

SOYA TRANSGÉNICA: PELIGROS POTENCIALES Y REALIDADES.

TRANSGENIC SOYBEAN: POTENTIAL DANGERS AND REALITIES.

Carlos Gustavo Aguilar-Cabrera y María Ixel Hernández-Hernández
Licenciatura en Biotecnología
Facultad de Cs. Biológicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
carlos.aguilarca@alumno.buap.mx
maria.hernandezhernandehern@alumno.buap.mx

Resumen.

El uso de Organismos Genéticamente Modificados (OGM) se ha incrementado desde 1997 con el propósito de reducir los costos en el uso de herbicidas sin tomar en cuenta los riesgos que su manejo implica como el equilibrio en los ecosistemas y modificación de las comunidades en la rizosfera. Estados Unidos es el país número 1 en la producción de soya genéticamente modificada y se ha estudiado su tolerancia a herbicidas a la par del impacto que provocan sus cultivos, con esto, se han logrado identificar riesgos potenciales como la transferencia horizontal de genes y la reducción en la fertilidad del suelo. El cultivo de soya representa un porcentaje importante en el campo agrícola y es por lo mismo que se requieren de estudios exhaustivos para asegurar que su consumo sea seguro.

Palabras clave: Soya, Organismo Genéticamente Modificado, Glifosato, Resistencia a herbicidas, Impacto ambiental, Flujo Génico, Rizosfera.

Abstract.

The use of Genetically Modified Organisms (GMOs) has increased since 1997 intending to reduce costs in the use of herbicides without taking into account the risks that their management implies, such as balancing ecosystems and modifying communities in the rhizosphere. The United States is the number 1 country in the production of genetically modified soybeans and its tolerance to herbicides has been studied along with the impact caused by their crops. With this, it has been possible to identify potential risks such as horizontal gene transfer and reduction in soil fertility. Soybean cultivation represents an important percentage in the agricultural field, and it is for this reason that exhaustive studies are required to ensure that its consumption is safe.

Keywords: Soybean, Genetically Modified Organism, Glyphosate, Herbicide resistance, Environmental impact, Gene Flow, Rhizosphere.

Introducción.

Las ventajas y desventajas que tiene la biotecnología agrícola, en especial la innovación con los OGM, se han incrementado a la par de su desarrollo, a pesar del amplio debate que abre entre la comunidad científica, especialistas en el ámbito social, el sector agrícola, industria consumidores e incluso en las redes sociales.

El aporte de la Biotecnología e Ingeniería Genética Aplicada a la modificación de organismos vegetales que toleran herbicidas ha contribuido a una mayor eficiencia en la producción agrícola regional. La tolerancia a herbicidas genera la reducción de costos e insumos asociados a la adopción de tecnologías conservacionistas de producción. Sin embargo, el uso desmedido de herbicidas produce efectos en el equilibrio de los ecosistemas, teniendo casos como el desplazamiento de la flora de malas hierbas, flujo genético de OGM, modificación de comunidades de la rizosfera (Dunfield, 2004).

Las investigaciones actuales buscan desarrollar OGM capaces de resistir los efectos del cambio climático. Sin embargo, aún falta mucha investigación sobre su bioseguridad. Actualmente, no existen datos sobre efectos nocivos para la salud humana, por lo que el

estudio de efectos nocivos se puede ver dirigido hacia el equilibrio de ecosistemas o modificación de las comunidades de la rizosfera.

La soya transgénica es un ejemplo de OGM. Hace más de 15 años, se introdujeron en el mercado las primeras soyas resistentes a los herbicidas. Para 1997, aproximadamente el 8% de todas las semillas de soya cultivadas para uso comercial en los Estados Unidos fueron modificadas genéticamente. Esta tendencia ha crecido exponencialmente y en 2011 el porcentaje de soya genéticamente modificada aumentó al 94% en los Estados Unidos y al 81% en todo el mundo (Hudson, 2013).

Soya GTS 40-3-2

El cultivo genéticamente modificado (GM) más cultivado a nivel mundial es la soya transgénica (*Glycine max L.*), representando el 50% del área total de plantación de cultivos transgénicos (179.7 millones de hectáreas) y el 83% de la producción total de soya (James, 2015).

