disposición del consumo local más frutos y durante períodos más largos.

1.13.1 Hibridación

La hibridación es un procedimiento muy usado en el mejoramiento de plantas y animales, mediante el cual las características genéricas de los individuos se modifican por cruzamiento sexual, obteniéndose un híbrido genotípicamente diferente a sus progenitores, pero que mantienen características de ambos en proporciones variables.

Cheesman (1931), Larter (1954), Shepherd (1954) y De Langhe (1961) describen las técnicas de hibridación en banano, como una operación que no presenta gran dificultad, basta con aislar inflorescencias o las flores femeninas durante el periodo de receptividad y situar el polen fresco sobre los estigmas. Las semillas que se obtienen en número variable, generalmente muy pequeñas, se hacen germinar y las pequeñas plantas se desarrollan en invernadero, para luego trasladarse al campo donde se seleccionan por sus características deseables.

1.13.2 Estudios Biotecnológicos en Sigatoka Negra: Clones

Promisorios

La Sigatoka Negra puede ser controlada, pero el costo de los fungicidas químicos el cual fluctúa cerca de US\$ 800 a US\$ 1000 por hectárea/ año, es prohibitivo. En Guatemala, por ejemplo, algunos productores de bananos y plátanos rocían unas 50 veces al año. La aplicación masiva de químicos en las plantaciones bananeras también causa la indignación de los ambientalistas y consumidores preocupados. Por lo tanto, la mejor alternativa para el control de la Sigatoka Negra es el mejoramiento de híbridos resistentes o clones promisorios de banano.

En la actualidad, todos los cultivares comerciales de banano y plátano son susceptibles a la enfermedad, aún los resistentes a la Sigatoka Amarilla. El "guineo cuadrado" y el "pelipita" tienen niveles de resistencia (grupo ABB). La mayoría de los híbridos tetraploides tienen diferentes niveles de resistencia, pero el mayor grado de resistencia lo presentan los diploides silvestres *Musa acuminata* subespecie *burmannica* y la subespecie *malaccensis*. Este alto nivel de resistencia ya se ha incorporado a los diploides machos para producir nuevos cultivares de bananos. Estos mismos

diploides pueden usarse en cruces para producir plátanos AAB resistentes.

La FHIA⁶ ha estado en la primera línea de mejoramiento de los nuevos y promisorios híbridos de bananos, bananos de cocción y plátanos resistentes a la Sigatoka Negra, con potencial agronómico superior, entre estos cultivares se encuentran los siguientes: FHIA-01, FHIA-02, FHIA-03 y FHIA-21; en Venezuela, éstos han presentado niveles admisibles de resistencia a la Sigatoka Negra; igual reacción han mostrado los cultivares venezolanos: CNN-01 y CNN-12-D. Se prevé la evaluación del comportamiento en las diferentes localidades de ese país.

En Cuba, durante los años 1994, 1995 y 1996, resultaron con alta resistencia a la Sigatoka Negra los cultivares: FHIA-02, FHIA-03 y FHIA-18.

Posteriormente la FHIA ha desarrollado un significativo programa de mejoramiento genético convencional en musáceas, que ha deparado una considerable cantidad de híbridos mejorados, dentro de los cuales se encuentran los tetraploides de banano (Musa

⁶ **FHIA:** La Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, FHIA, es una organización privada, sin fines de lucro, constituida para generar y transferir tecnología y contribuir a la expansión y mejoramiento del sector agrícola para beneficio del productor y el fortalecimiento de la economía del país.

AAAA) FHIA-23 (Highgate x SH-3362) y SH-3436 (Highgate x SH-3142). De este último una selección realizada en Cuba originó el SH-3436-9. FHIA-23 posee buenas características agronómicas y organolépticas y además resistencia parcial a la Sigatoka negra y al Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*). Por su parte, el híbrido SH-3436-9 produce también satisfactoriamente, sus frutos son de buen sabor, tiene resistencia parcial a la Sigatoka negra y bajo índice reproductivo de *Radopholus Similis*.

