

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

Línea de investigación: Biotecnología

**LA TRANSFORMACION GENETICA COMO ALTERNATIVA EN LA
BIOFORTIFICACION DE ALIMENTOS PARA DISMUNIR LA DESNUTRICIÓN
EN LOS PAISES POBRES**

GLORIA ELIZABETH RODRIGUEZ PENAGOS

Propuesta de monografía para optar al título de Agrónoma

Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente
Programa de agronomía
Bogotá, 2015

Línea de investigación: Biotecnología

**LA TRANSFORMACION GENETICA COMO ALTERNATIVA EN LA
BIOFORTIFICACION DE ALIMENTOS PARA DISMUNIR LA DESNUTRICIÓN
EN LOS PAISES POBRES**

GLORIA ELIZABETH RODRIGUEZ PENAGOS

Propuesta de monografía para optar al título de Agrónoma

Director: Carlos Carranza

Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente
Programa de agronomía
Bogotá, 2015

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

Monografía final de graduación presentada el día _____ en la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del medio ambiente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia para optar por el grado académico de Agrónoma ante los siguientes jurados.

Carlos Carranza – Director trabajo

German Castellanos – Jurado

DEDICATORIA

*“Sin importar que tan urbana sea nuestra vida,
nuestros cuerpos viven de la agricultura;
nosotros venimos de la Tierra y retornaremos a ella,
y es así que existimos en la agricultura
tanto como existimos en nuestra propia carne*

Wendell Berry

*A mis padres **Arturo y Gloria***

*A mi hermano **Sergio** motores de mi vida
por las cosas brindadas
y por hacerme la persona que soy.*

*A mis amigos por ser ese apoyo durante
todo este tiempo, por las sonrisas y
por todo lo demás.*

*A esa persona que ha estado
pendiente de este trabajo,
dándome su apoyo diario
y haciéndome sonreír*

*Y a Dios por permitirme
generar estos conocimientos
y seguir aprendiendo*

AGRADECIMIENTO

Al terminar esta investigación deseo expresar mi más grande agradecimiento a Dios que me ha brindado tantas cosas y me dio la oportunidad de conocer esta hermosa carrera, por la que se conoció el valor de la naturaleza y sus recursos.

A la **Universidad Nacional Abierta y a Distancia** y a la **Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio ambiente** de la misma, por las oportunidades, conocimientos y demás virtudes que me brindaron durante el desarrollo de mi vida como estudiante, y por los conocimientos técnicos que ahora me permiten optar por el título de Agrónoma. A esta universidad que me ha dado oportunidades y que a la par me dio valores de autonomía.

A la memoria del **Ingeniero Oscar Pérez** que con su dulzura, su sabiduría y su pedagogía me llevo a seguir este camino.

A la **ingeniera Yolvi Prada** que me llevo a incursionarme más en la parte práctica de mi carrera y que genero grandes conocimientos por medio de las visitas a agricultores, dichos conocimientos tanto en el aspecto técnico como en el humano.

Al **ingeniero Carlos Carranza**, asesor del trabajo de grado que tanto en las materias brindadas por el cómo en el inicio de esta investigación y demás brindo un apoyo técnico muy valioso y me ayudo a despejar las dudas.

A los miembros del jurado calificador de la monografía por permitirme mostrar la investigación realizada durante estos meses y los resultados de la misma.

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

También a mis compañeros y amigos que han estado conmigo durante todo el proceso de formación, a aquellos amigos encontrados mientras estudiábamos que me enseñaron lo que sabían y a aquellos que de manera directa o indirecta han generado parte del resultado de este trabajo.

Por último y destacando su importancia, agradezco a mis padres por su apoyo incondicional y por la oportunidad que me brindaron de generar mis conocimientos en este campo, a pesar de las fallas y dificultades han estado allí siempre. A mi hermano que es mi motor ante las adversidades, por ser su ejemplo y por el apoyo que me brinda.

A todas esas personas que me han ayudado a aprender y me han hecho una mejor persona a lo largo de estos años, a todas estas personas agradezco permitir el resultado de esta investigación.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
LISTADO DE FIGURAS.....	9
LISTADO DE TABLAS.....	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
OBJETIVOS.....	15
JUSTIFICACIÓN.....	16
CONTENIDO.....	18
1. ESTADO ACTUAL DE LA NUTRICIÓN EN LA POBLACIÓN MUNDIAL.....	18
2. PRINCIPIOS DE LA NUTRICIÓN VEGETAL.....	19
3. NUTRICIÓN HUMANA.....	20
3.1. Principios de la nutrición humana.....	22
3.1.1. Carbohidratos.....	23
3.1.2. Lípidos.....	24
3.1.3. Proteínas.....	24
3.2. ENFERMEDADES POR DEFICIENCIAS NUTRICIONALES.....	26
3.2.1. Deficiencias por carbohidratos.....	26
3.2.2. Deficiencias por vitaminas.....	28
3.3. BIOFORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS.....	33

4. PRINCIPIOS DE LOS TRANSGÉNICOS	37
4.1. ¿QUÉ SON LOS TRANSGÉNICOS?.....	37
4.1.1. Transgénicos de primera generación	38
4.1.2. Transgénicos de segunda generación.....	39
4.1.3. Transgenicos de tercera generación.....	40
4.2. TÉCNICAS ACTUALES DE MEJORAMIENTO GENÉTICO.....	40
4.2.1. Infección con <i>Agrobacterium</i>	40
4.2.2. Biobalística	44
4.2.3. Electroporación de protoplastos	45
4.3. EJEMPLOS DE PROBLEMAS EN SALUD HUMANA POR ALIMENTOS TRANSGÉNICOS.....	46
A lo largo de los años se han hecho estudios sobre posibles problemas de salud que generan los alimentos transgénicos dentro de los que se encuentran	46
4.3.1. Alergias	46
4.3. BIOFORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS A TRAVES DE TECNICAS DE TRANSGÉNESIS	47
4.3.1. Arroz.....	49
4.3.2. Maíz.....	55
4.3.3. Yuca	56
4.3.4. Tomate.....	57
4.4. EFECTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS DE LOS TRANSGÉNICOS EN LA SALUD HUMANA.....	58
5. NORMATIVIDAD DE TRANSGÉNICOS.....	61
CONCLUSIONES.....	66
BIBLIOGRAFIA.....	67
ANEXO 1	76
GLOSARIO.....	76

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Evolución del Hambre en el Mundo y en America Latina y el Caribe en el periodo de 1990/92 – 2011/13 (Millones de personas). Tomado de FAO (2014)	19
Figura 2 Introducción de genes mediante agrobacterium Tomado de Garcia, 2012.....	41
Figura 3 Transformación mediante Agrobacterium Tumefaciens Tomado de Carranza, 2008	43
Figura 4 Cañón de partículas. Tomado de (Garcia, 2012).....	44
Figura 5 Molécula de Di fosfato Geraniol – geraniol (GGDP)	52

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Enzimas producidas por los organos digestivos Tomada de Castillo (1992)	22
Tabla 2 Presentación de los Carbohidratos. Tomada de Villareal (2002)	26
Tabla 3 Desordenes por deficiencia de yodo Tomado de (Centro Internacional de Investigaciones Nutricionales, 2007)	28
Tabla 4 Alimentos Fuentes de Vitamina A Tomado de Gamboa,	2000 29
Tabla 5 Características de los compuestos de hierro usados en la fortificación. Tomado de Mundo Alimentario, (2012).....	35
Tabla 6 Enfermedades prevenidas por fortificación de nutrientes Tomado de Zagui, 2010	47
Tabla 7 Características nutricionales del arroz blanco, integral y fortificado Tomado de Zagui 2010.....	50

RESUMEN

En el mundo se presentan diferentes problemáticas nutricionales en las poblaciones de bajos recursos, sin embargo también se debe tener en cuenta que así como hay poblaciones que no tienen acceso a ningún tipo de alimento hay otras que si lo tienen pero sin embargo presentan enfermedades por deficiencias nutricionales. Lo anterior se debe a que los alimentos que componen la oferta para su dieta básica no poseen una alta gama de posibilidades nutricionales sino que solo presentan un nutriente que no cumple con los requisitos del organismo para cumplir sus funciones metabólicas.

Así es como aparecen los alimentos fortificados, ya que debido a factores de clima, lugar y demás es complicado generar una diversificación de la dieta por lo que por medio de la fortificación se logran obtener alimentos con mayor cantidad de nutrientes esenciales ya sean estos obtenidos de manera convencional mediante el cruce de varios cultivares u obteniéndolo por medio de la Ingeniería Genética.

Palabras clave

Nutrición, genética, transformación, dieta, nutriente, metabolismo, fortificación, convencional, cruzamiento

ABSTRACT

In the world different nutritional problems in low-income populations are presented, however also should note that just as there are people who have no access to any food if there are others that have yet present nutritional deficiency diseases . This is because the foods that make the offer to their basic diet does not have a high range of nutritional possibilities but only have a nutrient that does not meet the requirements of the agency to meet its metabolic functions. This is how fortified foods appear, since due to factors of climate, location and other complicated generate a diversification diet so through fortification is possible to obtain food with higher amount of essential nutrients whether these obtained from conventional manner by crossing several cultivars that getting it through Genetic Engineering.

Key words

Nutrition, genetics, processing, diet, nutrient metabolism, fortification, conventional breeding

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es una revisión bibliográfica de las distintas áreas de la fortificación alimenticia por medio del uso de los conocimientos de la Ingeniería Genética, buscando mejorar las características nutricionales, sanitarias y de calidad para que estos alimentos se conviertan en una buena alternativa de consumo para todas las poblaciones, pero especialmente en las poblaciones de bajos recursos.

El contenido de este trabajo se desarrolló en diferentes temáticas manejando desde los principios de la nutrición humana y las deficiencias que presenta hasta los principios de mejoramiento genético y cómo mediante sus técnicas se mejoran las condiciones nutricionales de los alimentos, teniendo en cuenta también aspectos de la normatividad y la seguridad alimentaria. Cada temática está orientada al desarrollo técnico y pedagógico de los beneficios que brindan algunos alimentos transgénicos en la salud humana.

Los alimentos biofortificados buscan el fortalecimiento de nutrientes específicos en los alimentos, estos se pueden realizar sin el uso de transgénos sin embargo en los últimos años también se están implementando los organismos genéticamente modificados para fortalecer estas características, ésta es la temática base de la monografía en la que se buscan manejar estos dos temas con sus pros y contras.

El trabajo busca dar una vista a su lector sobre las condiciones actuales de estos alimentos y de quienes lo consumen enfocados principalmente al tema nutricional.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mundo se encuentra desde hace muchos años en una crisis alimentaria de altas magnitudes que genera una alta tasa mortalidad tanto de infantes como de adultos, fenómenos estudiados por Organizaciones como la FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación que buscan soluciones para esta problemática constantemente. Para la dieta humana son importantes diferentes aspectos dentro de su nutrición específica de modo que cada uno de esos elementos permite al ser humano cumplir diferentes funciones.

Dentro de los macronutrientes se encuentran algunos como las proteínas cuya deficiencia genera pérdidas de energía en el ser humano haciéndole más débil, los hidratos de carbono que son un componente también muy importante dentro de la adquisición de energía en el cuerpo y las grasas que al faltar generarían fallas en el sistema nervioso y muscular. Por su parte los micro elementos compuestos por las vitaminas y minerales también generan problemas específicos en el organismo como lo son ceguera por deficiencia de la Vitamina A y anemia por deficiencia de Hierro como mineral, estas dos siendo unas de las problemáticas de salubridad más encontradas en las poblaciones de bajos recursos.

Si bien hay métodos de mejoramiento convencional, estos son muy escasos y permiten muy pocas posibilidades ante la alta necesidad de aspectos que requieren los consumidores de manera que se deben estudiar las demás alternativas sin dejar necesariamente de lado las alternativas que han ayudado hasta el momento, es de esta manera que la ingeniería genética entra como protagonista de las nuevas metodologías para el desarrollo de alimentos fortificados que puedan mejorar las condiciones alimentarias de las poblaciones más vulnerables.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la importancia de la aplicación de técnicas de transformación genética de plantas en cultivos básicos para obtener alimentos biofortificados.

Objetivos específicos

- Revisar algunas de las deficiencias por macronutrientes y micronutrientes en la población.
- Reconocer la importancia de la biofortificación de alimentos como estrategia para mejorar el aspecto nutricional de las poblaciones de escasos recursos.
- Identificar las técnicas de transformación genética como estrategia para obtener alimentos fortificados.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente nos encontramos en una sociedad que busca la seguridad alimentaria y que esta ante todo asegure la calidad y la inocuidad para sus consumidores. Sin embargo en ocasiones se presenta un bajo contenido en las características nutricionales de los alimentos generando desnutrición y baja calidad de vida en la población mundial por lo que se estima pertinente el desarrollo de estudios sobre la temática. Los alimentos biofortificados buscan generar alternativas de mitigación para las distintas enfermedades por deficiencias nutricionales en el ser humano, en un mundo en el que las deficiencias y la mortalidad por estas son pan de cada día, es de vital importancia generar alternativas alrededor de estas.

Durante los procesos de la Revolución Verde se comienzan a establecer los Organismos Genéticamente Modificados como alternativa de producción en los países subdesarrollados debido a sus características mejoradas en torno a rapidez de cosecha, productividad y calidad de los productos lo que establecería una ayuda y disminución de los procesos de hambre mundial. Se ha establecido sin embargo que en un principio los alimentos buscaban el mejoramiento de aspectos como calidad, tiempo de cosecha y productividad pero se estaba dejando de lado el mayor factor que debe tener un alimento que es el aspecto nutritivo, de esta manera se presenta un tipo de transgénico que busca el mejoramiento de la calidad nutritiva del alimento.

Los alimentos fortificados o también llamados funcionales buscan suplir la dosis diaria de cada uno de los elementos en el consumidor, dedicado principalmente a los niños y deportistas que no logran cumplir con el objetivo de suplir las raciones diarias que necesita su organismo, se ha convertido en una de las alternativas que permite desarrollar alimentos con un buen contenido nutricional para los distintos subgrupos de la población como lo son las mujeres embarazadas y los niños menores de 12 años, entre otros. Los organismos Genéticamente Modificados han entrado en esta era de fortificación de las características nutricionales, por lo cual durante esta investigación se desean

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

buscar los diferentes especímenes que pertenecen a esta nueva era de alimentos.

