

ARROZ DORADO: IMPORTANCIA DEL β -CAROTENO EN POBLACIONES VULNERABLES

GOLDEN RICE: IMPORTANCE OF THE β -CAROTENE IN VULNERABLE POPULATIONS

Jessica Calatayud Ávila, Luis Ángel Morales Mora

Licenciatura en Biotecnología. Facultad de Ciencias Biológicas

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Puebla, Puebla, México

jessyaklata@hotmail.com

lobovailarin@gail.com

Resumen

En este trabajo mostramos un panorama general del arroz dorado a través de su estudio en las últimas décadas e identificamos los beneficios que este alimento puede brindar a la población actual, quien enfrenta problemas serios de deficiencia de vitamina A debido a un contenido pobre en su dieta diaria. Además, planteamos que existen zonas en el mundo que requieren de vitamina A de una forma económicamente sostenible, por lo cual enlistamos dichas zonas con los grupos vulnerables correspondientes. Afirmamos que el consumo de este tipo de arroz podría ayudar a resolver las problemáticas relacionadas con la deficiencia de vitamina A y ubicamos las zonas actuales en donde este producto está siendo desarrollado a través de la biotecnología.

Palabras clave: Arroz dorado, vitamina A, productos transgénicos, grupos vulnerables, ceguera.

Abstract

In this paper, we show an overview of golden rice through the way in which it has been studied over the last decades and identify the benefits that this kind of food can provide to today's societies, who are dealing with serious problems related to vitamin A deficiency due to a poor vitamin content on their everyday diets. Furthermore, we state that there are areas around the world that need affordably sustainable vitamin A, so we enlist them with their corresponding vulnerable groups. We argue that intake of this type of rice might help in solving the problems related to vitamin A deficiency and locate the current areas where this product is being developed by biotechnology.

Key words: Golden rice, vitamin A, transgenic products, vulnerable groups, blindness.

Introducción

El beta-caroteno es la principal fuente de vitamina A, esencial para el crecimiento, el desarrollo y el funcionamiento adecuado del sistema inmune y la vista. Además, tiene propiedades antioxidantes que pueden ayudar a prevenir el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cáncer. Sin embargo, a lo largo de los años han existido deficiencias que han comprometido la alimentación mundial, como en el caso de al menos 26 países, incluyendo zonas densamente pobladas de Asia, África y América Latina (Ye, Xudong Al-Babili, 2000).

Una alternativa para abatir esta problemática es la implementación del famoso arroz dorado debido a que en zonas como Asia la dieta consiste principalmente en arroz común y con ayuda de tecnologías como el ADN recombinante se han modificado especies de arroz que tienen un contenido óptimo de vitamina A. Así, al seguir consumiendo su producto natal, este tipo de poblaciones aliviarían los problemas de escasez grave de vitamina A.

Estudiar la historia para averiguar cuándo exactamente se empezó a crear este alimento resulta un tanto complicado, pero se cree que surgió a la par del avance de las tecnologías multidisciplinarias como la biotecnología y de la principal

preocupación por resolver temas relacionados y la facilidad con la que la manipulación genética se hace cada vez más factible y benéfica para el propio ser humano.

¿Qué es el arroz dorado?

El arroz dorado es el resultado de trabajos sobre ingeniería genética aplicados a este cereal con el propósito de que esta variedad de arroz manipulado genéticamente produzca beta- caroteno en su endospermo de forma natural y, así, otorgarle la característica pigmentación amarillenta café que le da su nombre (García-González, 2004).

La diferencia entre el arroz dorado y el arroz blanco común radica en el contenido nutritivo de la parte comestible de estos, ya que el endospermo del primero contiene gránulos de almidón, proteínas y nutrientes benéficos para la salud como la vitamina A.