Actualmente, hay 33 tipos de soya transgénica que presenta uno o más rasgos, que incluyen tolerancia a diferentes herbicidas (glifosato, dicamba, glufosinato, isoxaflutol, 2,4-D, mesotriona y sulfonilurea), resistencia a antibióticos, resistencia a insectos lepidópteros, incremento en el rendimiento, ácido graso e introducción de marcadores visuales (ISAAA, 2016), resistencia a virus como el del mosaico de la soya (figura 1) (Luan, 2020).

De los eventos en proceso de aprobación para soya GM existentes, doce ya han sido aprobados para alimentos y piensos, importación / procesamiento o cultivo dentro de la Unión Europea (UE) (GMO Compass, 2016). La soya GTS 40-3-2, autorizada en la UE desde 1996, es uno de los cultivos transgénicos más representativos, desarrollado por Monsanto y conocido comercialmente como soya Roundup Ready (RR). Fue especialmente desarrollado para expresar la proteína CP4 EPSPS, que confiere tolerancia al glifosato, el ingrediente activo del herbicida RR. La variedad de soya MON89788 se desarrolló para expresar la misma proteína y tolerar el mismo herbicida bajo el nombre comercial de Genuity, Roundup Ready 2 Yield y fue autorizada en la UE desde 2008. Esta variedad es la segunda generación de soya transgénica desarrollada por Monsanto, expresa la proteína 5-enolpiruvilshikimato-3- fosfato sintetasa (EPSPS) y

su objetivo también es la resistencia a herbicidas, buscando una comercialización similar a la variedad GTS (GMO Compass, 2016; ISAAA, 2019).

Semillas de soya de plantas inoculadas con el *virus del mosaico de la soya* (SMV)

No-transformadas

Transgénicas



Figura 1. Comparación en semillas transgénicas inoculadas con el virus del mosaico de la soya. Tomada y modificada de Luan, 2020.

El uso actual y creciente de los cultivos biotecnológicos ha obligado a muchos países a desarrollar una legislación particular para su cultivo y comercio basada en el principio de precaución. La Unión Europea ha prestado especial atención a la información del consumidor sobre los organismos genéticamente modificados, ~~que~~ requiriendo el etiquetado obligatorio de todos los productos alimenticios que son producidos o contienen OGM por encima del 0,9% (Reglamento (CE) no 1829/2003). Por lo tanto, metodologías analíticas son requeridas para la determinación exacta de los OGM y verificar, así, la implementación de la legislación.

Actualmente, los métodos moleculares basados en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) son los más aceptados para la detección e identificación de OGM, siendo la PCR en tiempo real la técnica elegida para la identificación de OGM (Placido et al., 2016).

Impacto en los cultivos

El aumento en el rendimiento de los cultivos se ha logrado a través de una variedad de métodos que involucran el mejoramiento tradicional y la biotecnología moderna. La introducción de cultivos transgénicos en 1996 ayudó a mejorar el rendimiento de grano al proteger las plantas de insectos, patógenos y enfermedades que a menudo resultan en una presión de rendimiento si no se tratan. Así mismo, este tipo de cultivos pretende que la resistencia a herbicidas disminuya la competencia contra otras plantas, permitiendo una mejora en su desarrollo y disponibilidad de nutrientes (Hudson, 2013).

En estudios realizados por Serra et. Al (2011), se logró identificar que con el aumento en el uso de soya GTS 40-3-2, ha aumentado a la par el uso de glifosato, el cual es aplicado de tres a cuatro veces por ciclo de siembra de soya. Además, se ha demostrado en estudios realizados en Brasil que independientemente del tipo de suelo, factores como la altura de la planta y producción de clorofila A y B se reducen en plantas que reciben tasas más altas de glifosato versus las que no, demostrando así que los cultivos de soya GM pueden presentar síntomas de fitointoxicación (Casonatto, 2014).