Existen diversas regiones del mundo con problemáticas alimentarias graves que consumen solo uno o dos alimentos en su dieta básica, siendo este alimento repetitivo durante un largo periodo de tiempo por lo que no logran suplir las necesidades nutricionales de su organismo con un solo alimento. Es de esta manera que la Ingeniería Genética y diversas organizaciones han comenzado el desarrollo de mejoramiento de cultivos específicos de cada región como lo son el arroz en la India y la yuca en África, que son los alimentos de consumo diario en cada una de estas regiones, de modo que si no se puede variar la dieta de estas poblaciones se logre al menos mejorar las condiciones nutricionales del alimento para evitar las enfermedades ligadas a la deficiencia de otros nutrientes.

CONTENIDO

1. ESTADO ACTUAL DE LA NUTRICIÓN EN LA POBLACIÓN MUNDIAL

Se estima que cerca de 840 millones de personas se ven afectadas por el hambre mientras 2000 millones de personas presentan problemas por deficiencias en micronutrientes, es por esto que las cifras de morbilidad infantil alcanzan tasas de 171 millones de infantes muertos por malnutrición. Muchos países están generando políticas ambientales y programas rurales, además la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) establece un modelo técnico y funcional para el desarrollo rural (Food and agriculture Organization of the United Nations, 2014).

Teniendo en cuenta que este año se cumple la fecha límite para el cumplimiento de los Objetivos del Nuevo Milenio (ODM) América Latina y El Caribe (ALC) redujo la mitad de la prevalencia del hambre cumpliendo uno de estos objetivos. 37 millones de personas es la cifra al 2014 de las personas que aun padecen hambre en la región disminuyendo notablemente (Figura 1), siendo El Caribe la subregión que menos avance presenta al pasar de 8,1 millones de personas con hambre en 1992 a 7,5 millones en el 2014. Mediante las distintas estrategias que se tuvieron en cuenta se encuentra el aumento de la disponibilidad alimentaria que en la década de los 90 apenas superaba los rangos básicos necesarios en la nutrición humana, y que ahora ha aumentado su porcentaje principalmente en Sudamérica, siendo esta subregión la que más avance presenta y El Caribe la que baja el promedio de desarrollo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014).

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres



Figura 1 Evolución del Hambre en el Mundo y en América Latina y el Caribe en el periodo de 1990/92 – 2011/13 (Millones de personas). Tomado de FAO (2014)

Los problemas nutricionales más encontrados son la malnutrición proteinoenergética, carencias de Vitamina A, trastornos por carencia de yodo, anemias nutricionales. Se estima que desde cerca del año 1980 ha descendido la cantidad de población con problemas nutricionales, sin embargo aún se encuentra población con esta problemática. Si se revisa primeramente América Latina y El Caribe han tenido un buen avance en torno a la disminución de su población desnutrida, en la que países como Guatemala y Costa Rica, Granada y Paraguay son los únicos países que han mostrado retrocesos mientras los demás países avanzan día a día hacia la eliminación de los niveles de desnutrición de cada uno de sus países, sin embargo los problemas nutricionales de esta región no son tan altos como otras regiones del mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014)

2. PRINCIPIOS DE LA NUTRICIÓN VEGETAL

El crecimiento de las plantas está altamente ligado a la disponibilidad de alimento que esta encuentre a su alrededor, esta lo adquiere por medio de

sus raíces que son la base de su vida al permitirle funciones como la absorción de los nutrientes, soporte de su organismo físico y otras más (Kamara, 2001).

Cada elemento tiene una función importante en la planta, sin embargo durante determinadas etapas un elemento toma mayor importancia sobre el otro, por lo que es importante tener un conocimiento al respecto para manejar la fertilización y mantener al organismo bien nutrido de manera que se generen parámetros de calidad y producción eficientes para lograr un apoyo en el ser humano (Lea - Cox y Ristvey, 2006).

El estudio de la nutrición vegetal se ve desde el sentido comercial y productivo y por eso se estima que la condición nutricional de las plantas debe ser totalmente óptima, para realizar un reconocimiento de estas condiciones se debe contar con conocimientos técnicos del tema, y con un estudio también técnico del suelo que se está manejando, recordemos que la nutrición vegetal se encuentra altamente ligada al componente edafológico o al ser vivo que podemos llamar suelo por lo que es importante reconocer los componentes de este, para así mismo analizar la necesidad de nutrientes de los organismos que allí se forman o la manera adecuada de mantenerlos en equilibrio (Kamara, 2001).

Algunos de los puntos importantes para reconocer a la hora de realizar un estudio nutricional de los organismos cultivados y de los suelos a usar es el de saber las etapas fenológicas de la planta de manera que se pueda estimar cuáles son sus necesidades básicas en cada uno de sus estados, es también importante determinar una meta de producción para así mismo brindar al suelo los nutrientes necesarios para alcanzar dicha meta en un periodo de tiempo determinado (Kamara, 2001)

3. NUTRICIÓN HUMANA

Al igual que cualquier otro ser, el ser humano requiere algunas características específicas con respecto a su alimentación, al igual que

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

cualquier otro organismo el ser humano no podrá llevar sus labores de forma adecuada si no se tiene en cuenta las necesidades que tiene su fisiología este no podrá cumplir con sus labores diarias como trabajador o estudiante y mucho menos con sus funciones fisiológicas (Moreno, 2002).

La salud humana se ve altamente ligada a sus componentes genéticos, a las condiciones de su ambiente pero principalmente a la nutrición. La producción de alimento en el mundo es adecuada y se estima dicha oferta podría saciar las necesidades alimenticias de todo el mundo sin embargo hay regiones en el mundo en el que las personas sufren graves problemas de nutrición y mueren a causa de estos, si sobreviven son realmente vulnerables a otras enfermedades que posteriormente también los llevara al mismo final, mientras en los países subdesarrollados la problemática radica en muerte por desnutrición, en los países desarrollados se genera la situación contraria y debido a la excesiva nutrición se presentan muertes por obesidad y otros similares (Vargas, 1985).

Es de tener en cuenta que el ser humano como ser vivo puede ser comparado con un vegetal en el sentido que presenta necesidades para su organismo como lípidos, proteínas, hidratos de carbono, electrolitos, minerales, vitaminas, agua y grasas, que también pueden ser suministradas en mayor o menor cantidad dependiendo de la etapa morfo fisiológica en la que se encuentre el individuo.(IAASTD: Evaluación Internacional del Conocimiento, Ciencia y Tecnología en el Desarrollo Humano, 2006).

Cada uno de los macronutrientes y micronutrientes es importante en el ser humano y le compone en algún porcentaje, es importante también reconocer que cada uno de estos componentes pasa por cada una de las partes del sistema digestivo y durante este recorrido se va sintetizando para convertirse en los nutrientes que necesita el cuerpo humano, dentro de esto encontramos que cada mínimo alimento que se consume tiene un porcentaje de biodisponibilidad que corresponde al porcentaje de nutrientes que puede adquirir el ser humano de cada alimento (Vargas, 1985).

3.1. Principios de la nutrición humana.

La nutrición humana se da a partir de procesos como ingestión, digestión y absorción, todos con el fin de obtener la energía necesaria para el desarrollo de sus funciones y la elaboración de materiales para la construcción de tejidos esenciales (Castillo, 1992).

Para cumplir estas labores específicas el ser humano e incluso la mayor parte de los seres vivos tiene el sistema digestivo, que en el caso del ser humano somete los alimentos que se han obtenido en una serie de procesos termodinámicos y químicos por medio de los siguientes procesos: Ingestión, digestión y absorción.

En el desarrollo de estos procesos son importantes ciertas enzimas que se muestran en la Tabla 1, para generar ayudas en el caso de la síntesis y absorción de los nutrientes que sean encontrados en los diferentes alimentos.

Tabla 1 Enzimas producidas por los órganos digestivos. Tomada de Castillo (1992)

Órgano	Enzimas producidas	Sustancias sobre las que actúa	Sustancia final
Estómago	HCl Pepsina Lactasa Lipasa	Azúcares Proteínas Leche Grasas	Glucosa Poli péptidos Glucosa y galactosa Glicerol y ácidos grasos.

Boca Glandulas salivares	Amilasa	Almidón	Glucosa
Intestino	Invertasa Lipasa Erepsina	Azucares Grasas Proteinas	Glucosa y levulosa Glicerol y acidos grasos Aminoacidos
Páncreas	Tripsina Amilasa Lipasa	Proteinas Almidon Grasas	Aminoacidos Glucosa Acidos grasos y glicerol
Higado	Sales biliares	Grasas	Grasas emulsificadas

Entre los compuestos que necesita el ser humano se encuentran:

3.1.1. Carbohidratos

Constituidos por Carbono, Hidrogeno y Oxigeno poseen un alto contenido de energia y se encuentra en frutas, cereales y demas plantas. Se dividen en monosacaridos, disacaridos y polisacaridos. Los monosacaridos o azucares son las unidades mas basicas que daran origen a los disacaridos y polisacaridos, solubles en agua y con sabor dulce algunos ejemplos de estos son la glucosa, la fructosa y la galactosa, estos proveen al organismo mas de la mitad de la energia que utiliza (Castillo, 1992).

La glucosa se metaboliza por medio de unas proteinas transportadoras denominadas GLUT (Glucose Transporters), el metodo de catabolismo principal es la Glucolisis con el fin de crear ATP y suministrar precursores para la biosintesis (Martinez, 2004).

3.1.2. Lípidos

Biocompuestos de alto valor energético, entre ellos se encuentran todas las grasas y aceites de origen animal y vegetal. Tienen un alto valor nutritivo y generan ayudas dentro de la síntesis de vitaminas que solo pueden ser disueltas en grasas o liposolubles. El cuerpo humano requiere de la grasa para aislar el frío de sus órganos internos y estos compuestos ayudan dentro de este sistema protector (Castillo, 1992).

3.1.3. Proteínas

Moléculas constituidas por aminoácidos, se dividen en indispensables que son aquellos que el cuerpo humano no puede adquirir a menos de que los reciba de un alimento y los no indispensables que son sintetizados por el organismo en cantidades normales. Estas se encuentran en todos los alimentos y son importantes ya que cumplen funciones de regeneración y formación de tejidos, síntesis de enzimas, anticuerpos y hormonas y constituyen la sangre (Castillo, 1992).

3.1.4. Vitaminas

Compuestos orgánicos que se requieren en cantidades pequeñas, son esenciales para el crecimiento, funcionamiento y regeneración de los tejidos. Las únicas vitaminas producidas por el ser humano son la Niacina y la Vitamina D por lo que deben obtenerse de los alimentos y suplementos vitamínicos. Se dividen en liposolubles e hidrosolubles dependiendo del sustrato en el que se disuelven (Castillo, 1992)

3.1.5. Minerales

Nutrientes indispensables que no son sintetizados por el cuerpo humano. Estos se dividen en principales que son los que

conforman la mayor parte del organismo humano como lo son el Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fosforo (P), Azufre (S), Sodio (Na), Potasio (K) y Cloro (Cl) y el organismo necesita un aporte de mas de 100 mg en la dieta y por otra parte se presentan los elementos traza como lo son Cromo (Cr), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Yodo (I), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Selenio (Se) y Zinc (Zn) cuyos requerimientos son menores a 100 mg. Los minerales cumplen funciones como la intervencion en la regulacion enzimatica, mantenimiento de los liquidos corporales, intervencion en los musculos y nervios, facilitan el transporte en la celula y contribuyen a la formación de estructuras (Mataix y Carazo, 2005).

Algunas de las funciones en las que participan los minerales son:

- a)** Azufre: síntesis del colágeno, forma parte de la vitaminas del grupo B, coagulación sanguínea, constituye proteínas.
- b)** Calcio: constituye huesos y dientes, movimiento del músculo estriado, coagulación sanguínea, transmisión del impulso nervioso, activador de procesos enzimáticos, permeabilidad de las células, comunicación intracelular.
- c)** Cloro: Equilibrio ácido-base e hídrico-salino
- d)** Fosforo: constituye huesos y dientes, equilibrio ácido-base, forma parte de ácidos nucleicos, lípidos, proteínas e hidratos de carbono; almacenamiento y uso de energía ATP.
- e)** Magnesio: constituye huesos y dientes, equilibrio ácido-base e hídrico-salino, necesario para transmisión del impulso nervioso, activador de sistemas enzimáticos, mantenimiento y funcionamiento del músculo cardíaco, relajación celular.
- f)** Potasio: equilibrio ácido-base e hídrico-salino, necesario en transmisión y generación del impulso nervioso.
- g)** Sodio: equilibrio ácido-base e hídrico-salino, transmisión y generación del impulso nervioso.

3.2. ENFERMEDADES POR DEFICIENCIAS NUTRICIONALES

3.2.1. Deficiencias por carbohidratos

Los carbohidratos se dividen según los carbohidratos simples que aportan solo energía y los carbohidratos complejos aportan fibra, vitaminas y minerales. Tanto el consumo deficiente como el excesivo generan problemas en la salud humana presentando desequilibrio en los nutrientes necesarios del cuerpo. Si se presenta deficiencia el organismo usará las grasas y proteínas dejando de lado las funciones principales de estos compuestos por saciar la deficiencia de modo que se detiene el crecimiento del individuo mientras que al consumir una cantidad altísima de estos genera problemáticas de obesidad y caries dental (Castro, 2000).

Tabla 2 Presentación de los Carbohidratos. Tomada de Villareal (2002)

Presentación De los carbohidratos	
Carbohidratos	Se presentan en
Glucosa	Frutas, miel de abeja, pequeñas cantidades en la mayoría de las plantas.
Fructosa	Frutas, Miel de abeja, pequeñas cantidades en la mayoría de las plantas.
Galactosa	En la lactosa
Sacarosa	Caña, Remolacha, Frutas, Jarabe de maple
Lactosa	Leche, productos lácteos.
Maltosa	Legumbres
Almidón	Granos, papas, verduras, legumbres.
Pectina	Frutas, verduras.

Consumir una dieta baja en carbohidratos significa comer pequeñas porciones de mono y disacáridos en favor de la grasa y proteína. Dependiendo del tipo de dieta, esto significa entre 20 y 100 g de carbohidratos por día que se presentan en distintas presentaciones como se puede observar en la Tabla 2. Sin embargo, en la actualidad, no existe una definición absoluta para determinar cuándo una dieta se denomina de “bajas calorías” (Villareal, 2002).