Con el consumo de arroz dorado se trata de aportar las cantidades necesarias de vitamina A (en forma de provitamina A) a las personas que no obtienen la cantidad suficiente en sus dietas. De este modo, los promotores de este tipo de arroz esperan remediar la avitaminosis existente en los países pobres. Al respecto, Fernández (2001) señala que la falta de vitamina A en la población infantil tiene consecuencias graves debido a que se estima que aproximadamente medio millón de niños pierden la vista

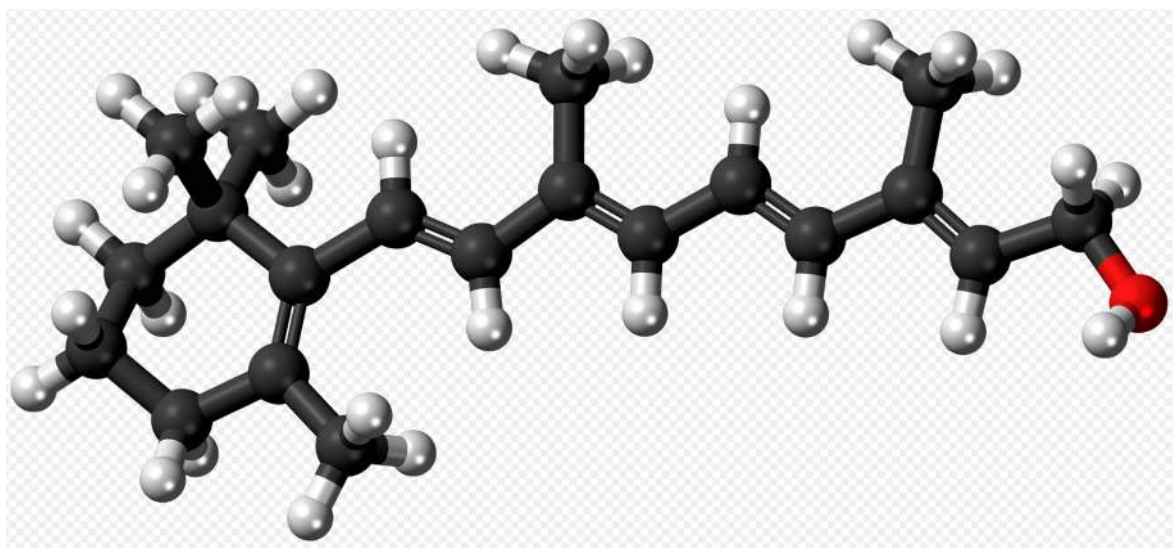


Figura 1. Arroz dorado. Los granos de arroz dorado son fácilmente reconocibles por su color amarillento. Un color más intenso significa mayor contenido de beta-caroteno. Imagen tomada de <http://www.goldenrice.org>

por falta de vitamina A en sus dietas anualmente alrededor del mundo, especialmente en algunas regiones del sudeste de Asia y ciertas áreas de África y Latinoamérica.

¿Qué es la vitamina A?

Vitamina A es un término que se emplea para describir una familia de compuestos liposolubles esenciales en la dieta que tienen una relación estructural con el alcohol lípidico retinol y que comparten su actividad biológica.



La actividad biológica de la vitamina A se atribuye al transretinol pero, desde el punto de vista nutricional, se debe incluir con la denominación de provitaminas A de ciertos carotenoides y compuestos afines. Los carotenoides tienen la capacidad de originar en el organismo retinol.

En los alimentos de origen animal, la vitamina A se encuentra en mayor proporción en la parte lipídica, como el retinol. En cambio, los alimentos vegetales contienen solamente carotenoides, todos ellos pigmentos coloreados, como el alfa-, beta- y gama-caroteno, el licopeno, entre otros (Schauff, 2005).

Como retinol, la vitamina A está presente en alimentos de origen animal como hígado, leche entera, mantequilla, queso, pescado, entre otros.

Como carotenoides (β -caroteno es el carotenoide más común), esta vitamina está presente en alimentos de origen vegetal como zanahorias, jitomates, verduras de hoja verde, camote y mango. Los β -carotenos y otros carotenoides son conocidos como precursores de vitamina A (Schauff, 2005).

Actualmente muchos cereales en caja, jugos, lácteos y otros alimentos están fortificados con vitamina A.

