



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN
DE ARROZ Y MAÍZ
CON ALTO VALOR NUTRICIONAL
(CULTIVOS BIOFORTIFICADOS)



PANAMÁ, 2012

**ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN
DE ARROZ Y MAÍZ
CON ALTO VALOR NUTRICIONAL
(CULTIVOS BIOFORTIFICADOS)**

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
Departamento de Ediciones y Publicaciones.

Panamá, 2009
28 p.

ISBN: 978-9962-8960-1-2



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

**ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN
DE ARROZ Y MAÍZ
CON ALTO VALOR NUTRICIONAL
(CULTIVOS BIOFORTIFICADOS)**

*Román Gordon Mendoza
Ismael Camargo Buitrago*

PANAMÁ, 2012

Junta Directiva

Ing. Olmedo Espino
Ministro de Desarrollo Agropecuario
Presidente

Ing. Roberto Jiménez
Gerente General del Banco de
Desarrollo Agropecuario
Miembro

Dr. Julio Escobar V., Ph.D.
Secretario Nacional de
Ciencia, Tecnología e Innovación
Miembro

Dr. Juan Miguel Osorio, Ph.D.
Decano de la Facultad de
Ciencias Agropecuarias
Miembro

Dr. Jorge Aued H.
Director General
Secretario

Cuerpo Directivo

Dr. Jorge Aued H.
Director General

Ing. Benjamín Name, M.Sc.
Subdirector General

Ing. Franklin Becerra B., M.Sc.
Secretario General

Dr. Julio Santamaría Guerra, Ph.D.
Director Nacional de
Centros de Investigación

Ing. Carmen Y. Bieberach, M.Sc.
Directora Nacional de
Investigación Agrícola

Dr. Manuel De Gracia, Ph.D.
Director Nacional de
Investigación Pecuaria

Ing. Ladislao Guerra M., M.Sc.
Director Nacional de
Productos y Servicios

Ing. Emigdio Rodríguez Q., M.Sc.
Director del CIA Occidental

Lic. Luz Graciela Cedeño
Directora Nacional de
Administración y Finanzas

M.V. Melvin Espino
Director del CIA Azuero

Ing. Maximino Batista
Director del CIA Central

Ing. Andrés Acosta
Director del CIA Trópico Húmedo

M.V. Victor Escudero
Director del CIA Oriental a.i.

Ing. Pío Tuñón
Director del CIA-Recursos Genéticos

Presentación

La pobreza y mala nutrición de las personas, son flagelos que están estrechamente relacionadas entre sí. Los habitantes de las zonas rurales y principalmente la población indígena, se ven fuertemente afectados por los altos índices de desnutrición. El combate de estos males, es una obligación de la sociedad en su conjunto y puede realizarse de diversas formas.

El Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, en su afán de generar alternativas para combatir la pobreza y desnutrición, viene realizando investigaciones a través de la Dirección Nacional de Investigación Agrícola, como las relacionadas con el desarrollo, evaluación y adaptación de variedades de distintos cultivos con un mayor valor nutricional. Estas actividades se han realizado gracias al apoyo financiero de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Senacyt) y al apoyo logístico del Patronato del Servicio Nacional de Nutrición (PSNN).

Los cultivos con alto valor nutricional, también son conocidos como cultivos biofortificados, constituyendo una alternativa viable para el combate de la desnutrición en la población de las áreas rurales e indígenas; así como en general, para todas las personas que los consuman. Esto se debe fundamentalmente por el mayor contenido de micronutrientes (Fe y Zn) o de proteínas que contienen estos cultivares, en comparación con las variedades criollas o las variedades hasta ahora cultivadas. Con el consumo de cultivos de alto valor nutricional, se espera mejorar la calidad alimenticia de la población de modo que, conjuntamente con otras alternativas nutricionales, se pueda reducir los actuales niveles de desnutrición en el país.

La presente publicación resume el trabajo de los tres últimos años de investigación (2006 – 2008); en la misma se presentan las nuevas variedades de arroz y maíz generadas, así como las alternativas tecnológicas desarrolladas para el adecuado manejo agronómico de estos cultivos.

Contenido

INTRODUCCIÓN

Aceptación de los Cultivos Biofortificados..... 2

MAÍCES DE ALTA CALIDAD PROTEICA (QPM)..... 3

Contenido Proteico del Maíz..... 3

Características y Desarrollo de Cultivares de Maíces QPM..... 3

Selección de Cultivares de Maíces QPM en Panamá..... 4

Características Generales de las variedades IDIAP-MQ-02 e IDIAP-MQ-07..... 4

Recomendaciones para el Manejo Integrado del Cultivo Maíz..... 6

Parcelas de Validación..... 7

ARROZ BIOFORTIFICADO..... 8

Ventajas del Arroz Biofortificado..... 8

Contenido de Hierro y Zinc en el Arroz..... 9

Efecto del Arroz Biofortificado (hierro y zinc) en la Nutrición Humana..... 10

Selección y Desarrollo de Cultivares de Arroces Biofortificados..... 11

Selección de Cultivares de Arroces Biofortificados en Panamá..... 11

Características Generales de los Cultivares de Arroces Biofortificados..... 12

Recomendaciones para el Manejo Integrado del Cultivo de Arroz..... 12

BIBLIOGRAFÍA..... 14

ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ARROZ Y MAÍZ CON ALTO VALOR NUTRICIONAL (CULTIVOS BIOFORTIFICADOS)

Román Gordon Mendoza¹ ; Ismael Camargo Buitrago²

INTRODUCCIÓN

En Panamá, aproximadamente cuatro de cada 10 personas viven en pobreza total (37.2%) y del total de la población el 16.7% o sea 511,800 panameños, se encuentran en situación de pobreza extrema. La población de Panamá menor de 5 años (60 meses), o sea un 20.6 %, padece de desnutrición crónica, lo que representa una baja talla para su edad. Un estudio realizado en el país, mostró que existen alrededor de unos 600.000 menores con más de 45% de desnutrición crónica. Además, indicó que el déficit alimentario es muy severo en las zonas indígenas, donde el 72.3% de los infantes, incorporados a labores agrícolas, padecen de dicho mal. En tanto que, en las áreas rurales no indígenas, poco más de la mitad de los residentes son pobres (54.2%), y una de cada cinco personas (22.3%) se encuentra en situación de pobreza extrema (MEF 2005).