Por otra parte los lípidos constituyen un componente esencial para las membranas y demás órganos. Algunas enfermedades generadas por deficiencias son:

a) Desnutrición proteínico – energética

Genera mayor morbilidad en niños menores de 5 años en países en desarrollo, al ser una enfermedad infantil los niños presentan pérdida de su capacidad intelectual y al crecer pueden presentar problemas en sus capacidades físicas o mentales. Esta enfermedad se da por desnutrición que se ve ligada a el estado social económico del país en el que se encuentran los niños y que genera también morbilidad debido a que se asocia a la mayor disposición a infecciones. El espectro clínico de la DEP (Deficiencia energética – proteica) comprende desde deficiencias de energía y proteínas –que se manifiestan como pérdidas de las reservas del tejido proteínico y de grasa– hasta deficiencias específicas de una o más vitaminas y/o nutrientes inorgánicos (Castellanos, 2006).

b) Deficiencia de yodo

El yodo tiene un papel importante al ser responsable de la formación de las glándulas tiroideas que producen hormonas esenciales para el buen funcionamiento de los órganos, un buen

crecimiento, regulación de metabolismo y conservación del calor (Claramunt, 2006) En la Tabla 3 se observan algunos de los desordenes que se generan por deficiencia del yodo en las distintas etapas fisiologicas del ser humano.

Tabla 3 Desordenes por deficiencia de yodo Tomado de (Centro Internacional de Investigaciones Nutricionales, 2007)

Periodo de vida	Efectos sobre la salud
Feto/Neonato	Aborto, natimortalidad, mortalidad perinatal, bocio neonatal, hipotiroidismo neonatal, daño cerebral.
Niño / Adolescente	Bocio, hipertiroidismo juvenil, funcion mental disminuida desarrollo fisico retardado.
Adulto	Bocio y complicaciones, hipotiroidismo, funcion mental disminuida.

3.2.2. Deficiencias por vitaminas

a) Deficiencia de Vitamina A

La vitamina A juega un importante rol en la visión, en el sistema inmunologico, el crecimiento celular, desarrollo y reproducción, de manera que su consumo deficiente o excesivo generara problemática en la salud del ser humano. La deficiencia extrema genera Xeroftalmia, Ulceracion en las corneas, ceguera e incremento de la mortalidad principalmente en niños (Fitzpatrick *et. al.*, 2012). La vitamina A se encuentra en los alimentos de dos formas una denominada retinol y la otra en forma de carotenos, los alimentos de origen animal brindan vitamina A en forma de

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

retinol mientras que los de origen vegetal la presentan en carotenos y betacarotenos que se pueden reconocer por el color naranja y el verde oscuro de frutos, tuberculos y hortalizas, estos alimentos fuente de Vitamina A se pueden observar en la Tabla 4 (Gamboa, 2000).

La Vitamina A es un nutriente esencial para la vida siendo los grupos de mayor riesgo para su deficiencia las mujeres en periodo de lactancia y los preescolares, por medio de los distintos estudios se ha podido concluir que no es solo peligrosa su deficiencia sino que mantener los rangos en el limite tambien genera consecuencias en el organismo. Durante la gestación la problemática se ve más ligada al desarrollo embrionario generando anomalias en el cerebro, corazón, aparato genitourinario y cardiovascular (De la Campa *et al.*, 1996).

Tabla 4 Alimentos Fuentes de Vitamina A Tomado de Gamboa (2000).

Nutrientes	Alimentos Fuentes	Efectos en organismo por su deficiencia
<i>Vitamina A</i>	<i>Origen animal</i> Aceite de Hígado de Pescado Hígado Mantequilla Crema de leche Leche integral Quesos de leche integral Yemas de huevo	Retardo en el crecimiento infantil Crecimiento defectuoso de huesos y dientes Ceguera nocturna Xeroftalmia (perforación del tejido ocular, con pérdida de la visión)
	<i>Origen vegetal</i> Espinacas, hojas de remolacha, de mostaza,	

	<p>de rábano, chicasquil, brócoli, ayote sazón, zanahoria, melón, mango maduro, pejibaye</p> <p>Margarinas fortificadas</p>	
--	---	--

b) Deficiencia de Vitamina B

La Vitamina B corresponde al grupo de 8 compuestos que tienen un gran papel en la función fisiológica y enzimática del cuerpo humano, a excepción de la Vitamina B₁₂ todas las plantas pueden sintetizar las vitaminas B por lo que serían la principal fuente de esta vitamina (Fitzpatrick *et al.*, 2012).

La deficiencia a la Vitamina B₁ o Tiamina también se llama beriberi. Se manifiesta por síntomas neurológicos con neuropatía periférica y debilidad muscular. Su mortalidad oscila entre el 10% y el 20%, los síntomas iniciales son anorexia, irritabilidad, apatía y debilidad (Jamart, 2007).

La vitamina B₂ o Riboflavina se encuentra en el tejido de los mamíferos como parte de las riboproteínas que tienen un papel importante en la síntesis de carbohidratos, grasas y proteínas, la deficiencia de esta vitamina genera síntomas como rigidez en la comisura labial, alteraciones en la piel y lesiones oculares (Delgadillo y Ayala, 2009).

La vitamina B₃ o Niacina, su deficiencia es realmente extraña pero existe una deficiencia por esta denominada "Pelagra" genera dermatitis fotosensible, diarrea y demencia para posteriormente generar la muerte, esta fue una enfermedad que tuvo que erradicarse del mundo porque se presentó en proporciones

epidemicas a principios del siglo XX y que se generó principalmente en poblaciones pobres y el consumo de un maíz en mal estado que llevo a que los niveles de acido nicotinico en la poblacion disminuyeran y se generaran casos de “Pelagra” (Pila *et al.*, 2013).

La vitamina B₅ o Acido Pantotenico que se encuentra en todas las células vivas, los síntomas de esta deficiencia se presentan en aumento de la sensibilidad a la insulina, disminución de los niveles de colesterol y disminución del potasio en suero. Es importante en el metabolismo celular siendo su papel más importante en la generación de energía (Natura Foundation, 2010).

La vitamina B₆ o Piridoxina es muy importante para mantener una buena salud, muy importante en las reacciones enzimaticas para las funciones metabolicas del ser humano especialmente las asociadas a los aminoacidos. Presente en la mayor parte de los alimentos por lo que se estima que las deficiencias de esta vitamina son raras afectando en presentación de hipocromia, baja función inmune, cancer, deficiencias en las funciones cognitivas (Spinneker *et al.*, 2007).

La Vitamina B₈, B₇, Biotina o Vitamina H cumple funciones de generación de energía y cuidado de la piel, su deficiencia se observa por medio de síntomas como fatiga, depresión, dolor muscular, pérdida de cabello y anemia, pérdida de apetito, dermatitis y formación de cuero cabelludo seco (Fitzpatrick *et al.*, 2012).

La vitamina B₉ se comprende por los folatos y el ácido fólico, los folatos se encuentran mayormente en las hojas de los vegetales y su deficiencia se presenta en bajas cantidades, produce la anemia nutricional de modo que alteran la maduración nuclear y sus

síntomas se observan principalmente a nivel hematológico (Brito *et al.*, 2012).

La vitamina B₁₂ solo es sintetizada por los microorganismos y se puede adquirir por medio del consumo de carnes se muestra como anemia megaloblastica y tranastornos nerviosos (Pita, 1998).

c) Deficiencia de Vitamina C

La vitamina C o Ácido ascórbico es un nutriente esencial de la dieta del ser humano y otras especies que no son capaces de sintetizarlo porque carecen de la enzima l-glucono-g lactanoa oxidasa, si se presenta deficiencia de esta vitamina se observan anomalías en el tejido conectivo. De manera que las mayores afecciones que presentan los seres humanos por falta de esta vitamina se presentan en la producción de colágeno y en la vulnerabilidad a algunos agentes infecciosos. Se encuentra en frutas y verduras, siendo su fuente principal los alimentos de origen vegetal (Tuero, 2000)

d) Deficiencia de Vitamina D

La vitamina D se encuentra en dos formas: ergocalciferol (Vitamina D₂) o colecalciferol (Vitamina D₃) que se encuentra en alimentos tanto de origen animal como vegetal, se incorpora al cuerpo por medio de la exposición a la luz solar. La vitamina D cumple funciones en el organismo en torno al metabolismo de la insulina, regulación de metabolismo de minerales, participa en la homeostasis, en la apoptosis y en la regulación de los distintos sistemas del cuerpo. Algunas consecuencias de las deficiencias de esta vitamina son osteoporosis, hiperparatiroidismo, problemas cardiovasculares, cáncer, hipertensión, diabetes, obesidad, entre otros (De Oliveira *et al.*, 2014).

e) Deficiencia de vitamina E

Se encuentra en la mayoría de los alimentos y cumple un papel protector de las membranas biológicas ya sea evitando la oxidación o la formación de tóxicos. Sus alteraciones se relacionan con alteraciones del sistema vascular y cardiovascular (Bravo, 2009).

3.3. BIOFORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS

Según Rovisora y Zapata (2012), la fortificación de alimentos es la adición de micronutrientes a determinados alimentos. Este es uno de los métodos más utilizados actualmente para el mejoramiento nutricional de los alimentos. Los programas de fortificación tienen en cuenta que el alimento se consume varias veces al día, que el compuesto con el que se va a fortificar tenga buena disponibilidad y que sean seguros para el consumidor. De esta manera se encuentran tres tipos de fortificación:

- Fortificación masiva: propiciado por los gobiernos para desarrollar medidas ante problemas de ingesta de algún nutriente, ejemplo de esta fortificación es la de la harina de trigo con hierro y ácido fólico, con adición de tiamina, riboflavina y niacina.
- Fortificación de alimentos específicos: los nutrientes se adicionan a los alimentos pensando en subgrupos de la población, ejemplos como alimentos dirigidos a lactantes como la leche en polvo fortificada con hierro, zinc y vitamina C.
- Fortificación voluntaria: Es cuando una empresa determinada comienza a adicionar nutrientes.

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

Como se ha visto anteriormente todo este tipo de sustancias hacen parte del desarrollo de los procesos metabólicos del ser humano, el no adquirir una cantidad eficiente de estos se comienzan a presentar las distintas deficiencias revisadas anteriormente. La pobreza es la principal causa de esta situación, ligada también a la poca disponibilidad de alimentos, baja sanidad y deficientes prácticas alimentarias. El control de estas problemáticas se realiza por medio de estrategias como diversificación de la dieta, fortificación de alimentos, suplementación y control sanitario (Tacsan y Ascencio, 2001)

Según Tacsan y Ascencio (2001), la fortificación de alimentos es la adición de nutrientes a alimentos para mejorar la calidad de la dieta aplicado a alimentos que han sido previamente estudiados mediante indicadores bioquímicos, clínicos y de consumo, se requiere también de una planificación adecuada que permita tener unas características óptimas en el alimento ya que se puede obtener mediante la adición mal sabor, mal olor o color.

La fortificación es el proceso más fácil, económico y útil para reducir problemas de deficiencia pero es un proceso de cuidado, en los que hay que evaluar pros y contras de la fortificación de estos. No puede ningún país de afuera establecer si se usa o no la fortificación de alimentos si no se hace un estudio antes (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2012).

La fortificación de alimentos se lleva a cabo a partir de una serie de procesos, por ejemplo para el caso del hierro se encuentran los siguientes:

- Selección del compuesto de hierro.
- Optimización de la absorción de hierro.
- Medición del cambio en el nivel de hierro de la población.

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

Esta fortificación se hace con el fin de evitar factores en la población como la anemia, se realiza mezclando el alimento con el compuesto elegido lo que hará que el primero absorba la mayor cantidad de elemento que necesita. En ocasiones se realizaba esta fortificación con sangre pero por salubridad se comenzó a evitar esta práctica, existen diferentes tipos de compuestos de hierro y cada uno tiene unas características específicas como se verán en la Tabla 5, este se enfoca al Hierro ya que es uno de los principales minerales con los que se fortifica un alimento (Mundo Alimentario, 2012)

Tabla 5 Características de los compuestos de hierro usados en la fortificación. Tomado de Mundo Alimentario, (2012)

Características	COMPUESTOS DE HIERRO				
	Compuestos de hierro	Soluble en soluciones acidas	Poco soluble en soluciones acidas	Compuestos quelados	Compuestos encapsulados
Ejemplos de compuestos de hierro	Sulfato ferroso	Fumarato ferroso	Hierro electrolítico	NaFeEDTA Bisglicinato	Sulfato ferroso encapsulado
Reactividad con la matriz alimentaria	Alta	Intermedia	Muy baja	Baja e intermedia	Baja

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

Biodisponibilidad con respecto al sulfato ferroso	Equivalente 100%	Equivalente a 100%	Baja 20-50%	Equivalente a mayor 100% a 300%	Equivalente 100%
Costo basado en contenido de hierro	Intermedio	Intermedio	Bajo	Alto a muy alto	Intermedio a alto
Costo basado en contenido de hierro y biodisponibilidad	Bajo	Bajo	Intermedio	Alto	Intermedio

Es de esta manera que para la fortificación eficiente de los alimentos se realiza un estudio de los mejores compuestos que tienen buena relación con cada uno de los alimentos, sin embargo esa es la forma más tradicional encontrando la forma genética basada en la inserción de genes específicos.

Las deficiencias por micronutrientes afectan a cerca de 3 billones de personas en el mundo, y de esa cantidad 1 billón va a la cama sin alimento. Se cree que para el 2030 la población con malnutrición de este tipo incrementara a 8 billones. Las plantas fijan diferentes nutrientes dentro de ellas, nutrientes que no pueden ser sintetizados por el organismo humano y que por eso se deben obtener a partir de ellas, sin embargo las condiciones ambientales y demás en ocasiones no permiten que las plantas puedan brindar al cuerpo humano los niveles de nutrientes requeridos por este, es de esa manera que se comienza a establecer la Ingeniería química como una de las soluciones para llevar a cabo mejoras nutricionales (Khush *et.al.*, 2012).