Producción de beta-caroteno



Figura 2. Biosíntesis de beta-caroteno. Las enzimas nombradas fueron las que están ausentes en el endospermo del arroz y fueron introducidas para la obtención de beta-caroteno. Los genes que codifican para las enzimas *Fitoeno sintasa* y *Fitoeno desaturasa* provienen del Narciso (*Narcissus spp*), mientras que el gen de la *Licopeno ciclasa* proviene de la bacteria *Erwinia uredovora*

Si bien la producción de beta-caroteno se presenta de forma natural en algunos alimentos, en el arroz no es así. Los investigadores han logrado producir beta-caroteno debido al diseño de una ruta biosintética en el endospermo del arroz. Toda la investigación y el desarrollo de esta variedad se llevaron a cabo con fondos de la Fundación Rockefeller y de la Unión Europea y, como se hizo fuera del ámbito empresarial privado, se ha convertido en la herramienta perfecta y oportuna de relaciones públicas que tanto necesitaban los promotores de la ingeniería genética.

La ruta biosintética del beta-caroteno comienza con el difosfato de geranilgeranilo, el cual es un intermediario en esta ruta y además es producido de forma natural por el endospermo inmaduro del arroz (Ye, 2000). Para el diseño de dicha ruta se necesitaron cuatro enzimas de planta: fitoeno sintasa, fitoeno desaturasa, desaturasa ζ -caroteno y licopeno β -ciclaza.

Cabe destacar que *CrtI* denota una caroteno desaturasa proveniente de bacterias capaces de realizar todas las reacciones necesarias de desaturación para las cuales se requieren dos enzimas en plantas. Para lograr la vía que implementara las enzimas necesarias para la biosíntesis se construyeron tres vectores.

El primer plásmido, pB19hpc, combina la secuencia para una fitoeno sintasa (RSP) proveniente del Narciso (*Narcissus pseudonarcissus*) con la secuencia de una fitoeno desaturasa (*crtI*) proveniente de la *Erwinia*. Las dos se colocan bajo el control de la glutelina específica del endospermo (Gt1) y el promotor CaMV 35S (Ye, 2000).

Este plásmido, por lo tanto, debe dirigir la formación de licopeno en los plásmidos del endospermo, el sitio de formación de GGPP (Ye, 2000).

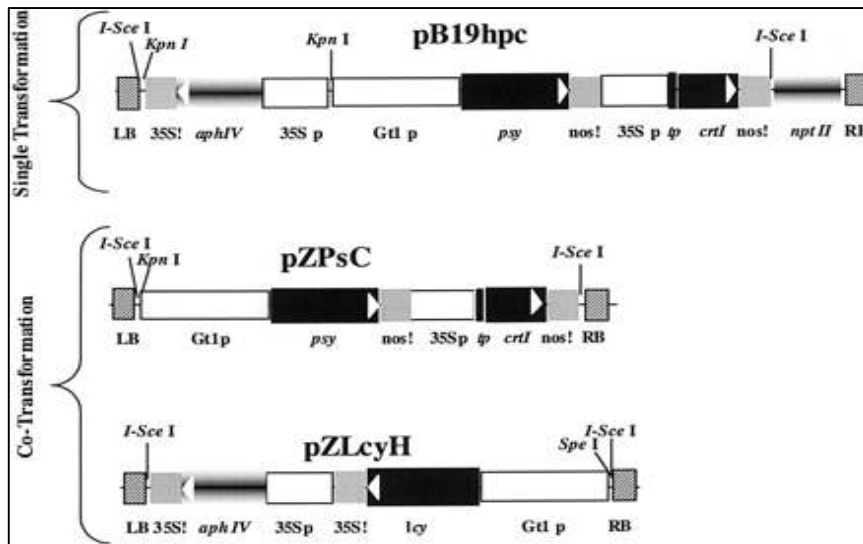


Figura 3. Construcciones de ADN utilizadas en cotransformaciones y transformaciones individuales. RB, derecha fronteras; LB, dejado las fronteras; TP, péptido de tránsito de pea ribulosa fosfato de bis la carboxilasa;!, terminator; p, promotor; gt, glutelina; Psy, fitoeno sintasa; crtI, bacteriana (Ye, XudongAl-Babili, 2000)