A pesar de ello también se encuentran diversos estudios que mostraron no tener una gran diferencia respecto al control. Posiblemente se requiera de estudios que cuenten con mejor control de variables para obtener una relación entre la producción de biomasa del control y la variedad GTS 40-3-2 (Lourdes Torres, 2013).

Regiones productoras y situación en México

El cultivo de la variedad GTS 40-3-2, se ha aprobado diferentes países (tabla 1). Estados Unidos, Brasil y Argentina son los tres principales países productores de soya en el mundo donde se cosecha más del 50% de la soya (ISAAA, 2019).

Tabla 1. Año de aprobación de uso de soya GTS 40-3-2 (ISAAA, 2019)

País	Año de aprobación	País	Año de aprobación
Argentina	1996	Nueva Zelanda	2000
Australia	2000	Paraguay	2004
Bolivia	2005	Filipinas	2003
Brasil	1998	Federación Rusa	2007
Canadá	1996	Singapur	2014
China	2002	Corea del Sur	2002
Colombia	2005	Suiza	1996
Unión Europea	2005	Taiwán	2002
Indonesia	2011	Estados Unidos	1995
Japón	2001	Uruguay	1996
Malasia	2010	Vietnam	2015

Referencia: quien la elaboro?? CREDITOS?

En México, se ha realizado el cultivo de transgénicos desde 1995, en plantaciones experimentales en los municipios de Bahía de Banderas, Nayarit y el Municipio de Puerto Vallarta con autorización de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA). Los resultados mostraron no tener ningún efecto negativo, por lo que su aprobación para uso y comercialización en territorio mexicano fue decretada el 2012. Por otro lado, el cultivo de la variedad GTS 40-3-2 ha sido aprobado por las instancias gubernamentales, particularmente la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO) quienes han realizado análisis de riesgo para la liberación en etapa comercial durante el ciclo agrícola PV-2012; es decir, la liberación al ambiente soya tolerante al herbicida glifosato en la península de Yucatán, la planicie huasteca y el estado de Chiapas (CONABIO, 2012). La CONABIO ha mostrado su preocupación por su uso en regiones de la península de Yucatán, que se caracteriza por una alta permeabilidad, por lo que una utilización intensiva de los herbicidas podría conllevar efectos adversos para los mantos acuíferos, que son una fuente de agua para uso humano. Desde el año 2005 hasta 2014 se les ha dado autorización a las empresas Monsanto, Phi-Pionner y Bayer, el cultivo de soya transgénica en los estados de Campeche, Chiapas, Jalisco, Nayarit, San Luis Potosí, Quintana Roo, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (figura 2). Para el año 2014 se habían destinado 442, 212.2 hectáreas para su siembra, lo que representa un aumento considerable (Sandoval, 2017).



Figura 2. Sitios de liberación solicitados para el cultivo de soja transgénica. Tomado y modificado de Sandoval, 2017

Especies amenazadas

La variedad de soja GTS 40-3-2 fue desarrollada para la resistencia al uso del herbicida glifosato como una opción de manejo de malezas que compiten por nutrientes, provocando disminución en el rendimiento y producción de biomasa (Zhu *et al.*, 2016).

Esta línea de soja modificada genéticamente contiene un tipo de enzima de las plantas, la 5-enolpiruvilshikimato-3- fosfato sintetasa (EPSPS), que le permite sobrevivir a la aplicación de glifosato. La enzima EPSPS se encuentra en plantas, bacterias y hongos. No está presente en animales, los cuales no sintetizan sus propios aminoácidos aromáticos (tirosina, fenilalanina y triptofano). Por este motivo el glifosato no es tóxico para animales superiores (Grazina, 2017).

Según la ficha técnica y de Bioseguridad de las semillas de soja GTS 40-3-2 no se encontraron efectos en organismos no objetivo (es decir, animales superiores) que puedan consumir semillas o biomasa. No hubo aumento de peso corporal o cambio en la conducta en el organismo modelo; codorniz Bobwhite (Monsanto, 2001).