Para Khush *et.al.* (2012) por medio de la biofortificación se ha logrado incrementar la cantidad de nutrientes en alimentos como el arroz pasando de 6,3 mg de Hierro a 24,4 mg y de 15,3 mg de Zinc a 58,4 mg, una solución de mejoramiento que se ha comenzado a usar es la cruce convencional de variedades que tengan estas características naturales, así fue como se logró obtener la variedad IR68144-3B-2-2-3 variedad de hierro denso que se obtuvo de la mezcla de la variedad IR72 y la variedad Zawa Bonday. Para otros cultivos como el maíz, la yuca, la banana y otros, se realizaría también por medio de cruces convencionales aunque se realizan generalmente con variedades que ya han sido anteriormente modificadas.

4. PRINCIPIOS DE LOS TRANSGÉNICOS

4.1. ¿QUÉ SON LOS TRANSGÉNICOS?

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), los organismos genéticamente modificados (OGM) pueden definirse como organismos en los cuales el material genético (ADN) ha sido alterado de modo artificial. La tecnología generalmente se denomina “biotecnología moderna” o “tecnología genética”, en ocasiones también “tecnología de ADN recombinante” o “ingeniería genética” (García, 2008). Ramon (2009), considera que en esta técnica se toma un único gen del genoma de un organismo donador, se amplifica y/o se modifica en el laboratorio y posteriormente se reintroduce en el organismo original o en uno distinto generando un organismo transgénico también llamado organismo modificado genéticamente (OMG).

Según Ramón (2009) desde el comienzo de la agricultura el hombre a desarrollado técnicas de mejoramiento genético, siendo muchos cultivos cambiados de esta manera por el conocimiento empírico del agricultor u otro productor, esto se realiza por medio de la mutación o variabilidad natural y el cruce sexual o hibridación. En estas dos técnicas se tomaban

los ejemplares con mejores propiedades y se realiza el cruce entre ellos generando una selección genética básica. Las dos restricciones que presentaron estas dos maneras de mejoramiento fueron la imposibilidad de escoger solo los genes adecuados y la barrera especie que se saltaría posteriormente con el manejo de la ingeniería genética.

El primer alimento con un gen ajeno fue el el Tomate Flavr – Savr en los que se inhibió la síntesis de la enzima poligalacturonasa que se responsabiliza del ablandamiento y la senescencia de los frutos, mediante esta modificación se cosecha el fruto maduro y se comercializa en dicho estado (García, 2012).

4.1.1. Transgénicos de primera generación

Según Sánchez (2008), la primera generación de cultivos transgénicos, surgió como una herramienta tecnológica para otorgar ventajas a los productores. En general, estos cultivos fueron modificados para mejorar la expresión de caracteres de productividad, tales como la resistencia a insectos, virus, o tolerancia a herbicidas, o caracteres como maduración retardada. Algunos de estos cultivos fueron aprobados para su comercialización, cultivo y consumo en la década de los 90, y son los que se están comercializando actualmente. Numerosos proyectos en desarrollo involucran cultivos transgénicos resistentes a hongos y bacterias.

Según Baltà *et al.* (2012), esta primera generación se vio altamente influenciada por los intereses de aumentar las ventas de agroinsumos, agregando algunas características que los hacían más interesantes para los productores.

Dentro de este tipo de transgénicos encontramos algunos como el Maíz MON810 de Monsanto, línea desarrollada entre 1990 y 1996

de la que surge la variedad YieldGard protegida contra taladros al producir la proteína Cry I Ab de *Bacillus Thuringensis* que las protege del daño de algunas larvas de lepidopteros (Monsanto, 2008). En el 2012 Syngenta anuncia la salida al mercado de tres variedades mejoradas de Soja, la Syn 1049 que presenta características de un ciclo más corto de producción, la Vtop con características de adaptabilidad, estabilidad y alto potencial productivo mientras la tercera llamada Syn 970 estaría destinada para producción en suelos pobres, baja fertilidad y condiciones difíciles (Gonzalez , 2012).

4.1.2. Transgénicos de segunda generación

Se han realizado diversos estudios al respecto y es una de las generaciones que más importancia ha tomado en la actualidad.

Los cultivos de la segunda generación, ofrecen beneficios directos para la industria y los consumidores, y responden más bien a la necesidad de mejorar caracteres cualitativos. Dentro de estos cultivos se incluyen aquellos con resistencia a estrés abiótico (sequía, salinidad, frío, etc.), los que brindan alimentos más sanos y nutritivos que los convencionales (maní hipo alergénico, arroz con beta carotenos, etc.), los que producen mayor cantidad o mejor calidad de metabolitos de interés industrial (hidratos de carbono, ácidos grasos, aminoácidos), o los diseñados para ser usados como bioreactores de moléculas de interés farmacéutico (especialmente no producidas por las plantas como vacunas, anticuerpos), y/o de enzimas de interés industrial, (biopolímeros, etc.) (Sanchez, 2008, p.30).

Según Tamasi *et al.* (2005) se considera que estos alimentos buscan mejorar la composición del producto o su valor nutritivo, por

medio de la inclusión de vitaminas, atributos medicinales, eliminación de alérgenos naturales, modificación del contenido de proteínas, aceites, etc. Algunos ejemplos de estos son maíz y arroz dorado con alto contenido de vitamina A, tomates con aumento de contenido de vitamina, alergenicidad reducida en alimentos como maní, papa con mayor contenido de almidón, trigo con mayor cantidad de ácido fólico, entre otros.

4.1.3. Transgénicos de tercera generación

Las plantas de tercera generación, conocidas también como plantas farmacéuticas son organismos que también han sido sometidos a un proceso de medicación genética; pero en este caso no son para consumo humano o vegetal, sino que más bien estas transformaciones están encaminadas hacia el sector industrial, más específicamente hacia la industria farmacéutica, ya que han sido diseñadas para crear medicamentos, que se espera puedan solucionar algunos de los problemas actuales de salud como el SIDA o el cáncer (Gonzalez y Gerardo, 2006).

4.2. TÉCNICAS ACTUALES DE MEJORAMIENTO GENÉTICO

Para el desarrollo de plantas transgénicas o el mejoramiento genético de especies vegetales existen los siguientes métodos para la inserción de genes específicos.

4.2.1. Infección con *Agrobacterium*

Basado en el mecanismo de infección que presenta la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*, el plásmido de esta bacteria posee una facilidad de virulencia que se liberan a través de las heridas. Una

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

región del plásmido Ti que es la responsable de crear los tumores se integra al genoma de la planta y posteriormente se codificara con las enzimas generando un aumento de hormonas como las auxinas y citocininas lo que genera desbalance hormonal. Las células con nuevos genes generan una estructura llamada agalla de la corona (Garcia, 2012)

Los pasos para el desarrollo de esta tecnica se observan en la Figura 2:

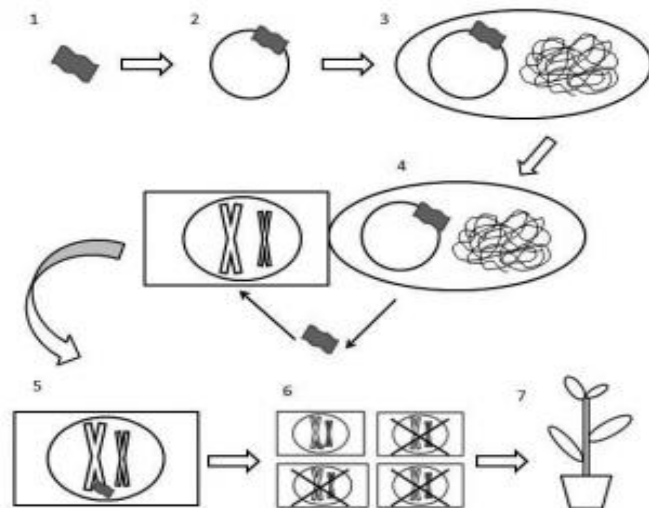


Figura 2. Introducción de genes mediante *Agrobacterium* Tomado de Garcia, 2012

- 1) Identificación y aislamiento del gen de interés.
- 2) Insertar el gen de interés en el plásmido Ti
- 3) Introducción del plásmido en la bacteria *Agrobacterium*.
- 4) Transferencia del ADN T a la célula vegetal.
- 5) Incorporación del gen de interés a los cromosomas.
- 6) Selección de las células que contienen el transgén.
- 7) Regenerar la planta a partir de una sola de las células que contiene el transgén.

En 1973 Schell anuncio el descubrimiento del plásmido Ti que se denomino ADN – T (ADN transferido). Un ejemplo de un organismo modificado de esta manera es *Bacillus thuringensis*. Por medio de este metodo se han logrado obtener mejoras en productos como trigo en el que se realiza un precultivo de embriones cigoticos inoculados con *Agrobacterium tumefancis* y a las tres o cuatro semanas se realiza una revisión del material (Rubio, 2005), en arroz se encuentra la var IACUBA28 que presenta un alto rendimiento (Perez *et. al.*, 2007), ajo con mejoramiento en bulbos y resistencia al clima, ademas de una alta concentración de sacarosa (Lagunes, 2009), banano que busca disminuir la esterilidad que se presenta en los metodos convencionales y brinda mayor resistencia a enfermedades (Sánchez y Santos, 2010), papa para realizar un ensayo sobre hibridación entre tres variedades mejoradas ya con anterioridad (López y Chaparro, 2007).

El uso de T-DNA en la ingeniería genética de plantas se basa en cuatro grandes descubrimientos y en el desarrollo de nuevas técnicas. El primero fue la localización y selección de los genes que gobernaban la formación del tumor (*ipt*, *iaaM* e *iaaH*). El segundo el desarrollo de marcadores útiles para detectar aquellas células vegetales que habían sido transformadas por *Agrobacterium*. El tercero el desarrollo de vectores y procedimientos genéticos que permitían introducir genes foráneos en el T-DNA y el cuarto el desarrollo de varios sistemas de cultivo de tejidos que permitieron la infección eficiente y la regeneración de plantas transgénicas completas a partir de células vegetales transformadas con el inserto de interés (Carranza, 2008) El metodo usado para transformar las especies vegetales por inserción de los genes del *Agrobacterium tumefancis* (Figura 3).

Un hallazgo crucial que permitió el diseño de vectores para la transformación genética de plantas mediante el uso de especies de *Agrobacterium* es el hecho que sólo las secuencias borde del ADN-

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

T son requeridas para que la transferencia se lleve a cabo. Algunos o todos los genes bacterianos del ADN-T pueden ser removidos originando vectores desarmados, los cuales pueden transformar células vegetales sin los síntomas generales de la infección bacteriana (Valderrama *et al.*, 2005).

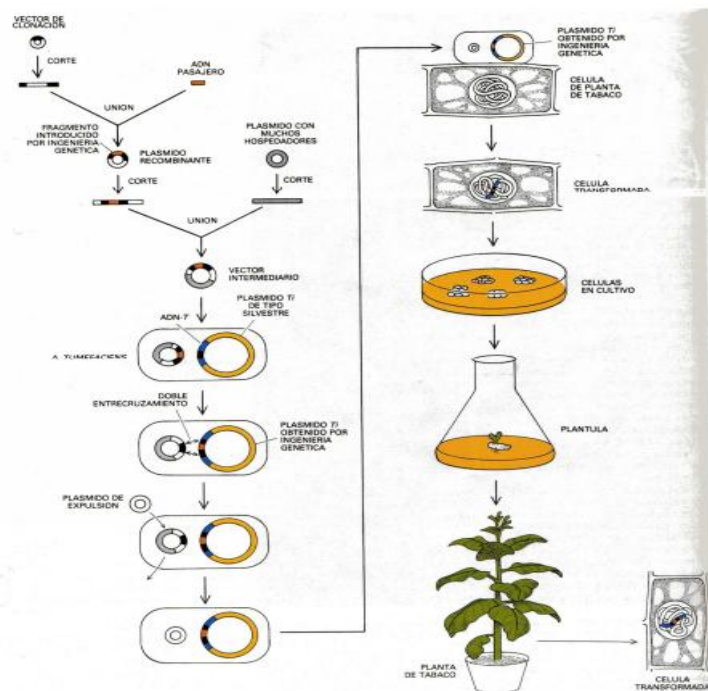


Figura 3 Transformación mediante *Agrobacterium tumefaciens* Tomado de Carranza (2008).

El ADN-T se traslada a la molécula vegetal gracias a procesos de interacción molecular entre la bacteria y la planta por intercambio de señales proteicas. Se estima que este proceso se lleva a cabo por medio de pasos como: reconocimiento y adherencia, identificación de señales de la planta, activación de *gen vir*, generación del ADN-T, exportación del ADN-T a la planta, importación del ADN al núcleo de la planta e integración en el genoma (Valderrama *et al.*, 2005)

4.2.2. Biobalística

Usa proyectiles de alta precisión para introducir genes en la planta, normalmente son partículas de oro y tungsteno cubiertas con secuencias variables en tamaño de ácidos nucleicos. Las partículas penetran en las células y se integran en los numerosos organoides celulares. Aquí se libera el ADN debido a las modificaciones del entorno iónico y se integra en el genoma nuclear de la célula receptora. Mediante un proceso de recombinación al azar, el ADN puede integrarse de forma estable en los cromosomas como se puede observar en la Figura 4 (Garcia, 2012).

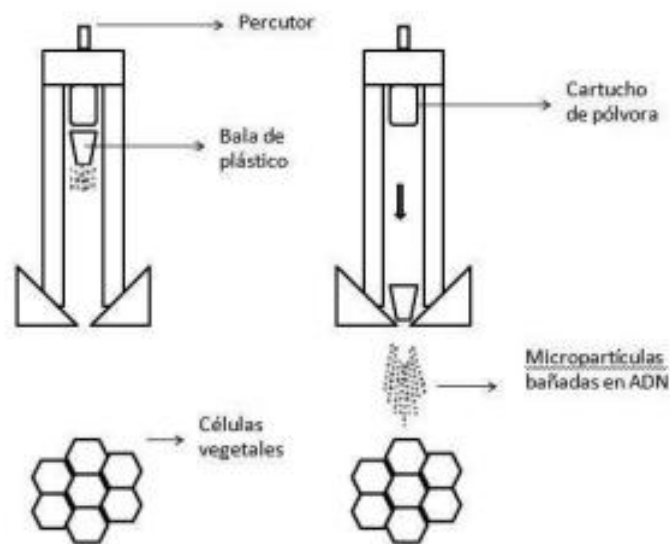


Figura 4 Cañón de partículas. Tomado de Garcia(2012)

Presenta ventajas con respecto a otras técnicas ya que inserta los genes directa y al azar, mediante esta no se necesita vector entre el gen y la planta (Gutierrez *et al.*, 2003). Plantas como el mango en el que se ensayaron con diferentes variedades con el fin de hallar el que presentara mayor resistencia al proceso y que lograra el mejoramiento el porte del árbol para que fuera bajo y precoz, y elevar sus niveles de rendimiento hallando variedades susceptibles al proceso como Haden y Madame Francis mientras la Kent se desarrollo correctamente (Chavarri *et al.*, 2004), platano para

resistencia de enfermedades y plagas (Valerio y García, 2008), maíz para poder brindar inmunidad al virus a los cultivos de esta especie (Gómez *et al.*, 2011), cebolla generando precocidad de la producción (Quintana, 2009), entre otros.