Existe una considerable cantidad de información de diferentes partes del mundo respecto a la reacción a enfermedades en los híbridos de banano desarrollados por la FHIA, pero es muy escasa la información disponible sobre la respuesta de estos a prácticas de manejo de gran relevancia para una óptima producción, como el deshije y su efecto sobre el comportamiento de los híbridos ante enfermedades como la Sigatoka negra. Con un sistema de deshije orientado, por ejemplo, la línea de siembra, así como la densidad original de población, se mantienen durante un mayor lapso de tiempo con poca alteración, contrario a lo que ocurre con el deshije tradicional.

Tanto FHIA-23 como SH-3436-9 podrían convertirse en un valioso complemento a la producción de bananos provenientes del

subgrupo Cavendish cuyos cultivares son más susceptibles a la Sigatoka negra.

1.14 Mecanismos que regulan la aprobación y seguridad de los cultivos mejorados genéticamente.

La novedad de estos avances y las posibilidades que abren, han hecho que los gobiernos de todo el mundo profieran sus leyes bajo el criterio de precaución, que significa que cada una de estas mejoras debe ser valorada caso por caso, y como si se tratara de un nuevo medicamento se autorice o rechace ante la más mínima duda sobre su seguridad. Así, las variedades presentemente autorizadas lo han hecho acorde con las pautas recomendadas por comités de expertos como los de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization, FAO), Organización Mundial de la Salud (OMS) y otras Instituciones de reconocido prestigio.

En el periodo de aprobación, se evalúan tanto las características que corresponden a la mejora introducida (gen, proteína a la que da lugar, etc.) como el cultivo mejorado en sí (comportamiento agronómico, impacto sobre especies no objetivo, etc.) y tanto desde el enfoque medioambiental, como en lo que concierne a su seguridad de uso para alimentación humana o para fabricación de alimentos. Ninguna de estas

evaluaciones, es requerida para variedades que se hayan mejorado por otras técnicas, incluyendo aquellas en las que las técnicas son mucho más agresivas con el genoma de la planta e impredecibles en los resultados.

Podemos estar seguros de que hay una legislación estricta que vela para que ninguna de estas aplicaciones llegue a la fase comercial con posibles daños medioambientales o sanitarios que no compensen su utilidad, y la prueba fehaciente de que esto es así, es que tras años de comercialización, y cuando se suman millones de hectáreas sembradas con estas variedades, no ha habido ni un sólo incidente sanitario.

1.15 Algunos conceptos ligados al estudio de estabilidad genética

1.15.1 Genotipo: El genotipo está constituido por toda la información genética que posee el individuo; se podría decir que el genotipo son los planes para la construcción de un individuo nuevo; y para llevar a efecto la construcción se necesitan los materiales que proporcionará el ambiente en el cual se desarrolla.

1.15.2 Ambiente: Es un término general que cubre todas las condiciones bajo las cuales crecen las plantas, y puede abarcar lugares, años, prácticas de manejo o una combinación de estos factores. Generalmente cada lugar o año es considerado un ambiente separado.

1.15.3 Efectos principales: Efecto Ambiente (puro)

Refleja los distintos potenciales ecológicos de los sitios y las condiciones de manejo, no tiene directa relación para el mejoramiento o recomendación de variedades.

1.15.4 Efectos principales: Efecto Genotipo (puro)

Refleja el efecto de los genotipos independientemente del ambiente. Relevante sólo en ausencia de interacción Genotipo x Ambiente.

1.15.5 La interacción genotipo x ambiente

La interacción genotipo x ambiente es la respuesta diferencial de los genotipos cuando se los evalúa en diferentes condiciones ambientales. La interacción genotipo x ambiente es un fenómeno complejo, ya que implica condiciones ambientales y climáticas, factores edafológicos y todos los factores fisiológicos y genéticos que determinan el crecimiento y desarrollo de las plantas.

1.16 Estabilidad y adaptabilidad

El investigador trata de encontrar los genotipos que muestren una buena estabilidad, por lo que existe una gran cantidad de modelos estadísticos para el análisis de la estabilidad y la interacción Genotipo x Ambiente.