El trabajo que se hace actualmente para combatir la deficiencia nutricional de micronutrientes en el mundo en desarrollo se orienta a suministrar suplementos de vitaminas y minerales a las mujeres embarazadas y niños pequeños. Los alimentos se fortifican con esos nutrientes a través de procesos que se aplican en post-cosecha. Se han logrado muchos resultados con este enfoque. En las regiones que gozan de una infraestructura adecuada y tienen mercados bien establecidos que distribuyen alimentos procesados como sal, azúcar y harina de cereales. La fortificación de los alimentos puede mejorar enormemente el consumo de micronutrientes de las poblaciones vulnerables.

Por otro lado, la fortificación y el suministro de suplementos de micronutrientes de carácter comercial tienen sus limitaciones. Es posible que los alimentos fortificados industrialmente, no lleguen a la gente que más los necesita, porque la infraestructura de mercados es insuficiente. Del mismo modo, el suministro de suplementos depende de una infraestructura de salud altamente funcional, que muy pocas veces se encuentra en los países en desarrollo. Se necesitan, por tanto, nuevos enfoques para complementar lo que se está haciendo.

El significado de biofortificación es: *“Un Nuevo Paradigma para la Agricultura y una Herramienta para Mejorar la Salud Humana”.*

La introducción de cultivos biofortificados, es decir, variedades e híbridos mejorados que tienen un contenido más alto de minerales y vitaminas, complementará el trabajo que actualmente se hace en nutrición y proporcionará una forma sostenible, de bajo costo para llegar a la población cuyo

¹Ing. Agr. M.Sc. Protección de Cultivos. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Azuero (CIAA).
e-mail: gordon.roman@gmail.com

²Ph.D. Fitomejoramiento. IDIAP Centro de Investigación de Recursos Genéticos (CIARG). e mail: icamargo@idiap.gob.pa

acceso a los mercados o a los sistemas formales de atención de la salud es limitado. Una vez hecha la inversión en el desarrollo de variedades mejoradas respecto a sus caracteres nutricionales, en sitios de investigación centralizados, las semillas obtenidas irán a muchos países donde se adaptarán a nuevas condiciones de desarrollo. Las variedades biofortificadas tienen la capacidad de dar beneficios continuos, año tras año, en todo el mundo en desarrollo, a un costo recurrente inferior al del suministro de suplementos o al de la fortificación en postcosecha.

El enfoque de la biofortificación se apoya en principios científicos sólidos. Esta investigación se ha realizado con el apoyo del Proyecto Regional conocido como Agrosalud, así como de los centros internacionales de investigación como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Centro Internacional de la Papa (CIP) que investigan en los principales cultivos de este proyecto.

Se ha analizado la factibilidad de un enfoque de fitomejoramiento que permita incrementar el contenido de micronutrientes de algunos cultivos de primera necesidad, y ha encontrado lo siguiente:

- la variación genética útil que existe en cultivos importantes de primera necesidad es considerable;
- los programas de mejoramiento pueden manejar fácilmente los caracteres de calidad nutricional puesto que son, para algunos cultivos, altamente heredables y fáciles de seleccionar;
- hay suficiente estabilidad en los caracteres deseados y la hay para una gran diversidad de ambientes agrícolas; y
- los caracteres de alto contenido nutricional pueden combinarse con características agronómicas de calidad superior y con caracteres de alto rendimiento.

Aceptación de los Cultivos Biofortificados

Las especies que contempla Agrosalud se cultivan ya en todo el mundo y se consumen en los hogares de escasos recursos del mundo en desarrollo; esto significa que ni los agricultores ni los consumidores tienen que cambiar su régimen alimenticio para beneficiarse de la biofortificación. Por otra parte, el trabajo de mejoramiento que aumentará el contenido de minerales no debe alterar, necesariamente, la apariencia, el sabor, la textura o las cualidades culinarias de los alimentos preparados con productos del cultivo mejorado.

Cuando los científicos logren combinar un alto contenido de micronutrientes con un alto rendimiento, las variedades resultantes (y mejoradas respecto a sus caracteres nutricionales) tendrán prácticamente garantizados su adopción por los agricultores y su éxito en los mercados. De hecho, los estudios que indican que un alto nivel de minerales en la semilla contribuye también a la nutrición de la planta, han creado expectativas respecto a la mayor productividad que tendrían las líneas biofortificadas.

Hay una forma de asegurarse de que los agricultores se interesen por las nuevas variedades: y una de ellas es permitir que opinen sobre los caracteres que conviene mejorar en las plantas. El

fitomejoramiento participativo, en el que los científicos consideran los puntos de vista y las preferencias de los agricultores durante el proceso de mejoramiento, puede ser más efectivo respecto a los costos que confinar el trabajo de mejoramiento en las estaciones de investigación.

MAÍCES DE ALTA CALIDAD PROTEICA (QPM)

Contenido Proteico del Maíz

En el maíz existen cuatro clases principales de proteínas: La globulina, albúmina, prolamina (zeína) y glutelina. La zeína es una proteína de pobre calidad y constituye más de la mitad del contenido de proteína del maíz normal. El gen Opaco-2 disminuye el contenido de zeína en el grano hasta en un 50% y aumenta los niveles de lisina y triptófano. El maíz con alta calidad proteica también llamado QPM, por sus siglas en inglés (Quality Protein Maize) es portador del gen Opaco-2, es decir son ricos en lisina y triptófano, contando con el doble de unidades (g/100 g de proteína) que los maíces normales.