4.2.3. Electroporación de protoplastos

Al ser los protoplastos una célula vegetal sin pared celular que permite el paso de grandes moléculas como la del ADN, es una buena alternativa para el trabajo de mejoramiento genético y se realiza por medio de la inserción de los protoplastos en un medio de cultivo que tiene en él los genes a transferir. Para generar una mayor sensibilización de las membranas se dan descargas eléctricas al protoplasto o se agregan sustancias como el polietilenglicol (García, 2012).

En este método los protoplastos son suspendidos en un tampón con gran conductividad que contiene el DNA. Se aplican pulsos cortos de alto voltaje que pasa a través de la solución, causando la aparición de poros de forma reversible en la membrana, que van a permitir la entrada de moléculas externas. Uno de los principales factores es el tamaño del protoplasto, pues a mayor tamaño es más elevado es el campo eléctrico necesario para la electroporación (Carranza, 2008).

4.3. EJEMPLOS DE PROBLEMAS EN SALUD HUMANA POR ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

A lo largo de los años se han hecho estudios sobre posibles problemas de salud que generan los alimentos transgénicos dentro de los que se encuentran

4.3.1. Alergias

El problema de las alergias por alimentos transgénicos radica en la inserción de nuevas proteínas que no se habían consumido anteriormente. Hasta septiembre de 2000 se conocían indicios que indicaban este tipo de problemáticas, sin embargo se logró comprobar hasta que se conoció el maíz Starlink, el cual se encontró en la dieta humana a pesar de que se había autorizado solo para consumo animal. Esta contaminación se encontró en siete países: Egipto, Bolivia, Nicaragua, Corea del Sur, Japón y Estados Unidos, siendo este último el más afectado (Friends of the Earth International, 2002).

El maíz StarLink es el unico que ha presentado problemáticas en este sentido y que fue retirado del mercado debido a que se han hecho pruebas y se estipula que presenta el gen Cry9c que tarda más tiempo en descomponerse y genera problemáticas al ser altamente alergenico en el ser humano (Onofre, 2009).

Según Reyes y Rozowski (2003), se presento una problemática con soya transgenica de la compañía Pioneer Hi – Bred International que para suplementar la dieta alimenticia de los animales insertaron gen de la nuez del Brasil en el organismo sin embargo esta se vio ligada al gen Ig E por lo que se retiro del mercado. La proteina de soya se usa para formulas lacteas infantiles y suplementos de la carne.

4.3. BIOFORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS A TRAVES DE TECNICAS DE TRANSGÉNESIS

Como se mencionó anteriormente los alimentos transgénicos de segunda generación están destinados especialmente al desarrollo de alimentos que generen beneficios en la parte nutricional de manera que se mejoren los distintos problemas que se han ido presentando por el consumo de algunos de sus alimentos o por algún problema específico de la comunidad en base a la seguridad alimentaria.

Algunas enfermedades que se han podido mitigar por medio del mejoramiento nutricional se encuentran en la Tabla 6 (Zagui, 2010)

Tabla 6 Enfermedades prevenidas por fortificación de nutrientes. Tomado de Zagui (2010)

Micronutriente	Enfermedad prevenida
B ₁ (Tiamina)	Beriberi (infantil y adulto)
	Síndrome de Wernocke – Korsakoff
	Síndrome de Leigh
B ₃ (Niacina)	Pelagra
B ₆ (Piridoxina)	Deficiencia de fosfato de piridoxina
B ₉ (Ácido fólico)	Defectos de tubo neural
	Infertilidad
	Otros defectos congénitos: corazón, extremidades, tracto urinario, paladar hendido, labio leporino, etc.
	Anemia megaloblastica
	ACV
	Cancer

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

	Enfermedad cardiovascular
B ₁₂ (Cobalamina)	Anemia Megaloblástica
	Anormalidades neurológicas
	Osteoporosis
Hierro	Anemia
Zinc	Diarrea, neumonía

Los alimentos funcionales o también denominados fortificados son aquellos que proporcionan un efecto beneficioso para la salud más allá de su valor nutricional básico, esto se logra a partir de la adición, sustitución o eliminación de algunos componentes en este. Su origen data de los años 80 cuando el Gobierno de Japón plantea los alimentos saludables o Foods for Special Health Use (FOSHU). Para Europa el ingreso de estos alimentos también han generado polémica como los Organismos Genéticamente modificados teniendo en cuenta que un alimento funcional no siempre presenta las mismas características de un OGM (Aguilera *et al.*, 2003).

Una década después en los Estados Unidos se establece que siempre el alimento debe ser modificado mientras la Unión Europea no establece esto (Silveira *et al.*, 2003). Según el ILSI (Europe, International Lyfe Sciences Institute in Europe) un alimento funcional puede ser:

- Un alimento natural
- Un alimento al que se ha agregado o eliminado un componente por alguna tecnología o biotecnología.
- Un alimento donde la naturaleza de uno o más componentes ha sido variada.
- Un alimento en el cual la biodisponibilidad de uno o más de sus componentes ha sido modificada.
- Cualquier combinación de las anteriores posibilidades.

Dentro de los alimentos funcionales más conocidos encontramos algunos como los prebióticos, alimentos enriquecidos con fibra, ácidos grasos omega 3, entre otros (Aguilera *et al.*, 2003).

Según Vidal (2011), un alimento funcional es aquel que, independientemente de su valor nutritivo, es rico en algún componente que aporta propiedades positivas e importantes para la salud, de forma que su efecto beneficioso se manifiesta con las cantidades que de dicho alimento se consumen habitualmente en la dieta mientras un alimento transgénico es aquel en cuyo diseño se han utilizado técnicas de ingeniería genética. Desde hace algunos años los grupos dedicados a la Ingeniería Genética han dedicado sus esfuerzos principalmente a la mejora de la composición vitamínica de los alimentos, la razón radica en la proporción poblacional en países subdesarrollados que presentan deficiencias vitamínicas como consecuencia del consumo de un solo alimento o pocos alimentos y por otro lado para la conservación fitogenética de estas cadenas.

Vidal (2011) establece que la segunda generación de transgénicos ha obtenido plantas mejoradas en cuanto a vitaminas, minerales, fitonutrientes y proteínas, dejando de lado lo que solo buscaban los transgénicos de primera generación que únicamente basaban sus esfuerzos en resistencia, calidad y maduración. La segunda generación de transgénicos se basa en la mejora nutricional basada en la necesidad de ayudar a los países con problemas nutricionales, un ejemplo de este es que en Bangladesh las calorías obtenidas por la población provienen de un 80% del consumo neto de arroz.

A continuación se observan algunos de los alimentos que presentan mejoras genéticas en torno a la búsqueda de las mejoras nutricionales.

4.3.1. Arroz

El arroz es uno de los alimentos de la canasta básica de mayor consumo a nivel mundial y en un país como Colombia se puede estimar que cada persona lo consume una vez al día, se estima que el consumo es de cerca de 130 gr por día siendo una muy buena fuente de carbohidratos sin embargo el arroz blanco común carece de los micronutrientes esenciales a diferencia del arroz integral que aún conserva el pericarpio y posee mayor cantidad de fibra y vitaminas del complejo B pero presenta deficiencias en ácido fólico y vitamina B12, lo cual se puede observar en la Tabla 7 donde se realiza una comparación de los 3 tipos de arroz comercializados (Zagui, 2010)

Tabla 7 Características nutricionales del arroz blanco, integral y fortificado Tomado de Zagui 2010

	Arroz blanco		Arroz integral		Arroz fortificado	
	Cantidad en 130 g de arroz seco	%RDI *	Cantidad en 130 g de arroz seco	%RD I	Cantidad en 130 g de arroz seco	%RD I
Calorias	474,5	20	481	20	479,5	20
Grasa (g)	0,91	1	3,77	6	0,91	1
Proteína (g)	9,23	18	10,27	21	9,23	18
Fibra (g)	1,69	7	4,55	18	1,69	7
Vitamina A (IU)	0	0	0	0	0	0
Vitamina C (mg)	0	0	0	0	0	0
Vitamina	0	0	0	0	0	0

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

D (IU)						
Vitamina E (mg)	0,13	0	1,56	5	0,13	0
Vitamina K (µg)	0,13	0	2,47	3	0,13	0
Riboflavina (mg)	0	0	0,13	8	0	0
Calcio (mg)	36,4	4	29,9	3	36,4	4
Magnesio (mg)	32,5	8	185,9	46	32,5	8
Fosforo (mg)	149,5	15	432,9	43	149,5	15
Potasio (mg)	149,5	3	289,9	6	149,5	3
Sodio (mg)	6,5	0	9.1	0	6,5	0
Cobre (mg)	0,26	13	0,29	20	0,26	13
Manganeso (mg)	1,43	72	4,81	241	1,43	72
Selenio (µg)	19,63	28	30,42	43	19,63	28
Tiamina (mg)	0,13	9	0,52	35	0,65	43
Niacina (mg)	2,08	10	6,63	33	5,2	23
Piridoxina (mg)	0,26	13	0,65	33	0,52	26
Folato (µg)	10,4	3	26	7	130	33
Vitamina B₁₂ (µg)	0	0	0	0	1,3	22

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

Hierro (mg)	1,04	6	1,95	11	3,12	17
Zinc (mg)	1,43	10	2,6	17	3,25	22

*RDI o Dietary Reference Intake es un sistema de recomendaciones nutricionales del Instituto de Medicina de los EEUU

Arroz dorado

Una de las mayores deficiencias que presenta la comunidad como tales la de la Vitamina A que genera ceguera y más posibilidad de contraer enfermedades infecciosas. Según la Organización Mundial de la Salud establece que esta deficiencia es la mayor causa de muerte infantil. Un grupo de Investigadores de la Fundación Rockefeller generaron una nueva variedad transgénica de arroz por medio de transformación con dos vectores de agrobacterium, sintetizando el fitoeno sintasa cuya función es la de convertir dos moléculas de Di fosfato de geraniol – geraniol (GGDP), que se pueden observar en la Figura 5, esta conversión es el primer paso en la biosíntesis de la Vitamina A (Vidal, 2011).

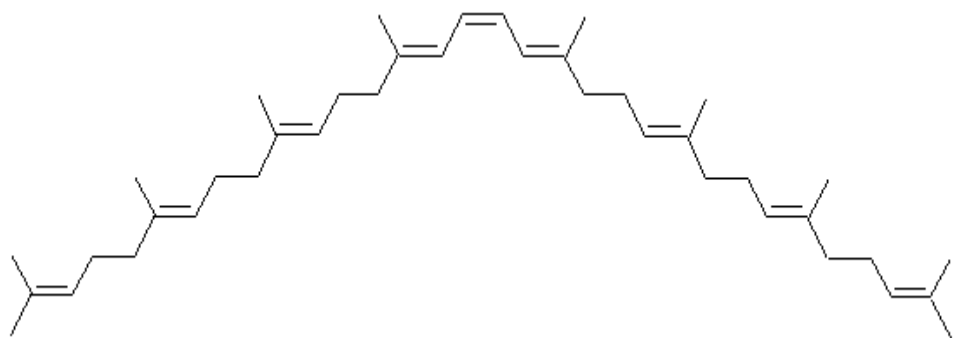


Figura 5 Molécula de Di fosfato Geraniol – geraniol (GGDP)

La variedad final se encontró mediante el fitoeno sintasa del maíz y fitoeno desaturasa de *Erwinia uredova*. Este arroz pretende aportar Vitamina A las poblaciones que no consumen la cantidad

necesaria, teniendo en cuenta que esta deficiencia genera problemas de vulnerabilidad a enfermedades como sarampión y alta tasa de mortalidad en maternas durante el embarazo o durante el parto (Singer, 2014).

Este arroz se desarrolla por donaciones de compañías como Syngenta, Bayer, Monsanto y Orynova, además se ofrece de forma gratuita a los países que desean desarrollarlo. Para facilitar la llegada del arroz a los países destino se creó un Comité Humanitario del arroz dorado o Golden Rice Humanitarian Board (Fernández, 2001).

Para 1984 se hizo una reunión con los productores y se les preguntó la característica favorita del arroz llegando a la conclusión de que el endospermo amarillo podría ser una alternativa beneficiosa para la deficiencia de Vitamina A que es uno de los mayores problemas para los consumidores de arroz en el mundo. Es importante establecer que por medio del consumo normal, el ser humano tan solo adquiere el 5% del betacaroteno que al no ser complementado con otros alimentos es una dosis muy baja, Peter Jennings precursor de la Revolución Verde en Asia y promotor del mejoramiento del arroz en América Latina convenció a los productores para la creación de un arroz que cambiara las condiciones de las personas más pobres (Zelgler, 2014).

Para Zelgler (2014), los cereales son la base calórica de la población mundial aportando 42% de las calorías, sin embargo carece en gran manera de minerales, vitaminas y nutrientes, algo preocupante si se tiene en cuenta que la mayor parte de la población mundial dependen del arroz o lo consumen una vez al día. Si se tiene en cuenta lo anterior Asia es uno de los mayores productores y consumidores de este cereal por lo que se debió

optar por algunas medidas para la deficiencia de Vitamina A en la región ya que el arroz no suplía dicha necesidad.

- Se optó en el 2011 por distribuir capsulas de vitamina A para los infantes y para las mujeres que acababan de parir.
- Se plantea ayuda a microhuertas en diferentes casas para diversificar la dieta de estas personas.
- Y las más importante la biofortificación de naranja batata de pulpa, las patatas dulces y el arroz dorado.