El desarrollo de las ciencias ómicas ha permitido estudiar la modificación de comunidades microbianas de la rizosfera debido al cultivo de la variedad GT 40-3-2. Aunque reportes indican que no hay evidencia de un cambio significativo, no se descarta que pueda existir cambios en el comportamiento de estas comunidades (Liang *et al.*, 2018). Gracias a Aranga *et al* (2014) se sabe que la aplicación de glifosato foliar se transporta hacia las raíces y se exuda a la rizosfera, disminuyendo algunos géneros bacterianos, como *Burkholderia*. Algunas especies de *Burkholderia* están involucrados en la fijación de N₂, así como biorremediación, promoción del crecimiento de las plantas o el control biológico (Caballero-Mellado *et al.*, 2007). La disminución de las poblaciones bacterianas que están relacionadas en desarrollo de las plantas podría tener efectos negativos en la estabilidad y equilibrio de los consorcios bacterianos de la rizosfera.

Flujo genético

El flujo genético consiste en una transferencia de genes (figura 3), generalmente a través del polen, de especies cultivadas a sus parientes silvestres (y viceversa). Esto puede suceder con plantas convencionales o genéticamente modificada (Oviedo-Bolaños *et al.*, 2020).

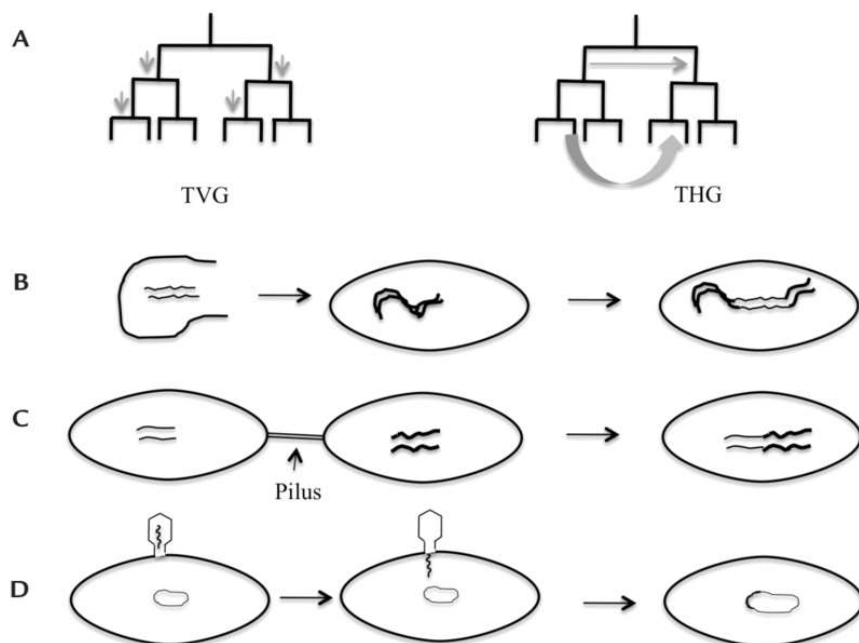


Figura 3. A. Transferencia vertical de genes (TVG) vs transferencia horizontal de genes (THG). Mecanismos de transmisión de la información: B. Transformación, C. Conjugación. D. Transducción. Tomado de Jan, 2011.

El flujo de genes por parte de los cultivos GM es posible a través del polen de variedades de polinización abierta, el cual se cruzan con cultivos locales o parientes silvestres. Debido a que el flujo de genes se ha producido durante milenios entre las razas terrestres y los cultivos criados convencionalmente, es razonable esperar que también pueda ocurrir con los cultivos transgénicos (Arnaud y Viard, 2003; Oviedo-Bolaños et al., 2020).

Peligros potenciales y realidades

Desde que surgió el primer OGM, se ha estudiado su bioseguridad e implicaciones ambientales. Durante años se han realizado investigaciones, algunas con argumentos bien fundamentados, y otras con poca credibilidad sobre las experimentaciones que acreditan los efectos nocivos a la salud. Como ejemplo se menciona una supuesta investigación que vinculaba la ingesta de Maíz bt (resistente a gusano barrenador) al desarrollo de tumoraciones, los resultados fueron desacreditados por la metodología y controles utilizados, además de no realizar réplicas experimentales, por lo que el artículo fue declinado. Aun así, los efectos sobre la salud no han sido descartados, así como los efectos a largo y mediano plazo no se han estudiado lo suficiente (Domingo y Bordseonaba, 2011).