Los aminoácidos lisina y triptófano son considerados esenciales para el ser humano y animales monogástricos. La lisina es un aminoácido esencial para la síntesis de proteína así como para el metabolismo de los carbohidratos y ácidos grasos. Igualmente, mejora la producción de energía y la utilización y absorción del calcio. Además, este aminoácido se requiere para el crecimiento y desarrollo normal del ser humano, puede usarse para sintetizar proteínas, el tejido conectivo y los neurotransmisores. Otra propiedad de la lisina es que mejora el depósito de calcio en la matriz ósea y se requiere para producir acetil CoA, un componente crítico en el metabolismo de los carbohidratos para generar energía (Solórzano 1996). Por otro lado, el triptófano es uno de los 20 aminoácidos en el código genético. Como aminoácido esencial, ayuda a que el organismo elabore sus propias proteínas; es esencial para que el cerebro segregue la serotonina que es un neurotransmisor cerebral.

Características y Desarrollo de Cultivares de Maíces QPM

En el Cuadro 1, se presenta información sobre los maíces QPM, maíces normales y la comparación entre ellos y la leche. Como puede observarse, los maíces QPM son superiores a los normales, tanto en Lisina como Triptófano. En cuanto abalance de nitrógeno y calidad proteica, presenta niveles muy cercanos a los encontrados en la leche. Lo antes planteado da a los maíces QPM una ventaja sobre los demás tipos de maíces, ya que tienen una mayor contribución a la nutrición de las personas, en especial los niños, más si éstos viven en áreas de extrema pobreza y con altos niveles de desnutrición.

CUADRO 1. COMPARACIÓN ENTRE MAÍCES NORMALES, DE ALTA CALIDAD PROTEICA Y LA LECHE.

Alimento	Lisina * (%)	Triptófano* (%)	Balace Nitrógeno	Calidad Proteica % en leche	Digestibilidad de la Proteína (%)
Maíz Normal	2.8	0.63	0.31	39	75.0
Maíz QPM	5.4	1.70	0.72	90	73.5
Leche			0.80	100	82.3

Fuente: Bressani *et al.* 1969; Viteri *et al.* 1972.

A partir del descubrimiento del gen Opaco-2, a inicios de los años 70, el aparente desinterés en el desarrollo y adopción de cultivares de maíces QPM se debió, esencialmente, al poco atractivo del grano, a la gran susceptibilidad a factores bióticos y abióticos tanto en campo, como en el almacenamiento y al bajo rendimiento que presentaron las primeras variedades que portaban este gen. Aproximadamente, durante los 10 años siguientes, los fitomejoradores del CIMMYT, apoyados por el laboratorio de bioquímica de esa institución, continuaron mejorando las características agronómicas y nutricionales de estos maíces. En los primeros años de la década de los 90's, se presentaron al mundo científico variedades de maíz con alta calidad nutritiva, altos rendimientos, humedad normal en el grano y aspecto de grano duro normal (no harinoso). Para 1996, los resultados demostraron que el maíz Opaco-2 había sido modificado a lo que se podría llamar un maíz tipo normal en todas sus características, excepto por el valor proteico. Estos trabajos le merecieron el Premio Mundial de Alimentación año 2000, a Evangelina Villegas y Surinder Vasal investigadores del CIMMYT, de nacionalidad mexicana e India, respectivamente.

Selección de Cultivares de Maíces QPM en Panamá

A principios del nuevo milenio, Panamá se integra a una red internacional de investigadores en maíces QPM, el cual le ha permitido acceder a una mayor cantidad de germoplasma de este tipo de maíces, para introducirlos al país y seleccionar aquellos que mejor se adapten a las condiciones ambientales de las distintas áreas productoras de este grano. De acuerdo a lo antes señalado, las perspectivas de los maíces QPM en Panamá, se pueden enfocar hacia el consumo humano, así como, para el consumo animal. Desde el año 2003, el proyecto de mejoramiento genético de maíz del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) lleva a cabo experimentos con híbridos de alta calidad proteica en los campos experimentales de la institución; con el objetivo de seleccionar híbridos que se producen bajo el sistema mecanizado, con las características antes mencionadas, pero que respondan al manejo agronómico, con rendimientos superiores al de los híbridos normales. Este producto también se usaría en la industria de derivados del maíz para consumo humano.

En el transcurso de los años 2006 y 2007, investigadores del Proyecto de Mejoramiento Genético Vegetal del IDIAP ejecutaron un proyecto con fondos de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) y en alianza estratégica con el Patronato del Servicio Nacional de Nutrición. Este proyecto estuvo dirigido a la selección de variedades de maíz con alta calidad proteica provenientes del CIMMYT, adaptadas a las condiciones de sistema de producción a chuzo en tres áreas de pobreza con alto índice de desnutrición, así como a la identificación de prácticas de manejo agronómico, capacitación de productores para el manejo de los cultivares y la producción artesanal de semillas.

Características Generales de las Variedades IDIAP-MQ-02 e IDIAP-MQ-07

Estas dos variedades fueron seleccionadas para el sistema de producción a chuzo tradicional, en donde el nivel tecnológico es bajo (generalmente, no utilizan insumos ni maquinaria) o para el sistema a chuzo mejorado en donde se utiliza fertilizante químico y herbicidas para el control de malezas (Gordon *et al.* 2007). En el Cuadro 2 se presentan algunas características de ambos cultivares:

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LAS VARIETADES IDIAP-MQ-02 E IDIAP-MQ-07.

Característica	IDIAP-MQ - 02	IDIAP-MQ - 07
Color del grano	Amarillo	Blanco
Floración (días)	56	57
Altura de planta (cm)	210	203
Altura de mazorca (cm)	97	90
Cobertura de mazorca	Excelente	Excelente
Tolerancia al acame	Excelente	Excelente
Rendimiento promedio (qq/ha)	42	63
Rendimiento máximo (qq/ha)	80	100
Peso de mazorca (g)	68	86
Cosecha (días)	110-120	110-120

En las Figuras 1 y 2 se resaltan aspectos de las plantas, mazorcas y granos de las variedades IDIAP-MQ-02 e IDIAP MQ-07.



Figura 1. Aspecto de las plantas (a) y de las mazorcas de la variedad IDIAP-MQ-02 (b).