Se debe tener en cuenta que la patata dulce no necesita procesos de mejoramiento genético, sin embargo el arroz no puede tener esta clase de fortificación por otra fuente que no sea la ingeniería genética, al ser la base de la dieta alimenticia es importante mostrar que el mejoramiento genético genera un beneficio en este cultivo al permitir la fortificación en betacarotenos para el desarrollo de Vitamina A. Los estudios de campo para este cultivo se realizan en Filipinas y Bangladesh de modo que de presentar algún riesgo para la salud se dará término al proyecto (Zelgler, 2014).

El Hierro a su vez es un elemento importante en la nutrición de los organismos y su deficiencia afecta a cerca de dos billones de personas y causa 0,8 millones de muertes al año, de esta forma se encuentran tres formas de aliviar esta problemática: suplementación de micronutrientes y fortificación de alimentos. Una de las maneras de enriquecer los alimentos con Hierro consiste en sobreexpresar los genes que tienen que ver con este, en el caso del gen MA este se expresa en la exodermis de la raíz, los haces de la hoja, el floema, el polen, y en las semillas, por medio de la sobreexpresión de estos genes se ha logrado obtener un arroz que aumenta 1,2 su concentración de Fe y en las semillas un aumento a 1,6 de la concentración de Zinc (Masuda *et al.*, 2013).

Se establece que la fortificación del arroz con Hierros si puede ser realizada, se conoce un caso en el que para el año 1999 se introduce el gen ferritina de la soja en la variedad de arroz Kitaake transformado a través de la inserción de genes de *Agrobacterium* (Khush *et al.*, 2012). Sobre este arroz se encuentra una noticia innovadora frente a una vacuna para el colera basada en este arroz, esto teniendo en cuenta que el equipo japonés de investigación insertó una parte de la bacteria del Cólera *Vibrio cholerae* en este arroz, posteriormente se hizo el estudio con ratas presentando resultados convincentes (Instituto Pedro Kouri, 2007).

4.3.2. Maíz

El maíz junto al arroz son cereales que hacen parte de la dieta básica de la mayor parte de los individuos humanos, un producto de gran importancia a nivel histórico y además es la base de muchos de los productos transformados que se consumen actualmente por lo que su importancia también se ve en productos secundarios. En 1980 mediante el método de transformación de la protoplastos se crearon los primeros individuos de maíz transgénico que resultaron estériles (Naqvi *et al.*, 2011).

Los carotenoides predominantes en el grano del maíz son la luteína, zeaxantina, β caroteno, β criptoxantina y α caroteno. Los carotenoides pro vitamina A solo constituyen del 10 al 20% del contenido total de los carotenos del maíz mientras la zeaxantina y la luteína del 30 al 50%. Para el mejoramiento de estas se encuentran dos genes el gen 1 asociado a la enzima fitoeno sintasa y el gen viviparus 9 que se asocia con la enzima zetacaroteno desaturasa. Para también establecer las mejores formas de mejoramiento del maíz se estudió su genoma debido a

la cantidad de variedades encontradas de este, por lo que se pudo observar los genes vinculados con la Vitamina A y así poder explicar por medio de un mapa genético los genes que se deben usar para el mejoramiento. Se ha demostrado que por medio de las bacterias crtB y crtI en el endospermo se genera mayor contenido de proVitamina A, sin embargo la fortificación del maíz por medio de los transgénicos no tiene suficiente estudio (Kumar *et al.*, 2014).

4.3.3. Yuca

Es un alimento básico cultivado en zonas marginales de países pobres, es así como se ve su cultivo en África, Asia y América Latina. Este es un alimento muy importante para brindar seguridad alimentaria en África que es uno de los continentes más afectados por el hambre en la actualidad. Es el tercer cultivo de mayor importancia en África después del maíz y el arroz, y contribuye al 40% de los alimentos que se consumen allí, es una rica fuente de micronutrientes que son esenciales para mantener la energía en mujeres durante su periodo de menstruación o embarazo, y en los niños que son los principales afectados por las deficiencias nutricionales (Adenle *et al.*, 2012).

Una típica raíz adulta de yuca provee al consumidor suficientes calorías pero no ofrece la dosis necesaria de hierro, vitamina A y proteína, ofreciendo solo el 30% de la dieta diaria necesaria. Por otro lado la raíz de la yuca contiene niveles tóxicos de glucósidos cianógenos que necesitan ser removidos durante los procesos antes del consumo. En el 2005 la Fundación Bill y Melinda Gates establece la BioCassava Plus (BC+) programa que hace parte de los Grandes Cambios para la Salud Mundial para dar dirección a la malnutrición en África (Leyva- Guerrero *et al.*, 2012).

Para Stupak *et al.* (2006), una persona debe consumir cerca de 1,3 kg de raíces de yuca al día para satisfacer el requerimiento diario de todos los aminoácidos, debido a los niveles tóxicos que presenta la yuca de algunos de sus componentes se debe realizar procesos de cocción específicos con esta perdiendo mediante esta técnica las toxinas pero también degradando parte de sus proteínas. Para el desarrollo de un mejoramiento genético de la yuca no se pueden sobreexpresar sus propias proteínas sino que se debe usar proteínas de otras plantas. Los estudios para realizar mejoras del contenido nutricional de la yuca aún se encuentran en proceso pero existen genes candidatos que han pasado los estándares de calidad, productividad y riesgos de alérgenos y que serían una fuente eficiente de proteínas para estas raíces en otras plantas como, la semilla del girasol, el mijo fonio y el amaranto.

Se ha diseñado una proteína de almacenamiento artificial (ASP1) que se ha expresado en *Escherichia coli* y en tabaco en altos niveles, y que posteriormente se ha expresado en la yuca generando mayor contenido de proteína en las hojas de las plantas sin expresar grandes mejoras en las raíces, sin embargo se muestra un alto proceso de mejoramiento si se revisa que presenta mayor contenido de algunos aminoácidos trabajando indirectamente en el contenido proteico (Stupak *et al.*, 2006).

4.3.4. Tomate

El tomate tiene la característica de producción de licopeno y otros carotenoides por lo que se buscaba una línea de tomate que produjera frutas enriquecidas en luteína y otros carotenoides, para lograrlo se clonó el gen del tomate Lcy -e, que codifica la enzima licopeno ϵ ciclasa para la síntesis del caroteno. De esta forma la línea más prometedora tanto por su alto contenido del gen como

por la cantidad de carotenos expresada en hojas y fruto fue la HighDelta que se acercó a la HighCaro y al Red Setter. Esta transformación se realizó por medio de infección con *Agrobacterium tumefaciens* usando células de *Escherichia coli* (Giorio *et al.*, 2013).

4.3.5. Platano

La banana y demás especies de la familia *Musa* sp. son muy importantes en la dieta básica humana siendo un cultivo establecido para cerca de 400 millones de personas. Se decidió fortificar con Vitamina A este cultivo para evitar más deficiencias en el organismo humano causados por la falta de esta vitamina y teniendo en cuenta la disponibilidad del platano al mundo, al igual que en el tomate el estudio de la riqueza de dicho alimento se establece por el color y la cantidad de carotenos que podría brindar ya que el β carotenoide es uno de los principales aspectos de la Vitamina A. Se realiza por medio de Infección con *Agrobacterium tumefaciens* ya que es uno de los métodos que permite de manera más fácil la inserción de genes, todo esto siempre encaminado a la fortificación de los alimentos en torno a micronutrientes y vitamina A (Davey *et al.*, 2011).

4.4. EFECTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS DE LOS TRANSGÉNICOS EN LA SALUD HUMANA.

Los alimentos transgénicos han ejercido un gran problema social en los últimos años debido a la cantidad de personas que les defienden y por otra parte las personas que están totalmente en su contra, de esta manera encontramos que como cualquier otro producto o cualquier otro servicio tiene ciertas ventajas y desventajas que deben ser evaluadas.

Según Cacho *et al.* (2010), se pueden presentar los siguientes riesgos a la hora de revisar los transgénicos:

- Alergias: Al generarse integración de nuevos genes en la estructura genética natural se puede presentar producción de proteínas que posteriormente afectaran en alergias en la salud humana, tal como ocurrió en el Maíz StarLink revisado anteriormente, según esto los científicos han desarrollado normativas para el uso de estos productos y los alimentos deben ser equivalentes a otros existentes.

Se debe entonces tener en cuenta que el mayor problema para la salud humana son los riesgos de alergias que como se ve en la normativa y como se vio en el caso del maíz StarLink, es uno de los mayores motivos de estudio de los científicos encargados y que se revisa en las pruebas de campo por lo que se establecería que es un problema al que se le está buscando la solución adecuada.

Si bien la transformación genética ha generado mejoras en la parte nutricional de las plantas puede comenzar a generar efectos tóxicos si la cantidad de vitaminas, minerales y demás es más alta de la recomendada en un alimento. En el caso de la soja resistente al Roundup que presenta alteraciones en su cantidad de fitoestrogénos. Si bien no se han realizado estudios de acuerdo a las alteraciones del cuerpo humano por lo que conocemos algunos de sus efectos es por el estudio de ratas que han presentado síntomas como principio de úlcera en el estómago tras consumir Tomate Flavr Savr y alteraciones en el intestino delgado tras consumir papatas con insecticidas Bt (Ecologistas en acción, 2005).

Para conocer la toxicidad de los organismos se realizan pruebas con ratas brindándosele a estas dos dosis del alimento transgénico durante 3 meses haciéndoseles análisis de sangre a las 5 semanas y a los 3 meses en lo que se encontraron consecuencias como aumento de grasa, de azúcar, desajuste urinario, problemas de riñones e hígado, que precisamente son los órganos dedicados a la desintoxicación del individuo. Todas las afirmaciones en contra de los transgénicos, se encuentran basadas en el hecho de que algunos de estos organismos (principalmente de la primera

generación) actualmente presentan pesticidas dentro de ellos mismos. Sobre los pesticidas encontrados dentro de los organismos genéticamente modificados, se ha confirmado que presentan consecuencias dañinas en la salud humana inhibiendo la comunicación entre células y provocando enfermedades nerviosas y hormonales, se establece que son riesgos a largo plazo pero es la causa principal de la mayoría de las polémicas en torno a estos organismos (Seralini, 2009).

El Codex alimentario es aquel que firma una normativa frente a los elementos de seguridad, riesgos, calidad y demás de los alimentos, que presenta un aspecto específico en torno a los contaminantes y las toxinas. Por medio de esta norma se revisan los diferentes problemas que puede generar un contaminante determinado en los alimentos (Food and agriculture organization). El cual se caracteriza según este Codex en el siguiente Formato de la NGCTAP para determinar características de los contaminantes Tomado de Food and agriculture organization. (1995)..

ESTRUCTURA DE LA NGCTAP

Nombre del contaminante: se indicaran los símbolos, sinónimos, abreviaturas, descripciones científicas.

Referencia de las reuniones del JECFA: (en las que se examinó el contaminante)

IMDTP, ISTP o valor de referencia toxicológica similar: cuando la situación sea compleja quizás sea necesario incluir aquí una breve declaración y referencias adicionales.

Definición del contaminante: definición del contaminante tal como ha de analizarse y al que se aplica el NM.

Referencia a una medida dirigida a la fuente: o un código de prácticas para el contaminante, si es necesario.

Lista de niveles máximos del Codex para ese contaminante:

esta lista debe estar compuesta por los siguientes elementos en columnas.

- Número de clasificación del producto alimenticio/pienso o categoría de los alimentos/piensos.
- Nombre del producto alimenticio/pienso o categoría de alimentos/piensos.
- Valor numérico de nivel máximo.
- Sufijo que acompaña a un NM par especificar la aplicación del NM.
- Referencia a documentos o año de adopción.
- Referencia a criterios estandar para métodos de análisis y muestreo.
- Notas y observaciones.

Sin embargo Cacho *et al.* (2010) establece que las ventajas de los transgénicos radican en:

- Mejora de las características nutricionales
- Prolongación de la conservación y durabilidad de los alimentos.
- Mejora en caracteres organolépticos.

La mayor ventaja que presentan los transgénicos es la posibilidad de que los alimentos que pertenecen a esta gama de organismos tengan características nutricionales mejoradas como se ha expresado anteriormente en alimentos como el Golden Rice o Arroz dorado que presenta mayor contenido nutricional.

Para comenzar a revisar la normatividad sobre los organismos genéticamente modificados se deben tener en cuenta primero que existen entes que establecen las diferentes normas al respecto. De esta manera encontramos:

a) EFSA (European Food Safety Authority)

Autoridad creada por el Parlamento Europeo para evaluar situaciones de riesgo alimentario en el año 2002 que busca asesoramiento científico integrado con carácter independiente, de calidad y en el momento oportuno sobre los riesgos de la cadena alimentaria desde la granja hasta la mesa y la comunicación abierta de estos riesgos a todas las partes interesadas y al público en general (European Food Safety Authority, 2009)

b) FDA (U.S Food and Drug Administration)

Organización perteneciente al U.S Department of health and Human Service responsable de la regulación de los alimentos, suplementos alimenticios, medicamentos, cosméticos, aparatos médicos, productos biológicos y derivados sanguíneos. Regula los productos para dar seguridad a los consumidores norteamericanos (Baltà *et al.*, 2012)

Las leyes no vienen establecidas específicamente para los productos transgénicos biofortificados sino que se trata de manera general cualquier producto que tenga ingeniería genética como transgénico ya sea vegetal o animal. Dentro de una de las normativas más destacadas a tener en cuenta dentro de la normatividad transgénica encontramos:

El Protocolo de Cartagena es una normatividad que regula los organismos vivos modificados producto de la biotecnología, enfocado especialmente en el movimiento transfronterizo de todos estos organismos promoviendo todo lo necesario en torno a la seguridad.

Esta ley es la más importante en torno a seguridad alimentaria por organismos modificados, firmado en 1999 por la mayoría de los países en Cartagena – Colombia con el fin de establecer medidas de aseguramiento en torno al consumo, mercadeo y producción de este tipo de individuos (Organización de las Naciones Unidas, 2000)

Dentro de las demás normatividades que giran en torno a los transgénicos encontramos los derechos de autor con el fin de proteger los conocimientos de los distintos autores y científicos que han puesto todo su esmero en el desarrollo de esta área.