Para completar el camino biosintético del β -caroteno, se llevaron a cabo transformaciones empleando dos vectores; el primero (pZPsC) portador de *psy* y *crtI*, como en pB19hpc, pero falta la expresión para el marcador seleccionable *aphIV* y el segundo (pZCycH) que bajo el control del promotor de glutelina sigue la secuencia de codificación para la enzima licopeno β -ciclase, originario de *N. pseudonarcissus*. La combinación de ambos plásmidos, por lo tanto, debe ser capaz de dirigir la formación de β -caroteno en el endospermo del arroz (Ye, 2000).

Importancia de la vitamina A

Además de los compuestos orgánicos, como carbohidratos, lípidos y proteínas, el cuerpo necesita de unas sustancias conocidas como vitaminas, las cuales son de naturaleza muy diversa, pero todas son necesarias, aunque en pequeñas cantidades, para promover y regular reacciones químicas y procesos fisiológicos que se llevan a cabo en nuestro organismo. Esto quiere decir que son compuestos heterogéneos imprescindibles para la vida, ya que al ingerirlos de forma equilibrada y en dosis esenciales promueven el correcto funcionamiento fisiológico pues cumplen funciones vitales relacionadas con el metabolismo y con la producción de hormonas, neurotransmisores, células sanguíneas o material genético. Entonces queda claro que no actúan como nutrimentos, pero sí son indispensables para los procesos celulares. El significado de la palabra vitamina es el siguiente: vita (vida) y amina (compuesto nitrogenado).

Se debe aclarar que estas sustancias tan importantes para el humano se obtienen de una dieta, ya que el organismo por sí mismo no es capaz de sintetizar 11 de las 14 vitaminas caracterizadas hasta hoy día; en cambio las plantas son organismos que son capaces de sintetizar todas las vitaminas que necesitan.

Las 3 vitaminas que el ser humano puede sintetizar por sí mismo son la vitamina D en la piel con ayuda de la energía solar y las vitaminas K y B, que son el producto de la acción de algunas bacterias presentes en el intestino. Todas las demás vitaminas se tienen que incluir a través de la dieta.

Las vitaminas se clasifican según su solubilidad en hidrosolubles (solubles en agua) y liposolubles (solubles en grasas). Esta característica afecta la manera en que se absorben, transportan, almacenan y excretan en nuestro cuerpo. En caso de exceso, las vitaminas hidrosolubles se eliminan a través de la orina; en cambio, las liposolubles pueden causar intoxicación, inhibiendo la acción de otras vitaminas.

Vitamina A

Esta vitamina está involucrada en los siguientes puntos:

- Es esencial para la salud de la piel y las mucosas. Está involucrada en procesos de resistencia a infecciones cutáneas, así que promueve la elasticidad y cicatrización de la piel.
- Es necesaria para la reproducción, el desarrollo y la defensa del organismo. Promueve el crecimiento normal.
- Es importante para mantener la salud visual y la calidad y el fortalecimiento de la visión.
- Puede provocar: ceguera nocturna, piel seca, inflamaciones e infecciones del aparato digestivo y urinario en caso haber deficiencia de ella (Schauff, 2005).

Suministro de vitamina A

En África, el consumo de vitamina A varía mucho dependiendo de las características geográficas y la estación del año según informes disponibles a niveles familiar e individual. Casi todos los países situados en la zona forestal de África occidental obtienen la mayor parte de su suministro de vitamina A de aceites vegetales. En Senegal, por ejemplo, un estudio demostró que la ingesta diaria oscilaba entre 300 μg de ER (retinol) por persona en dos aldeas del norte y más de 2000 μg de ER (retinol) en la zona húmeda del sur, donde el aceite de palma rojo es un elemento común de la dieta.