Figura 2. Aspecto de las plantas (a) y de las mazorcas de la variedad IDIAP-MQ-07 (b).

Recomendaciones para el Manejo Integrado del Maíz

El régimen de lluvias de cada región indicará el momento oportuno para la siembra del cultivo. En general, el maíz demanda de 500 a 700 mm de lluvia bien distribuida para un crecimiento normal. En Azuero, para la segunda época de siembra se debe sembrar entre el 15 de agosto y el 15 de septiembre. En otras regiones del país como Chiriquí y Darién en donde la época de lluvia se prolonga más, se puede sembrar hasta el 10 de octubre (Gordon 2007). La densidad de plantas recomendada para estas variedades es de aproximadamente 53 mil plantas por hectárea. Esto se consigue con un arreglo de 75 cm entre hileras y 50 cm entre golpes, dejando dos plantas por golpe. Se recomienda tratar la semilla antes de la siembra con un insecticida como thiodicarb o fipronil a razón de 10 cc/lb de semilla. Este tratamiento evita la pérdida de plantas por ataque de insectos y roedores.

En el sistema de producción a chuzo tradicional, el uso de fertilizante a la siembra es reducido. Estos dos cultivares (IDIAP-MQ-07 e IDIAP-MQ-02) fueron seleccionados bajo estos sistemas y responden a la aplicación de fertilizantes. Para el mejor aprovechamiento de este insumo, la fertilización base debe hacerse al momento de la siembra o lo más cercano a la misma, es decir, el abonamiento debe realizarse a más tardar ocho días después de la siembra (dds), el mismo, se puede hacer en posturas enterradas a una distancia de 3 a 4 cm de la planta a razón de 3 a 5 qq de fórmulas como 15-30-8-4 ó 13-26-6-7. La fertilización con abonos nitrogenados como la urea debe fraccionarse en dos aplicaciones. La primera entre 18 y 23 dds y la segunda entre 34 y 37 dds. El maíz es una planta que responde a este nutrimento por lo que se recomienda de 3 a 5 qq/ha, dependiendo del análisis de suelo y de la capacidad económica del productor (Gordon *et al.* 2000b; Gordon *et al.* 2004).

En el IDIAP, se han estudiado otras alternativas como el uso de la leguminosa llamada Canavalia, la cual con el uso consecutivo a través de los años puede sustituir totalmente a los fertilizantes químicos nitrogenados. Para esto el productor debe sembrar la Canavalia a inicios de la época lluviosa (mayo) en la parcela que va a ser destinada a la producción de maíz. El crecimiento de esta leguminosa durante los meses previos a la siembra puede producir hasta 12 t/ha de biomasa. Previo a la siembra (dos semanas antes), se procede a cortar la planta y dejarla sobre la superficie del suelo en forma de mantillo (cobertura muerta). Luego, se procede a la siembra del maíz de manera normal (Gordon *et al.* 2000a; Gordon *et al.* 2002a; Gordon *et al.* 2002b).

Es importante evitar la competencia que ofrecen las malezas a las plantas de maíz. Por lo tanto, se recomienda mantener el campo limpio desde que germina la semilla hasta los 30 días después de la siembra, o cuando la planta alcanza aproximadamente 1.00 m de altura. En los sistemas de baja utilización de insumos o de subsistencia, el corte manual con machete es el recomendado. La siembra debe realizarse en línea o surco, este método es más eficiente en comparación al sistema tradicional de siembra mateada. El uso de herbicidas ha sido uno de los métodos más comunes para el control de malezas, en el cultivo de maíz recomendando una serie de herbicidas y dosis aplicados de manera pre o post-emergente temprano al cultivo o a la maleza (Cuadro 3).

CUADRO 3. PRODUCTOS Y DOSIS RECOMENDADAS PARA EL CONTROL DE MALEZAS.

Malezas	Herbicidas	Dosis (i.a./ha)	Época de aplicación
Pimentilla (<i>Cyperus rotundus</i>)	glifosato	1.4-1.8	8-10 das
Hojas anchas	atrazina	1.5	siembra
Hojas angostas	pendimentalina	1.5	siembra
Manisuris (<i>Rottboellia cochinchinensis</i>)	pendimentalina	1.5	siembra
Malezas en general	glifosato	1.4-1.8	8-10 das

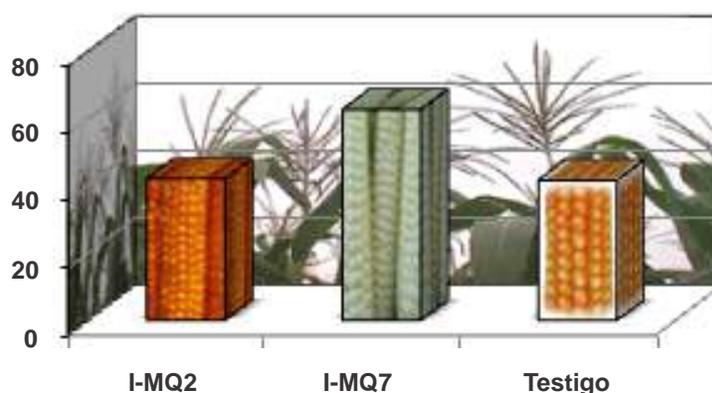
das = días antes de la siembra; i.a. = ingrediente activo

La dosis comercial recomendada de cada producto varía de acuerdo a la concentración del ingrediente activo que contenga la formulación de cada herbicida.

Cuando el grano llega a su madurez fisiológica (momento que contiene el máximo de materia seca acumulada) se alcanza normalmente con un contenido de humedad de 30 a 35%. A partir de ese momento el grano va perdiendo humedad, a la vez que se produce un ligero descenso de su contenido de materia seca. En Panamá, el productor cosecha el grano cerca del 14% de humedad, esto se logra, generalmente, a los 120 días después de la siembra. Debemos recordar que cuanto más demore la mazorca en el campo, mayor será el riesgo de pérdida por diferentes factores como pudrición de grano por hongos, ataque de insectos del grano (gorgojos) y pájaros (pericos).