Por su parte la comisión Europea presentaba una serie de pautas para la aceptación de los productos de este tipo, de manera que las etiquetas de los alimentos deben establecer si es un alimento con o sin transgénicos con el fin de que el consumidor tenga toda la información a la mano.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Debido a los distintos problemas nutricionales que encontramos en el mundo, es importante el desarrollo de alternativas de mitigación de estas por lo que se encuentran alimentos como los revisados anteriormente. Los alimentos fortificados cumplen un papel importante ya que por el método tradicional se hace el mejoramiento de los alimentos más importantes en el consumo humano según cada región, un ejemplo de estos alimentos son las harinas fortificadas con hierro y otros minerales que son parte de la oferta de alimentos más encontrados en todos los países independientemente de su situación nutricional.

Sin embargo, después de tantos años de conocimiento científico y de ingeniería genética, ¿Por qué no usar las herramientas que este campo nos da para el desarrollo de nuevas alternativas de mitigación? La ingeniería genética brinda diferentes herramientas para el mejoramiento de productividad, calidad y rapidez de la cosecha para los distintos alimentos, sin embargo se puede establecer que de un tiempo para acá estos alimentos han

La transformación genética como alternativa en la biofortificación de alimentos para disminuir la desnutrición en los países pobres

ingresado en la era de la fortificación debido a que se encuentran países que presentan problemática alimentaria solo pueden satisfacer sus necesidades en un alimento básico que suplirá toda su dieta, es de esta manera que en países como la India se han logrado comenzar a establecer medidas de mitigación en base al desarrollo de un arroz fortificado como el arroz dorado visto anteriormente que es una de las bases de la alimentación en dicho país.

Las poblaciones desnutridas son unos de los mayores aspectos que generan problemática en el mundo, es de esta manera que se comienzan a establecer medidas en consideración a esto y a mejorar la situación de todos los integrantes, cada elemento o cada nutrimento tiene un papel importante en la actividad metabólica del organismo humano, de ahí que se dé la importancia de mantener un equilibrio entre ellos y de mantener una dieta eficiente que evite posibles enfermedades.

Deficiencias como las de la Vitamina A que generan problemáticas visuales o de Hierro que produce una enfermedad como la anemia, son factores importantes a considerar a la hora de revisar la fortificación de alimentos, en este caso la biofortificación es la opción para poblaciones con problemáticas nutricionales muy extremas pero para poblaciones con factores normales, los alimentos fortificados de la manera tradicional están más establecidos.

La biofortificación de alimentos permite la adición de elementos o nutrientes específicos a los alimentos, así es como se tiene de manera tradicional alimentos como las harinas que se fortifican por medio de compuestos del elemento específico, para las poblaciones de bajos recursos se encuentran los alimentos fortificados de manera genética en la que se toman genes específicos de diferentes organismos que permiten mejorar la síntesis de elementos que no son sintetizados por el organismo humano. Por otro lado las poblaciones de bajos recursos generalmente centran su dieta en un solo alimento que no puede suplir todas sus necesidades básicas de nutrientes y minerales, por lo que para satisfacerlos se toma ese alimento específico base para mejorarlo genéticamente y que sus componentes nutricionales sean más

grandes y variados permitiendo la absorción de varios suplementos por parte del organismo.

Se identifica que para cada especie existe una técnica de mejoramiento más eficiente debido a las propiedades fisiológicas de cada organismo, por ejemplo para el caso de monocotiledóneas como el maíz se presenta dificultad en una técnica como la infección por medio de *Agrobacterium*, por lo que se ven las demás alternativas como la Biobalística, y la electroporación. Cada técnica tiene una función específica que desarrollara un mejor trabajo en cada especie, lo que se sabe por medio del ensayo de las distintas técnicas.

La biofortificación definitivamente es una buena alternativa para el mejoramiento nutricionales de alimentos básicos en las poblaciones de bajos recursos, pero es importante tener en cuenta que esta transferencia tecnológica implica unos altos costos que no se podrían invertir en estas poblaciones, sin embargo existen varias fundaciones que se dedican al desarrollo de estos alimentos con el fin de brindar una seguridad alimentaria a estas zonas que se presentan en constante riesgo.

CONCLUSIONES

Se establece que cerca de 2000 millones de personas presentan desnutrición, generando una baja calidad de vida en los países de los que son parte. Es importante conocer como las poblaciones más vulnerables presentan problemáticas de hambre y cuáles son sus deficiencias para reconocer las posibles medidas que se tomaran para mitigar este problema.

La biofortificación tanto convencional como la dada por métodos como la ingeniería genética ha tomado una gran importancia por la gran ayuda que brinda a la hora de establecer una alimentación balanceada para las poblaciones de bajos recursos, es así como estos alimentos se han convertido en una de las herramientas más importantes para el desarrollo de la seguridad alimentaria en países subdesarrollados.

Se tienen en cuenta tres métodos de transformación esenciales como la de electroporación, Biobalística y la más usada infección por medio de *Agrobacterium tumefaciens* que han permitido la inserción de genes que establecen una mejora específica en torno a los valores nutricionales convencionales de cada uno de los alimentos.

BIBLIOGRAFIA

- Adenle, A.A., Aworh, O.C., Akromah, R. y Parayil, G. (2012). Developing GM super cassava for improved health and food security: Future challenges in Africa. Yokohama: BioMed Central. *Agr Food Sec.* 1, 1-15.
- Aguilera, C., Barberá, J., Díaz, E., Duarte, A., Gálvez, J., Gil, A., Gomez, S., Gonzalez, M., Granado, F., Guarner, F., Marcos, A., Martinez, O., Nova, E., Olmedilla, B., Pujol, P., Ramos, E., Romero, J., Tobal, F., Ramon, D., Wörnberg, J. y Zarzuelo, A. (2003). *Alimentos Funcionales: Aproximación a una nueva alimentación*. Madrid: Dirección General de Salud Pública y Alimentación. Recuperado de: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3Dt065.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1220385164006&ssbinary=true>
- Baltà, A., Blanco, V. y Baró, J. (2012). Alimentos transgénicos: la realidad no siempre supera a la ficción. Recuperado de: <http://ddd.uab.cat/pub/estudis/2012/103201/transgenicos.pdf>
- Bravo, M. (2009). *Vitamina E*. Recuperado de: <http://www.scielo.cl/pdf/rcp/v47n5-6/art09.pdf>
- Brito, A., Hertrampf, E., Olivares, M., Gaitán, D., Sánchez, H., Allen, L. H., y Uauy, R. (2012). Folatos y vitamina B12 en la salud humana. *Revista médica de Chile* 140(11), 1464-1475.
- Cacho, A., Lopez, B., Hernández, D., y Gracia, E. (2010). *Alimentos Transgenicos*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. Recuperado de: www.unizar.es/lagenbio/docencia/apuntesfundamentos/trangenicos.pdf
- Carranza, D. (2008). *Transformación de células vegetales. Obtención de plantas transgénicas*. Recuperado de: <http://ciencia-en-red.uncachodeciencia.org/biologia/Transformacion%20de%20celulas%20vegetales%20obtencion%20de%20plantas%20transgenicas.pdf>

- Castellanos, J. (2006). *Desnutrición energética proteínica*. Recuperado de: <http://www.oda-alc.org/documentos/1341931828.pdf>
- Castillo, C.F. (1992). *Descubrir 9*. Norma Primera edición. Santafé de Bogotá.
- Castro, M. (2000). *Carbohidratos y fibra*. Guías nutricionales para la Educación Nutricional en Costa Rica. Recuperado de: http://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/guiasalimentarias/carbohidratos.pdf
- Centro Internacional de Investigaciones Nutricionales. (2007). *Desórdenes por deficiencia de yodo*. Centro Nacional de Investigaciones nutricionales. Argentina. Recuperado de: http://www.msal.gov.ar/images/stories/cofesa/2007/acta-09-07/anexo_11_deficiencia_de_yodo.pdf
- Chavarri, M., Vegas, A., Zambrano, A., y Demey, J. (2004). Transformación de embriones somáticos de mango por Biobalística. *Interciencia*, 29(5), 261-266.
- Claramunt, M. (2006). *Yodo*. Guía para la Educación Nutricional en Costa Rica. Recuperado de: http://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/guiasalimentarias/yodo.pdf
- Davey, M., Breghe, V.D., y Roux, N. (2011). Vitamin A Biofortification in Musa: Status, Bottlenecks and Prospects. I. Van den Bergh et. al. *ISHS Acta Horticulturae* 897, Ed. 1. 169– 178.
- De la Campa, J.D., Moreira Díaz, E., y Valdés Roque, A.I. (1996). Vitamina A en gestantes evaluadas mediante encuesta dietética e impresión citológica conjuntival. *Revista Cubana de Medicina General Integral* 12(3), 234-241.
- De Oliveira, V., Muller, G., Dutra, E., Daniele, B., y Zirbes, G. (2014). Influencia de la vitamina D en la salud humana. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, 48(3), 329-337.
- Delgadillo, J., y Ayala, G. (2009). Efectos de la deficiencia de riboflavina sobre el desarrollo del tejido dentoalveolar, en ratas. *An. Fac. Med.a* 70(1),

pp. 19-27. Recuperado de:
<http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v70n1/a04v70n1.pdf>

Ecologistas en acción. (2005). *Alimentos Transgenicos*. Recuperado de:
http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe_alimentos_transgenicos.pdf

European Food Safety Authority. (2009). *Plan estrategico de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria para 2009 - 2013*. Recuperado de:
<http://www.efsa.europa.eu/en/search/doc/stratplan09es.pdf>

Fernández, E. (2001). La historia del Arroz Dorado: Vitamina A para los países en desarrollo. Fundación Antama. Recuperado de:
<http://www.eurekamuseoa.es/images/stories/AreaEducativa/CCMCII/jlc-LahistoriadelArrozDorado.pdf>

Fitzpatrick, T.B., Basset, G.J., Borel, P., Carrari, F., DellaPenna, D., Fraser, P. D., y Fernie, A.R. (2012). Vitamin deficiencies in humans: can plant science help? *The Plant Cell Online*, 24(2), 395-414.

Food an agriculture organization. (1995). Norma general del codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. Recuperado de:
http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf

Food and agriculture Organization of the United Nations. (2014). *Acting on food insecurity and malnutrition: Food Security Commitment and Capacity Profile*. Rome: Food and agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de:
[http://www.fao.org/fsnforum/sites/default/files/files/FSCCP_methodology_paper_draftMarch2014\(1\).doc](http://www.fao.org/fsnforum/sites/default/files/files/FSCCP_methodology_paper_draftMarch2014(1).doc).

Friends of the Earth International. (2002). *Riesgos potenciales de los organismos modificados genéticamente en la agricultura y la alimentación. El estado de la cuestión*. Recuperado de:
http://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/intoxicaciones/04-riesgos_organismos_modificados_geneticamente.pdf

- Gamboa, C. (2000). *Vitamina A*. Guías alimentarias para la Educación Nutricional en Costa Rica. Recuperado de: http://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/guiasalimentarias/vitaminaA.pdf
- García, J. (2008). Alimentos genéticamente modificados: Transgénicos. *Revista Biocenosis*, 21(1), 47-50.
- García, S.C. (2012). Gen ajeno o exógeno: transgén. Cuadernos del Tomás, (4), 187-200.
- Giorio, G., Yildirim, A., Stigliani, A. L., y D'Ambrosio, C. (2013). Elevation of lutein content in tomato: A biochemical tug-of-war between lycopene cyclases. *Metabolic engineering*, 20, 167-176.
- Gonzalez, D. (2012). *Syngenta lanzará variedades de soja a la medida de cada productor*. Recuperado de: <http://5dias.com.py/11797-syngenta-lanzar-variedades-de-soja-a-la-medida-de-cada-productor>
- Gonzalez, J., y Gerardo, T. (2006). *Transgénicos de tercera generación*. Recuperado de: www.geocities.ws/.../organismos_transgenicos_de_tercera_generacion.doc
- Gómez-Núñez, L., Flores, O., de Jesús, M. T., Soto Ruiz, L., Gómez-Lim, M. A., y Loza-Rubio, E. (2011). Expresión de la proteína E del virus del Oeste del Nilo en callos embriogénicos de maíz, transformados mediante biobalística. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(1), 1-14.
- Gutiérrez, A., Santacruz, F., Cabrera, J.L., y Rodríguez, B. (2003). Mejoramiento genético vegetal in vitro. *e-Gnosis*, (1), 1-19.
- IAASTD: Evaluación Internacional del Conocimiento, Ciencia y Tecnología en el Desarrollo Humano. (2006). *Salud y nutrición humana*. Recuperado de sitio web de United Nations Environment Programme: http://www.unep.org/dewa/agassessment/docs/human_healthESlowres.pdf
- Instituto Pedro Kouri. (2007). *Boletín Epidemiológico Semanal*. La Habana: Dirección Nacional de Epidemiología Ministerio de Salud Pública. Recuperado de: <http://boletines.sld.cu/ipk/>

- Jamart, M. V. (2007). Manejo anestésico en cesárea electiva de una gestante con enfermedad de Beriberi. *Revista Española Anestesiología*, 54(1), 125-127.
- Kamara, A. (2001). *Nutrición, Regulación del Crecimiento y Desarrollo Vegetal*. Recuperado de sitio web de Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro:
http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio1/Ponencia_04.pdf
- Khush, G.S., Lee, S., Cho, J.I., y Jeon, J.S. (2012). Biofortification of crops for reducing malnutrition. *Plant biotechnology reports* 6(3), 195-202.
- Kumar, S., Sangwan, S., Yadav, R., Langyan, S., y Singh, M. (2014). Maize Carotenoid Composition and Biofortification for Provitamin A Activity. India. Springer. *Maize: Nutrition Dynamics and Novel Uses*, 1, 83-91. DOI 10.1007/978-81-322-1623-0_7.
- Lagunes, E. (2009). Transformación genética de ajo (*Allium sativum* L.) mediante *Agrobacterium tumefaciens*. Trabajo de grado, Maestría en Ciencias Agrarias. Colegio de Postgraduados. Mexico. Recuperado de:
http://www.cm.colpos.mx/2010/images/tesis_p/fisiologiaV/tesis_transformaci%F3n.pdf
- Lea-Cox, J., y Ristvey, A. (2006). *Principios básicos de la Nutrición Vegetal*. Recuperado de:
<http://www.eefb.ucr.ac.cr/Revistas/Hortalizas/Nutricion%20JLC.pdf>
- Leyva-Guerrero, E., Narayanan, N.N., Ihemere, U., y Sayre, R.T. (2012). Iron and protein biofortification of cassava: lessons learned. *Current opinion in biotechnology* 23(2), 257-264.
- López, A., y Chaparro, A. (2007). Propuesta de un sistema de transformación de plantas de papa (*Solanum tuberosum*) mediado por *Agrobacterium tumefaciens*. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 16-25.
- Martínez, O. (2004). Metabolismo de los hidratos de Carbono. Recuperado de:
http://www.uco.es/master_nutricion/nb/Gil%20Hernandez/hidratos%20carbono.pdf