	Retinol ¹		Equivalentes de beta-caroteno ²		Equivalentes de retinol (ER)			
	1964-66	1979-81	1964-66	1979-81	1964-66	1979-81	1964-66	1979-81
	a ³	a	av	av	av	av	v	v
Mundo	217	226	2 994	3 354	717	785	482	541
Africa	157	161	4 452	4 402	899	895	734	725
América del Norte y América Central	480	445	2 506	2 848	898	920	377	437
América del Sur	265	281	1 786	1 907	562	599	297	298
Asia	76	95	2 995	3 433	575	667	493	564
Europa	538	616	3 087	3 485	1 053	1 197	471	531
Oceanía	682	574	3 045	3 025	1 189	1 078	454	462

Figura 4. Vitamina A preformada. El beta-caroteno y los carotenoides de provitamina A están expresados como equivalentes de beta-caroteno. Para hacer la conversión de equivalentes de retinol, estas cifras deben ser divididas entre 6. a: fuentes de origen animal; av: fuentes de origen animal y vegetal; v: fuentes de origen vegetal (FAO, 1984)

Para la mayoría de los países asiáticos, en donde predominan las dietas basadas en arroz, el suministro de vitamina A preformada es insignificante (excepto donde se consumen huevos). La vitamina A se obtiene casi exclusivamente en forma de carotenoides que proceden de frutas y hortalizas. En casi todos los casos, el consumo por persona (media de la población) oscila entre 300 y 500 μg de ER al día. La ingesta en el caso de los niños suele ser menor. Por ejemplo, se tienen informes sobre diversos grupos de niños de la India que consumen ingestas medias de 150 a 300 μg de ER por niño al día (Food & Agriculture Organization, 1991) (García-González, 2004).

Según el Anuario de Producción de la FAO (2001), los productos de origen animal constituyen 56% del suministro total de vitamina A en los Estados Unidos de América, 65% en Nueva Zelanda, 70% en Irlanda y 75% en Dinamarca.

Las necesidades de vitamina A pueden ser consideradas como aquellas cantidades que permiten la existencia de ciertos estados definitivos de nutrición. La eficiencia de vitamina A preformada que se encuentra en los alimentos es igual o superior a 90% y la necesidad en la dieta es 10% mayor que la necesidad de vitamina A absorbida.

La necesidad basal de un individuo se define como la ingesta mínima diaria de vitamina A, expresada como μg de retinol, para prevenir la aparición de signos clínicos de deficiencia de vitamina A (ceguera nocturna y lesiones epiteliales de la conjuntiva y la córnea del ojo) y para permitir un crecimiento normal. Las concentraciones hepáticas de vitamina A inferiores a $10 \mu\text{g}$ por gramo de peso en húmedo si se expresan como retinol muestran una deficiencia evidente. En algunos individuos (tanto niños como adultos), las concentraciones plasmáticas de retinol inferiores a $20 \mu\text{g}$ por dl también pueden estar asociadas con una nutrición deficiente de vitamina A.

La necesidad normativa para el mantenimiento de reservas para un individuo se define como el promedio de una ingesta continuada de vitamina A que permite un crecimiento adecuado y otras funciones que dependen de ella, manteniendo una reserva corporal total aceptable de la vitamina. Esta reserva ayuda cuando la ingesta

Grupo	Edad (años)			Necesidad basal (incluye la variabilidad)	Necesidad normativa para el mantenimiento de reservas	Nivel de seguridad de la ingesta
Niños lactantes	0	-	0,25	40		78
	0,25	-	0,5	26		50
	0,5	-	1	20		39
Niños	1	-	6	13		26
	6	-	10	10		16
	10	-	12	8,3		14
	12	-	15	7,8		12
	15	-	18	6,1		9,3
Adultos	18+		4,8	6,7	9,3	

es baja o la necesidad aumenta como consecuencia de infecciones o algunas situaciones de tensión.