Parcelas de Validación

Estudios realizados en el año 2007 en 49 localidades del país mostraron que estos dos cultivares se adaptaron a todo tipo de condiciones, igualando y superando al testigo de grano normal. A continuación, en la Figura 3 se muestra el rendimiento de grano obtenido en estas parcelas de validación a nivel nacional.



Fuente: Gordon *et al.* 2008.

Figura 3. Rendimiento en qq/ha de las dos variedades QPM en 49 localidades de Panamá.

ARROZ BIOFORTIFICADO

El arroz es el alimento básico en la dieta del panameño, siendo el cereal más importante cultivado en Panamá, con un consumo de 154 lb per cápita o sea un consumo diario de 16,357 qq y mensual de 490,697 qq limpios y secos al año. Dado que el consumo per cápita de arroz es alto, un aumento de su valor nutritivo puede traer beneficios positivos en el campo de la salud pública.

El arroz biofortificado (grano pulido) se caracteriza por su mayor contenido de hierro y zinc. Durante la niñez y la adolescencia, la deficiencia de hierro deteriora el crecimiento físico, el desarrollo mental y la capacidad de aprendizaje. En adultos, reduce la capacidad de trabajo físico. La anemia severa aumenta el riesgo de que las mujeres mueran en el parto. El zinc es un micronutriente muy importante en diversas funciones biológicas; su deficiencia durante el embarazo provoca retardo en el crecimiento fetal, malformaciones y otros resultados perinatales adversos. La necesidad de zinc durante el embarazo requiere de un incremento en la ingesta. La anemia y depósito bajo de hierro, deficiencia de zinc, calcio y otros minerales, se han convertido en la llamada hambre silenciosa ó hambre oculta en la mayoría de las sociedades, constituyendo un problema de salud pública.

Ventajas del Arroz Biofortificado

En comparación con los cultivares de arroces normales, los biofortificados tienen mayor contenido nutricional (más hierro y zinc) y similares características agronómicas, como alto rendimiento, resistencia a plagas, tolerancia a estrés biótico y abiótico. La biofortificación de cultivos se considera una estrategia sostenible, ya que no hay dependencia externa en la obtención de semilla. Después de la primera distribución, el agricultor puede guardar su propia semilla para la próxima siembra. No representa un cambio en el comportamiento (hábito) del consumidor, siempre que el cultivo mantenga todas las características deseables para satisfacer la demanda de los productores y consumidores.

Por otro lado, la utilización y consumo de arroz biofortificado, es la manera más económica para minimizar los efectos del hambre oculta presente en nuestra población rural, porque será atacada a través del alimento más consumido, al cual no se le modificará las características organolépticas (sabor, olor y color). Por esta razón, se plantea que los beneficiarios de la biofortificación de cultivos en las primeras etapas sean para las poblaciones de las zonas rurales con problemas de malnutrición, que practican una agricultura de autoconsumo.

Para evaluar el impacto nutricional de estos cultivos de arroces biofortificados se establece una cadena de evidencia que consiste en la evaluación de la concentración (cantidad de micronutriente contenidos en el alimento), la bio-disponibilidad (disponibilidad de micronutrientes asimilables), la retención de los nutrientes (cantidad de nutrientes después de cocido), la aceptabilidad (aceptación del alimento por parte de los beneficiarios), la eficacia y efectividad (efecto o impacto nutricional después de ser consumido por un periodo de tiempo) y la relación costo/efectividad.

Contenido de Hierro y Zinc en el Arroz

Los niveles altos de hierro (Fe) y zinc (Zn) son invisibles para el productor y el consumidor. Por consiguiente, la adopción de variedades biofortificadas con estos minerales dependerá de otros caracteres agronómicos o sensoriales importantes (sabor, aspecto, olor, entre otros). Por estas razones, el mejoramiento tradicional incluido en el proyecto no busca solamente elevar el contenido de hierro y zinc de las líneas seleccionadas, sino es combinar variable con otras características sobresalientes que sean atractivas para los agricultores y consumidores.

Estudios hechos por el IDIAP-CIAT-Agrosalud en muestras comerciales de arroz tomadas de los supermercados del país, mostraron que en el arroz blanco pulido tiene un contenido de 2 a 3 mg Fe/kg de arroz y de 16 a 18 mg Zn/kg de arroz, en contraste con el arroz integral que contiene de 10 a 11 mg Fe/kg de arroz y de 20 a 25 mg Zn/kg de arroz. Por eso, se sugiere que el contenido de hierro y zinc (2-3 mg/kg y de 16a18 mg/kg, respectivamente) se tome como línea base para incrementar su contenido en el arroz pulido y cumplir con el objetivo de lograr un efecto positivo en el mejoramiento de la nutrición de la población (Martínez y Borrero 2006).

Las metas a corto plazo del proyecto es aumentar el contenido de hierro y zinc en el grano pulido de 6 a 8 mg Fe/kg de arroz y de 22 a 25 mg Zn/kg de arroz. En las Figuras 4 y 5, se muestra como está distribuido el hierro en la planta de arroz y en el grano, respectivamente.