- Masuda, H., Sann, M., & Nishizawa, N. (2013). *Iron biofortification of rice using different transgenic approaches*. Tokyo: Rice a SpringerOpen Journal, 6(1), 6-40. DOI 1186/1939-8433
- Mataix, J., y Carazo, E. (2005). *Minerales I - Visión general, Nutrición para educadores*, Ediciones Diaz de Santos, 149-179.
- Monsanto. (2008). *Seguridad del maíz MON810 (YielGard) genéticamente protegido contra taladros*. Recuperado de:
<http://www.monsanto.com/global/es/noticias-y-opiniones/documents/yielgard.pdf>
- Moreno, R. (2002). *Fisiología de la Nutrición Humana*. Recuperado de:
http://www.uco.es/master_nutricion/nb/NB02.pdf
- Mundo Alimentario. (2012). *Compuestos de Hierro para la fortificación de alimentos*. Mundo alimentario, 13-19. Recuperado de :
<http://alimentariaonline.com/>
- Naqvi, S., Ramessar, K., Farré, G., Sabalza, M., Miralpeix, B., Twyman, R.M., y Christou, P. (2011). *High-value products from transgenic maize. Biotechnology advances*, 29(1), 40-53.
- Natura Foundation. (2010). *Vitamin B5 Terapia Ortomolecular*. Recuperado de:
http://www.bonusan.es/vademecum/Vitamina_B5_pantot%C3%A9nico_500mg.html
- Onofre, R. (2009). *Calidad de los análisis de riesgo e inseguridad de los transgénicos para la salud ambiental y humana*. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica 26(1), 74-82.
- Organización de las Naciones Unidas. (2000). *Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología del convenio sobre la diversidad biológica*. Recuperado de: <http://www.cbd.int/doc/legal/cartagena-protocol-es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). *Nutrición Humana en el Mundo de Desarrollo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de:
<http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s10.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Panorama de Seguridad Alimentaria y Nutricional en América*

Latina y el Caribe 2014. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i4018s.pdf>

- Perez, M., Delgado, M., Hernandez, C., y Armas, R. (2007). Evaluación morfológica de brotes regenerados de callos de arroz (Variedad IACuba) resistentes a higromicina. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 9(1), 35-40.
- Pila, R., Pila, R., Holguín, V.A., Torres, E., y Rosales, P. (2013). Pelagra: enfermedad antigua y de actualidad. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 17(3), 381-392.
- Pita, G. (1998). Ácido fólico y vitamina B 12 en la nutrición humana. *Revista Cubana Aliment Nutr*, 12(2), 107-19.
- Quintana, M. E. (2009). Transformación genética de cebolla (*Allium cepa* L.) mediante biobalística. Montecillo. Colegio de postgraduados, Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.
- Ramón, D. (2009). Alimentos transgénicos. Nutrigenética y nutrigenómica, 61-69. Recuperado de: <http://www.fundacionmhm.org/pdf/Mono9/Articulos/articulo4.pdf>
- Reyes, M. S., y Rozowski, J. (). Alimentos transgénicos. *Revista Chilena de Nutrición* 30(1), 21-26. ISSN 0717-7518.
- Rovirosa, A., y Zapata, M.E. (2012). Hacia una fortificación adecuada y segura. Centro de estudios sobre nutrición infantil Dr. Alejandro O'Donnell. Recuperado de: <http://files.cloudpier.net/cesni/biblioteca/Fortificacion-de-alimentos.pdf>
- Rubio, S. (2005). Transformación genética en trigo común (*Triticum aestivum* L) y Triticale (xTriticosecale Wittmack) mediante Biobalística y *Agrobacterium tumefaciens*. Trabajo de grado (pregrado o maestría o doctorado). Universidad de Alcalá. Recuperado de: <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/790/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, L., y Santos, E. (2010). Estandarización del protocolo de transformación genética de células. *Revista Tecnológica ESPOL*, 23(1), 105-112.

- Sanchez, T. (2008). Plantas transgenicas. Biotecnología y alimentación. Recuperado de: <http://www.uned.es/experto-biotecnologia-alimentos/TrabajosSelecc/TrinidadSanchez.pdf>
- Seralini, G.E. (2009). "Los transgenicos son tóxicos para la salud humana". (I. Sanchís, Entrevistador) La Vanguardia - La Contra. Entrevista publicada el 8 de abril de 2009.
- Silveira, M., Monereo, S., y Molina, B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿Cerca o lejos? *Rev Esp Salud Pública*, 77(3), 317-331.
- Singer, P. (2014). Las ventajas claras del Arroz dorado. Global Health and Development. Recuperado de: <http://www.project-syndicate.org/commentary/peter-singer-advocates-a-case-by-case-approach-to-genetically-modified-organisms/spanish>
- Spinneker, A., Sola, R., Lemmen, V., Castillo, M., Pietrzik, K., y González, M. (2007). La vitamina B 6 estado, la deficiencia y sus consecuencias - una visión general. *Nutrición Hospitalaria*, 22(1), pp-pp
- Stupak, M., Vanderschuren, H., Gruissem, W., y Zhang, P. (2006). Biotechnological approaches to cassava protein improvement. *Trends in Food Science & Technology*, 17(12), 634-641.
- Tacsan, L., y Ascencio, M. (2001). Alimentos fortificados. La Salud Publica en Costa Rica. Capitulo 16 .Recuperado de: <http://www.saludpublica.ucr.ac.cr/Libro/16%20Alimentos%20fortificados.pdf>
- Tamasi, O., Sammartino, R., Roisinblit, D., Acosta, N., y Velich, T. (2005). *Alimentos obtenidos a partir de organismos genéticamente modificados (OGM)*. Instituto Nacional de alimentos – Ministerio de Salud y Ambiente. Recuperado de: <http://www.anmat.gov.ar/alimentos/OGM.pdf>
- Tuero, B. B. (2000). Funciones de la vitamina C en el metabolismo del colágeno. *Rev Cubana Aliment Nutr*, 14(1), 46-54.
- Valderrama, A.M., Arango, R., y Afanador, L. (2005). Transformación de plantas mediada por *Agrobacterium*: "Ingeniería Genética Natural Aplicada". *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2569-2585.

- Valerio, R., y García, E. (2008). Transformación genética de plátano (*Musa spp.* cv Hartón) mediante Biobalística aplicada a tejidos meristematicos. *Interciencia*, 33(3), 225 - 231.
- Vargas, W. (1985). Los elementos trasa en la nutrición humana. Editorial, numero pp-pp. Recuperado de sitio web de BINASS: Biblioteca Nacional de Salud y Seguridad Social Caja Costarricense de Seguro Social: <http://www.binasss.sa.cr/revistas/rccm/v6n4/art13.pdf>
- Vidal, R. (2011). Alimentos Transgenicos: ¿Pueden considerarse una mejora funcional? *Alimentación y Derecho. Editorial Medica Panamericana*, 81-100.
- Villareal, A.M. (2002). Los carbohidratos. *Nutripro. Boletín de nutrición Nestlé Foodservices. Nestle.* Recuperado de: https://www.nestleprofessional.com/mexico/es/Documents/nutripro/nutripro_1.pdf
- Zagui, J. (2010). *Hacia un programa de fortificación del arroz en Nicaragua.* Recuperado de: http://fortifyrice.org/Rice_Fortification_Catalyst/Press_files/Hacia%20un%20programa%20de%20fortificacion%20del%20arroz%20-%20Final.pdf
- Zelgler, R. (2014). *Biofortification: Vitamin A Deficiency and the Case for Golden Rice.* Switzerland: Plant Biotechnology: Experience. Chapter 19, 245-262.

ANEXO 1

GLOSARIO

Agrobacterium Tumefaciens: Bacteria causante de tumores en la planta denominados agallas que comienzan formándose entre la raíz y el tallo, pero a medida que la infección avanza comienza a afectar otros órganos de la planta. Debido a su capacidad de ingresar al ADN del individuo afectado, es usado en Ingeniería Genética.

Agro insumo: Productos líquidos, sólidos y gaseosos que son usados para el desarrollo productivo o el cuidado sanitario e la producción agrícola.

Alérgeno: Sustancia que puede inducir una reacción de hipersensibilidad en individuos susceptibles que han tenido contacto con dicha sustancia.

Almidón: Polisacárido presente en la mayoría de los vegetales que es una de las fuentes de calorías más importantes para el ser humano.

Auxina: Hormona vegetal reguladora del crecimiento vegetal.

Biodisponibilidad: Parte del nutriente que el cuerpo digiere, absorbe y utiliza en sus funciones metabólicas.

Biotecnología: Rama de la tecnología que estudia y aprovecha los mecanismos biológicos de los seres vivos.

Carbohidrato: Moléculas compuestas por carbono (C), Hidrogeno (H) y Oxigeno (O) que cumplen la función de brindar energía a los seres vivos.

Caroteno: También denominado β caroteno, es el carotenoide más abundante y de gran importancia en la dieta humana debido a que se convierte en Vitamina A.

Carotenoide: Pigmentos orgánicos encontrados de manera natural en las plantas, compuesto que no puede ser sintetizado por los individuos por lo que se debe obtener en la dieta.

Citoquininas: Hormona vegetal que promueve la división y diferenciación celular.

Colágeno: Molécula proteica que forma fibras, presente en todos los animales siendo el componente más abundante en piel y huesos.

Deficiencia: Carencia de una propiedad.

Dieta: Cantidad de alimento que se proporciona a los organismos en un periodo de 24 horas.

Enfermedad: Alteraciones del estado fisiológico normal de los individuos, con sintomatología específica que ayuda a diferenciar de cual se trata.

Enzima: Molécula proteica que cataliza reacciones químicas en todos los seres vivos para el desarrollo de las funciones fisiológicas y metabólicas.

Fitoestrógeno: Compuestos químicos presentes en los vegetales, encontrados en los alimentos en pequeñas cantidades.

Fruto: Órgano procedente de la flor que contiene las semillas hasta que esas maduran, este es el ovulo madurado de las plantas con flor. Generalmente consumido por los animales, hay ciertas especies que se producen en cultivos específicos para consumo humano. Frutos como el tomate, el lulo, la naranja, entre otros.

Gen: Unidad básica de información dentro del genoma que contiene la información necesaria para la síntesis de una macro molécula. Unidad de almacenamiento de información genética y de herencia.

Genética: Campo de la biología que busca comprender la herencia biológica.

Genoma: Contenido de genes contenidos en el cromosoma que se entiende como la totalidad de la información genética que posee un organismo o una especie en general.

Glándula: Conjunto de células encargadas de sintetizar sustancias químicas como las hormonas.

Hambre: Sensación que indica la necesidad de alimentos de un organismo.

Herbicida: Producto fitosanitario usado para eliminar plantas indeseadas comúnmente denominadas malezas o malas hierbas, pero que técnicamente se deben denominar arvenses.

Hortaliza: Conjunto de plantas cultivadas que incluye verduras y legumbres verdes, consumidas como alimento.

Inmunología: Rama de la biología ocupada del sistema inmunitario, estudiándolo desde el estado sano hasta en el estado en el que ya se presentan enfermedades por agentes externos.

Lípidos: Compuestos formados especialmente por Carbono e Hidrogeno, son hidrófobas y que se denominan comúnmente como grasas.

Morbilidad: Proporción de personas consideradas enfermas o víctimas de esta en un lugar y tiempo específico.

Mutación: Cambio de la información genética de un ser vivo que produce variación en sus características

Nutrición: Aprovechamiento de nutrientes manteniendo equilibrio del organismo, proceso por el que se asimilan los alimentos ingeridos para crecimiento, funcionamiento y mantenimiento de las funciones vitales.

Nutriente: Producto químico procedente del exterior de la célula y que es necesario para realizar sus funciones. Se obtiene por medio de los distintos alimentos siendo cada uno fuente específica de un nutriente esencial.

Objetivos del Nuevo Milenio: Son ocho propósitos de desarrollo fijados en el año 2000 que los países miembros de las Naciones Unidas fijaron acordaron conseguir en el año 2015. Los objetivos que se manejan son: Erradicar pobreza extrema y hambre, lograr la enseñanza primaria universal, promover la igualdad entre géneros, reducir mortalidad infantil, mejorar salud materna, combatir las enfermedades, garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y fomentar asociación mundial para el desarrollo.

Plásmido: Moléculas de ADN que se transfieren y replican de forma independiente al ADN cromosómico, se encuentran presentes normalmente en las bacterias.

Proteína: Moléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos, importantes en el crecimiento de los organismos y las reacciones metabólicas principales.

Retinol: Nombre con el que también se conoce a la Vitamina A, vitamina liposoluble que interviene en formación y mantenimiento de las células epiteliales, crecimiento óseo, protección y regulación de la piel y las mucosas, de ahí su importancia en el sentido visual.

Síntesis: Construcción de moléculas funcionales en el organismo por medio de distintas reacciones químicas.

Sintomatología: Manifestación consecuyente a una enfermedad o alteración de la salud que se hace evidente en el individuo afectado.

Suelo: Parte superficial de la corteza terrestre proveniente de la alteración o desintegración de las rocas, y otros residuos provenientes de los organismos que realizan sus labores sobre ella.

Tóxicidad: Capacidad de una sustancia de producir efectos perjudiciales sobre un ser vivo.

Transgénico: Organismo cuyo material genético ha sido alterado por medio de técnicas de la ingeniería genética, también se denominan Organismos Genéticamente Modificados.

Tubérculo: Tallo subterráneo modificado y engrosado donde se almacenan nutrientes de reserva para la planta. Algunos de estos se consumen en la dieta humana como es el caso de la yuca, la zanahoria y la papa.

Vector: En genética es un agente que transfiere información genética por algún medio de un organismo a otro.

Vitamina: Compuestos imprescindibles para la vida, la mayoría no pueden ser sintetizadas por el individuo por lo que debe adquirirlas por medio de la dieta.

Xeroftalmía: Enfermedad de los ojos caracterizada por sequedad de la córnea, una de sus causas es la deficiencia de retinol.