Historia

El arroz dorado (golden rice), auspiciado por la Fundación Rockefeller y la UE y desarrollado por Ingo Potrykus y Peter Beyer, es el primer organismo modificado genéticamente destinado al aumento de los aportes de vitamina A en las poblaciones que más lo necesitan. Salim Al-Babili,, catedrático de la Universidad de Friburgo y miembro del equipo de Peter Beyer, ha tenido un papel muy destacado en el desarrollo de esta variedad de arroz modificado.(FAO., 1991).

En 1990, el programa de Biotecnología de la Fundación Rockefeller organiza una sesión en forma de lluvia de ideas para aplicar los avances de la Biotecnología en el mejoramiento de la alimentación de los países en desarrollo.

En aquella reunión se conocieron los dos padres del arroz dorado, Potrykus y Beyer, y surgió la voluntad de iniciar este proyecto. Aunque representaba un reto científico, ya que por primera vez se pretendía introducir una ruta metabólica completa en una planta (es decir, varias proteínas que actúan consecutivamente para transformar un sustrato en el producto final útil), los beneficios potenciales eran tan importantes que se decidió intentarlo.

En 1998, tras varios años de experimentos infructuosos, se consigue incluir beta-caroteno en el endospermo, la parte del embrión que nutre la planta, de cada grano de arroz.

«El arroz dorado no ha sido desarrollado por ni para la industria privada». La parte final de este desarrollo no, pero la inicial sí. Para el desarrollo de este tipo de arroz se han gastado hasta 100 millones de dólares con fondos de la Fundación Rockefeller, el Instituto Federal de Tecnología de Suiza, el Programa de Biotecnología de la Unión Europea y de la Oficina Federal para la Educación y la Ciencia de Suiza (Wormworth,

2000). Detrás de esta última etapa que llevó a la creación del arroz dorado hay 70 patentes pertenecientes a 32 compañías privadas y universidades (Potrykus, 2001) que obviamente desean recuperar sus inversiones en algún momento así como obtener ganancias. Sobre el tema de las patentes en este campo, Otero (1991) nos hace ver que la creciente privatización del conocimiento, junto con la también creciente concentración de la industria biotecnológica, vaticina grandes dificultades para que su progreso técnico sea aplicado a bajo costo en los países pobres. Todo parece indicar que los patrones de difusión de la biotecnología aumentarán vigorosamente la presencia de las empresas transnacionales en estos países, lo cual llevará a niveles más profundos de dependencia. De igual manera, en los trabajos de Riechmann (2000d) y Heineke (2002) varios autores presentan estos y otros aspectos ligados a la temática de las patentes y los organismos transgénicos.

Actualmente

Para cumplir con el objetivo del arroz dorado, este tiene que llegar a los agricultores de autoconsumo sin costos ni restricciones. El coinventor Ingo Potrykus ha elaborado una estrategia para llevar el arroz dorado a los agricultores pobres. En marzo de 2001, el arroz dorado eran líneas de laboratorio en donde se producía provitamina A y cuyas características debían ser transferidas a variedades con adaptación local en países en donde se cultiva arroz (Blanco, 2012). Así se estableció un Consejo Humanitario del Arroz Dorado para determinar cuáles instituciones recibirían esta variedad y asegurar que se cumplieran todas las disposiciones concernientes al manejo y uso de organismos genéticamente modificados. Actualmente, el Consejo Humanitario tiene dos instituciones colaboradoras en Filipinas, cuatro en India, dos en China, una en Vietnam, una en Indonesia y una en África. En julio de 2002, el Consejo también había entablado conversaciones con dos instituciones de América Latina, que serían responsables de evaluar la necesidad del arroz dorado, analizar y comparar las ventajas y desventajas de otras medidas y establecer un marco para aplicar el arroz

dorado más adecuado a las necesidades de las zonas que atienden las instituciones (Blanco, 2012).

Las instituciones son responsables de las evaluaciones de biodisponibilidad, equivalencia sustancial (características de un alimento transgénico con el homólogo), toxicología y alergenidad.

Actualmente, 90% del arroz dorado se cultiva en países del sureste asiático (Bueno Torrens, 2011).