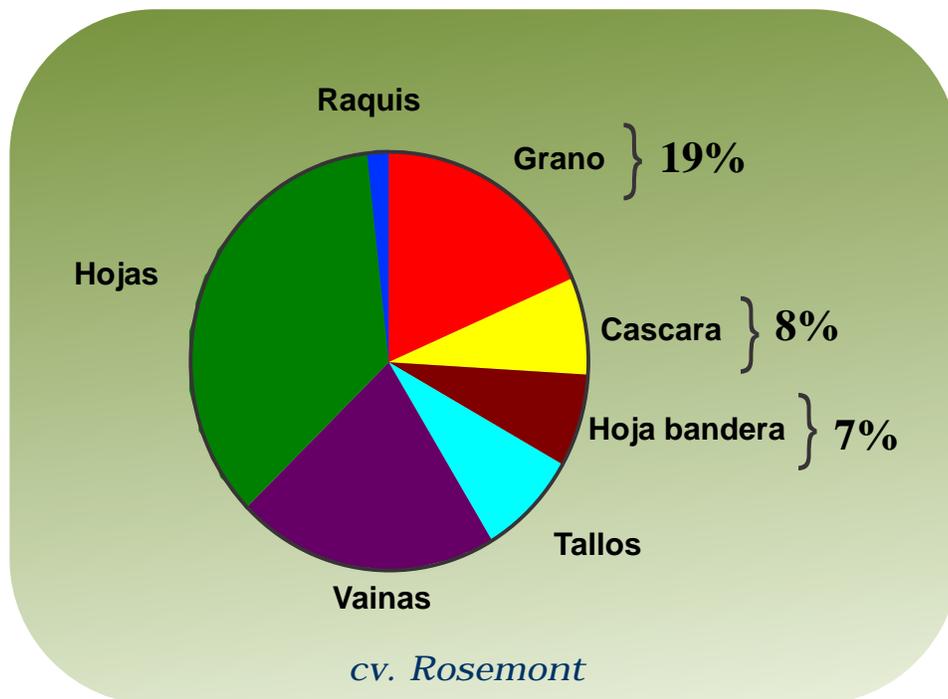
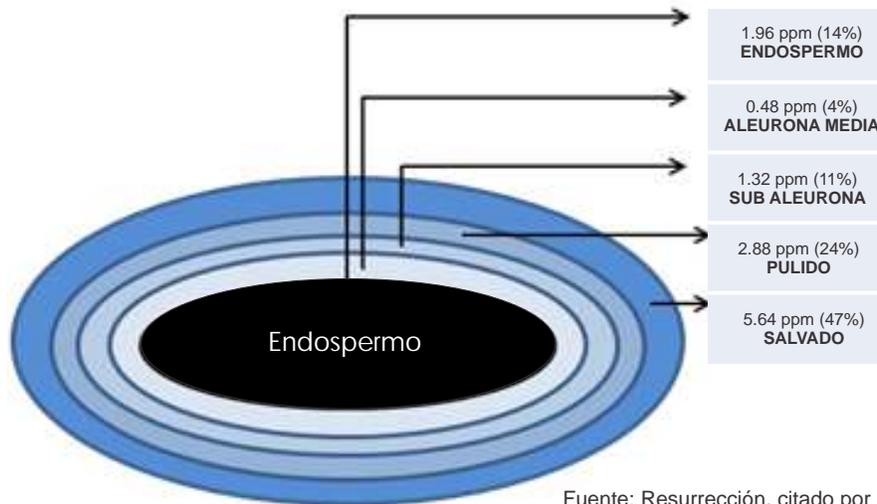


Figura 4. Distribución proporcional del hierro en la planta de arroz.



Fuente: Resurrección, citado por Martínez *et al.* 2006.

Figura 5. Distribución del hierro en el grano de arroz.

Efecto del Arroz Biofortificado (hierro y zinc) en la Nutrición Humana

Los datos de Hass *et al.* (2005) indican que un pequeño incremento en el contenido de hierro tuvo un efecto significativo en la reducción de la anemia en el segmento de la población Filipina más afectada.

En un estudio de nueve meses, sobre el nivel de hierro en las mujeres que comieron arroz biofortificado, era un 20% más alto que en las mujeres que se alimentaron con el arroz tradicional. Los estudios de consumo alimentario indican que la duplicación del contenido de hierro en el arroz puede aumentar la ingesta de este nutriente o elemento en la población de escasos recursos en un 50% (Figura 6).

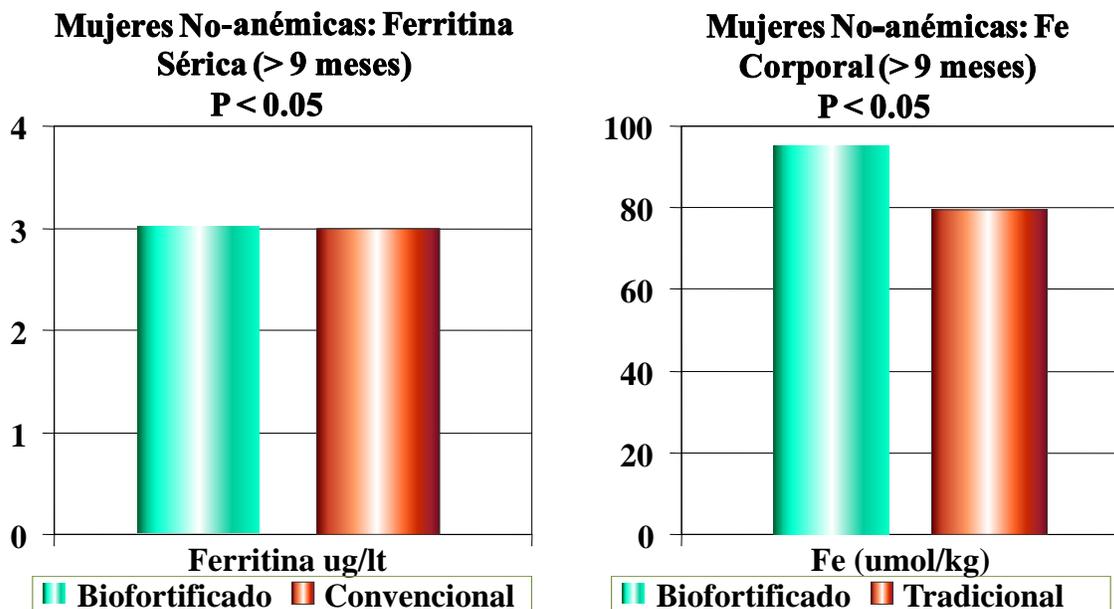


Figura 6. Efecto del arroz biofortificado en el mejoramiento de los niveles de hierro en mujeres no anémicas.