No existe una única definición de estabilidad. Se utilizan términos como estabilidad genotípica, estabilidad del rendimiento, adaptación y adaptabilidad, etc. Cada uno de ellos con un significado diferente.

A continuación se dan algunas definiciones sobre adaptabilidad y estabilidad.

1.16.1 Adaptabilidad⁷: Es la propiedad o habilidad de un genotipo o población de genotipos que permite la alteración de las normas de adaptación en respuesta a distintas presiones de selección.

Por el contrario, se dice que **adaptación** es un estado de adecuación a un ambiente dado.

Simmonds (1962), Lin et al. (1986), Lin y Binns (1994) dan algunas diferencias entre los siguientes conceptos:

1.16.2 Adaptación específica de un genotipo: Es la adaptación concreta del genotipo correspondiente a un ambiente determinado.

1.16.3 Adaptación genotípica general: Se refiere a la capacidad de los genotipos de aprovechar ventajosamente los estímulos ambientales.

1.16.4 Adaptación específica de una población: Es la parte de la adaptación específica de una población heterogénea que es atribuible a la interacción entre los componentes, más que a la adaptación de los componentes por si mismos.

⁷ Simmonds, 1962.

1.16.5 Adaptación general de una población: Es la capacidad de poblaciones heterogéneas para adaptarse a variedad de ambientes.

1.17 Estabilidad

Becker (1981) diferenció dos tipos de estabilidad genotípica: En primer lugar “Estabilidad Biológica”, mediante la cual un genotipo mantiene un rendimiento constante en cualquier ambiente (varianza estadística mínima), este tipo de estabilidad no es interesante en la agricultura moderna, donde se requiere que los genotipos respondan a condiciones del medio que hayan sido mejoradas. Por consiguiente, la necesidad de obtener elevadas respuestas genotípicas a ambientes favorables lleva al concepto de “Estabilidad agronómica”, por el cuál un genotipo es considerado estable si rinde bien respecto al potencial productivo de los ambientes evaluados, y que representa una mínima interacción genotipo x ambiente, lo cual está asociado a la pretensión de obtener un incremento del rendimiento en respuesta a mejoras ambientales.

Los genotipos que presentan una elevada estabilidad agronómica para una gran cantidad de ambientes, se dice que presentan adaptabilidad general o amplia (Finlay y Willkinson, 1963). Mientras que, si la estabilidad agronómica se presenta sobre pocos ambientes, se dice que el genotipo tiene adaptación específica o estrecha.

Lin et al. (1986) definen tres tipos de estabilidad.

1.17.1 Estabilidad Tipo 1: Se refiere a una mínima varianza entre ambientes. La estabilidad de tipo 1 se relaciona a la definición de estabilidad bajo un concepto biológico.

1.17.2 Estabilidad Tipo 2: Define a un genotipo como estable si su respuesta a los ambientes es paralela a la de la media de todos los genotipos ensayados. El tipo 2 es equivalente al concepto agronómico.

1.17.3 Estabilidad Tipo 3: Si la suma de cuadrados residual de la regresión sobre el índice ambiental es pequeña, considerando al índice ambiental como variable independiente (parámetro $S_{d_i}^2$ de Eberhart y Russell, 1966). La estabilidad de tipo 3 se basa en el concepto de estabilidad de Eberhart y Russell (1966), y se fundamenta en que la variabilidad de un genotipo con respecto al ambiente puede ser dividida en dos partes: una predecible que corresponde a una posible regresión entre genotipos y ambientes, y otra impredecible, correspondiente a los cuadrados medios de la desviación estadística respecto a la regresión lineal. Un genotipo se consideraría estable si la suma de cuadrados residual es pequeña.

Posteriormente, Lin y Binns (1988) definieron un cuarto concepto de estabilidad.

1.17.4 Estabilidad Tipo 4: Se refiere a variaciones pequeñas de un genotipo en una misma localidad pero en diferentes años. La estabilidad de tipo 4 permite medir la capacidad de un genotipo, para resistir variaciones ambientales impredecibles, algo que no estiman los otros tres tipos de estabilidad.