“Sin embargo todavía ninguna de estas variedades está disponible para consumo humano en latinoamérica. Esto es debido a que grupos ecologistas (siendo *Greenpeace* el más famoso) se opusieron desde el principio, alegando que los transgénicos no han sido suficientemente probados para el consumo humano.

Por otro lado, también arguyen en este caso de que la agricultura quedaría en manos de multinacionales como Monsanto (que actualmente posee el monopolio de algunos transgénicos), y que esto ocasionaría la ruina de los agricultores locales.

Aun así, en 2013 unos activistas de *Greenpeace* destruyeron un campo experimental en las Filipinas en el verano, echando por la borda algunas esperanzas de estudios sobre el arroz.

Además, desde que los científicos Beyer y Potrykus aseguraron que no tenían interés en comercializar el arroz transgénico, el arroz dorado pertenece al *Instituto Internacional de Investigación del Arroz*, por lo que los propios productores podrían cultivarlos sin tener que adquirir ningún tipo de licencia”.

<http://omicrono.elespanol.com/2014/07/la-controversia-del-arroz-dorado/>

La controversia continúa y en junio del 2016, 107 Premios Nobel firmaron una carta para solicitarle a *Greenpeace* dejara de bloquear la producción de este importante alimento.

En las palabras del Dr. Patrick Moore cofundador de *Greenpeace* el cual indica que esta organización está equivocada y dice: “Dos millones de niños al año se están muriendo, y cada año que se retrasa la utilización de arroz dorado, otros dos millones de niños morirán. La sangre de ellos está en manos de las personas que han hecho

imposible hacer una excepción para el arroz dorado”.

<http://www.independent.co.uk/news/science/former-greenpeace-leading-light-condemns-them-for-opposing-gm-golden-rice-crop-that-could-save-two-9097170.html>

Sin duda mayor investigación es necesaria para garantizar la seguridad de este alimento, para poder así acallar las voces que se oponen a tan importante descubrimiento.

Bibliografía

Altieri, M. A. (2003). Dimensiones Éticas de la Crítica. *La Biotecnología responde: El Arroz*, (pp. 51-52).

Baena, Dolores. La medición de la investigación científica y el desarrollo tecnológico (I+D): principales indicadores. *Revista Scripta Nova*, Universidad de Barcelona, No. 69 (34), 1 de agosto de 2000.

Blanco, C. A. (2012). Cultivos transgénicos para la agricultura latinoamericana. Carlos A. Blanco. Google Books. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?id=5haSdSl0i-YC&dq=actualmente+arroz+dorado&source=gbp_navlinks_s

Bolufé, P. (2010). El arroz dorado, el mejor transgénico. Madrid: Madrid.

Bueno Torrens, D. (1965, 2011). ¿Para qué sirven los transgénicos? Todas las claves de una tecnología útil y controvertida. Universitat de Barcelona, Publicacions i Edicions.

Carlos Barros, García-González, J. E. (2004). El arroz dorado: ¿Un ARROZ DORADO? (n.d.).

- FAO. (1991). Necesidades de vitamina A, hierro, folato y vitamina B12. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Paine, J. A. (2005). Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. *Nature Biotechnology*, 482-487.
- Schauff, P. (2005). Vitaminas: La orquesta del cuerpo. México: Nestle Professional.
- Stein, A. J. (2006). Potential impact and cost-effectiveness of Golden Rice. *Nature Biotechnology*, 1200-1201.
- Ye, Xudong Al-Babili, S. (2000). Engineering the Provitamin A (Beta-Carotene) Biosynthetic Pathway into (Carotenoid-Free) Rice E. *Science*, 287 (5451), 303. <https://doi.org/10.1126/science.287.5451.303> debate emocional? foro latinoamericano, 66.
- Ye, X. (2000). Golden Rice: Introducing the β -Carotene Biosynthesis Pathway into Rice Endosperm by Genetic Engineering to Defeat Vitamin A Deficiency. *Science*, 303-305.