Selección y Desarrollo de Cultivares de Arroces Biofortificados

El trabajo de selección del germoplasma indica que es factible duplicar el contenido de hierro y zinc en el arroz en cáscara. Durante el 2007, en el proyecto Agrosalud-CIAT se obtuvo información sobre los niveles de hierro y zinc hallados en el arroz pilado. Estudios anteriores han mostrado que las pérdidas de estos minerales ocurridas durante el proceso de molinería varían mucho según la variedad de arroz y las pérdidas de hierro son mayores que las de zinc. Estos datos indican que se deposita una cantidad relativamente mayor de zinc en la parte interna del endosperma del arroz.

En este proyecto se emplean los mejores métodos convencionales de mejoramiento (métodos de selección masal, pedigree, retrocruzamiento, mejoramiento poblacional y mutagénesis), con el fin de alcanzar los niveles de densidad de micronutrientes que puedan producir beneficios cuantificables para la nutrición humana. También, se trabaja en la identificación de marcadores moleculares asociados con mayor contenido de hierro y zinc.

Selección de Cultivares de Arroces Biofortificados en Panamá

Las actividades de evaluación de los arroces biofortificados se iniciaron en Panamá en el 2007, mediante un proyecto financiado por SENACYT y alianzas estratégicas con el Patronato del Servicio Nacional de Nutrición, Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) y el proyecto Agrosalud-CIAT. Inicialmente, se evaluaron 80 líneas nuevas en el Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos (CIARG), ubicado en Río Hato, donde se seleccionaron las mejores entradas o líneas, para futuras evaluaciones en campos de productores. Las líneas biofortificadas fueron evaluadas en 15 granjas autosostenibles del Patronato de Nutrición en las provincias de Coclé, Panamá, Veraguas, Los Santos, Herrera y Chiriquí, en los sistemas a chuzo y fanguero. Fueron identificadas tres líneas con buen comportamiento agronómico, culinario y nutricional (mayor contenido de hierro y zinc).

CUADRO 4. CARACTERÍSTICAS DE CULTIVARES DE ARROCES BIOFORTIFICADOS EVALUADOS EN PANAMÁ. IDIAP-2007.

Sistema a chuzo									
Cultivares	Ciclo (dds)	Acame (%)	Manchado Grano (1 5)	Altura planta (cm)	Rend. grano (qq/ha)	Rend. molino (%)	Digestión alcalina	Cont. Hierro (ppm)	Cont. Zinc (ppm)
GAB 6	120	2	2	96	50.2	66	7	3.6	13.5
GAB 8	120	2	2	100	51.6	64	7	3.5	13.5
GAB 11	120	2	2	100	55.4	67	7	3.8	13.2
Sistema de fanguero									
GAB 6	115	1	1	104	80.2	70.9	6	4.0	15.1
GAB 8	115	1	1	105	79.0	70.6	6	3.7	15.0
GAB 11	115	1	1	102	84.4	71.3	7	3.7	13.9

dds = días después de la siembra; Rend. = rendimiento; Cont. = contenido.



GAB11

GAB8

GAB 6

Figura 7. Aspectos de las plantas (a), del grano en cascara y pilado de los tres cultivares de arroces biofortificados promisorios (GAB11, GAB8 y GAB 6)(b).

Características Generales de los Cultivares de Arroces Biofortificados

En el Cuadro 4, se presentan algunas características agronómicas, industriales, culinarias y contenido de hierro y zinc en el grano pulido

Recomendaciones para el Manejo Integrado del Cultivo

Los suelos aptos para el cultivo de arroz deben ser planos con textura arcillosa ó franco arcilloso, pesados, pH mayor a 4.5 y con pendiente no muy pronunciadas. Los suelos aluviales favorecen al cultivo. La cantidad de semilla que se requiere por hectárea, dependerá del método de siembra que se utilice, tipo de preparación del suelo, variedad y calidad de la semilla. En condiciones de

secano favorecido (chuzo) se recomienda el arreglo topológico para la alternativa tecnológica propuesta, de 0.40 m entre hilera y 0.20 m entre plantas, para obtener una densidad de 125,000 golpes/ha. En los sistemas bajo riego se recomienda el arreglo topológico de 0.25 m entre hilera y 0.25 m entre plantas, para una densidad de 160,000 golpes/ha (González *et al.* 1997).

Para realizar una adecuada fertilización al cultivo es necesario conocer la fertilidad inicial del suelo mediante un muestreo y envío al Laboratorio de suelos para sus respectivo análisis químico, el cual nos proporcionará información del estado nutricional y nos indicará la cantidad de fertilizante necesario que deberá aplicarse por unidad de superficie. Se recomienda fertilizar con fórmula completa (N-P-K) al momento de la siembra. La fertilización nitrogenada es conveniente fraccionarla en partes iguales, al inicio del macollamiento, en el máximo macollamiento y al inicio del primordio floral (González *et al.* 1997).

En el sistema de fangueo con tecnología, para disminuir la incidencia y efecto de las malezas es necesario un manejo integrado del cultivo, es decir, integrar ciertas prácticas culturales como son el uso de semilla certificada, densidad de siembra adecuada, rotación de cultivos, nivelación del terreno, limpieza del equipo agrícola, buena preparación del suelo y control químico mediante el uso de herbicidas pre y post-emergentes, aplicados solos ó en mezcla, cuando las malezas tengan tres ó menos hojas. Es necesario realizar monitoreos periódicos con el objetivo de identificar los niveles de infestación, tipo y especies de malezas predominantes en el cultivo.

También, para el manejo y control de las enfermedades y plagas se recomienda el manejo integrado, que incluye prácticas culturales, el uso de variedades resistentes y el control químico medurado con productos específicos, sustentados con monitoreos periódicos a través de los cuales, puedan conocerse las variaciones en los niveles de incidencia, severidad y de población de los principales patógenos e insectos que causan daños de consideración al cultivo (Camargo *et al.* 2006).

Para garantizar los máximos rendimientos del arroz en cáscara y de molinería, la cosecha del grano debe realizarse cuando el 80% del cultivo tiene las panículas dobladas y por lo menos, 2/3 de los granos están maduros y con una humedad aproximada al 25%. El manejo del grano durante la etapa de secado es fundamental para conservar los buenos rendimientos de molinería. Durante el proceso de secado, la temperatura del flujo de aire no debe exceder los 45 °C y es recomendable, darle reposo al grano cada vez que la humedad es reducida en más de cinco unidades porcentuales.

BIBLIOGRAFÍA

- BRESSANI, R; ALVARADO, J; VITERI, F. 1969. Evaluación, en niños, de la calidad de la proteína del maíz opaco-2. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 19 (2): 129-140.
- CAMARGO, I; QUIRÓS Mc, E; VON CHONG, K; ZACHRISSON, B; GONZÁLEZ, F. 2006. Guía Técnica para el manejo integrado del complejo ácaro-hongo-bacteria en el cultivo de arroz. Panamá, IDIAP. 38 p.
- CAMARGO, I; BERNAL, J; MONTERO, G; ESPINOSA, J. 2007. Ensayos de evaluación del valor agronómico del germoplasma en diferentes sitios del país y análisis de la calidad del grano (Molinera, Culinaria y Bioquímica). Panamá, IDIAP-SENACYT-PSNN. Informe Técnico II etapa del proyecto CCP-2007-A-017. 52 p.
- GONZÁLEZ, F; BATISTA, E; JIMENEZ, V; ZEBALLOS, F. 1997. Manejo integral del cultivo de arroz de secano mecanizado. Panamá, IDIAP. Manual técnico. 14 p.
- GORDON M, R; GONZÁLEZ, A; FRANCO, J. 2000a. Manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Azuero, Panamá, 1996 – 1998. Ciencia Agropecuaria (10): 123-134.
- GORDON M, R; FRANCO, J; GONZÁLEZ, A. 2000b. Efecto de diferentes tipos de rastrojos en la producción del cultivo de maíz. Los Castillos, Herrera, Panamá, 1996-98. Ciencia Agropecuaria (10): 135-146.
- GORDON M, R; FRANCO, J; GONZÁLEZ, A. 2002a. Evaluación del asocio surcos alternos de maíz y Canavalia en parcelas de validación, Azuero, Panamá. 1995-1996. Ciencia Agropecuaria (11): 197-207.
- GORDON M, R; FRANCO, J; GONZÁLEZ, A; DE GRACIA, N. 2002b. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con Canavalia bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá. Ciencia Agropecuaria (11): 13-30.
- GORDON M, R; FRANCO, J; GONZÁLEZ, A. 2004. Determinación de la dosis óptima de Nitrógeno para el cultivo de maíz con tres modelos de respuesta, Azuero, Panamá, 2000-2002. Ciencia Agropecuaria (15): 1-16.
- GORDON M, R. 2007. Guía técnica manejo integrado del cultivo de maíz. Panamá, IDIAP. 47 p.
- GORDON M, R; CAMARGO, I; FRANCO, J; ESPINOSA, J. 2007. IDIAP-SENACYT-PSNN. PANAMÁ. 2007. Informe Técnico II etapa del proyecto F-06-0087-A. 20 p.
- GORDON M, R; CAMARGO, I; FRANCO, J. 2008. IDIAP-MQ-02 e IDIAP-MQ-07: Cultivares de maíz de alta calidad proteica. Panamá, IDIAP. (Plegable).

-
- HAAS, JD; BEARD, JL; MURRAY-KOLB, LE; DEL MUNDO, AM; FÉLIX, A; GREGORIO, GB. 2005. Iron-biofortified rice improves the iron stores of nonanemic filipino women. *J. Nutrition* 135: 2823-2830.
- MARTÍNEZ, CP; BORRERO, J; TOHME, J. 2006. Variedades de arroz con mayor valor nutricional para combatir a desnutrición en América Latina. *In* Segundo Congreso Arroceros CONARROZ. Junio 29-30. San José, CR. 11 p.
- MARTÍNEZ, CP, BORRERO, J. 2006. Arroz biofortificación: Generalidades y estrategias. Reunión AgroSalud y LII Reunión Anual del PCCMCA. Montelimar, NI. Abril 21-28.
- MEF (Ministerio de Economía y Finanzas, PA). 2005. La pobreza en Panamá. Encuesta de Niveles de Vida. 2003. Principales Resultados. 9 p.
- SOLÓRZANO, HE. 1996. La Lisina y la salud (en línea). Consultado 13 de octubre de 2005. Disponible en: <http://www.hector.solorzano.com/articulos/lisina.html>.
- VITERI, FE; MARTÍNEZ, C; BRESSANI, R. 1972. Evaluación de la calidad proteínica del maíz común, del maíz opaco-2 y del maíz común suplementado con aminoácidos y otras fuentes de proteína. *In* Bressani, R; Braham, JE; Béhar, M. eds. Mejoramiento nutricional del maíz. Publicación INCAP L-3, Guatemala, p. 195-208.

Folleto Técnico

ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN
DE ARROZ Y MAÍZ CON ALTO VALOR NUTRICIONAL
(CULTIVOS BIOFORTIFICADOS)

Es una publicación del



REVISORES TÉCNICOS

Carmen Y. Bieberach, M.Sc.

David Urriola, M.Sc.

Benigno Guerrero, M.Sc.

Axel Villalobos, M.Sc.

Raúl González, M.Sc.

José Guerra ,Ing.Agr.

Nelson Osorio Ing.Agr.

Domiciano Herrera, M.Sc.

REVISORES TÉCNICOS

Jorge O. Aued H. Dr.

Carmen Y. Bieberach Forero, M.Sc

EDICIÓN

Neysa Garrido, M.Sc.

Magdalena Justavino, M.Sc.

DIAGRAMACIÓN

Gregoria Hurtado

IMPRESIÓN

Departamento de Publicaciones

Nivel Central, Panamá

Primera edición: 2009 - 100 ejemplares

Reimpresión: 2010 - 50 ejemplares

Reimpresión: 2011 - 50 ejemplares

Reimpresión: 2012 - 75 ejemplares