Para el año del 2007 los cultivos de transgénicos se extendieron en 114,3 millones de hectáreas en 23 países. Estados Unidos es el mayor productor de alimentos transgénicos a nivel mundial, ya que en este país es totalmente legal la producción y la utilización de terrenos para cultivos de transgénicos. Las consecuencias de que algunos sectores productores de semillas GM acaparen totalmente un mercado es que la aplicación de sus productos como herbicidas y plaguicidas pueden ocasionar daños a los ecosistemas y modificar las comunidades microbianas del suelo (Barcéna, 2004).

El uso de la soya a nivel mundial se incrementa debido al aumento en su demanda, vinculado a una mayor población humana año tras año. El aumento de cultivos destinados a la siembra de soya implica el uso desmedido de plaguicidas y herbicidas, los cuales tienen efectos ecológicos y erosionan al capital natural al provocar pérdidas permanentes en ecosistemas importantes. El uso desmedido de plaguicidas y herbicidas no proporciona beneficios económicos a la sociedad en general a largo plazo. Sin embargo, la aplicación de soyas transgénicas, como la variedad GTS 4-3-2, seguirá en

aumento teniendo en cuenta la forma con la que interactúa con el suelo destinado para producir más soya debido al aumento en la demanda (Boerema *et al.*, 2016).

Los resultados de un estudio en Suecia sobre el uso de soya GM y no GM, revelan que no hay ganancias ambientales significativas al importar soya no GM sobre soya GM. Sembrar ambos tipos de soya resulta perjudicial en cierto grado. Por una parte, el potencial de calentamiento global y la ecotoxicidad del agua dulce son muy altos debido a las importaciones de soya no GM. Por otra parte, las importaciones de soya GM tienen un efecto mayor en los usos de la tierra y la eutrofización terrestre, debido al aumento de áreas de cultivo destinadas gracias al alta demanda de GM de bajo costo (Eriksson, 2018).

El cultivo de soya parece no tener efectos negativos, sin embargo, el cultivo de alta densidad se ha relacionado con la disminución de la población de algunas especies de escarabajos. Estas especies tienen un efecto positivo al actuar como control biológico contra plagas que se alimenta de la soya, por lo que una disminución exacerbada de su población hace más susceptible a las plantas ser ingeridas por otros organismos, afectando el rendimiento de la cosecha. Si el cultivo de soya GTS 4-3-2 no se controla y su cultivo se realiza de forma intensiva, también podría provocar la disminución en la población de algunos escarabajos y causar daño en los nichos ecológicos. Además, si el cultivo de soya se realiza de forma intensiva, aumentaría el uso de herbicidas y de plaguicidas que pueden ocasionar daños a la salud humana y de otros organismos (Cierpisz *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2017).

Sin embargo, algunas investigaciones han realizado extensos análisis de los efectos de los cultivos de soya en poblaciones de artrópodos. Los resultados llegan a la conclusión de que la variedad transgénica de la soya que produce toxinas Cry1Ac no afecta negativamente a la comunidad de artrópodos asociada con la soya (Marques *et al.*, 2018), respaldando el uso y cultivo de la soya GM. Sin embargo, aún se requiere de más estudios que puedan avalar o rectificar los efectos en organismos no objetivo por parte del cultivo de plantas GM.

Otra de las preocupaciones del uso de OGM, como la soya GTS 4-3-2, es la transferencia horizontal de genes y resistencia a antibióticos. El uso de genes de selección, para la

transformación de OGM, confiere a las células transformadas la capacidad de sobrevivir en un medio de selección el cual contiene algún tipo de antibiótico, por ejemplo, *nptII* que permite la resistencia a kanamicina. Existe la posibilidad que estos genes de resistencia se transfieran a bacterias, desarrollando resistencia provista por el gen. Por ello, el uso de Ampicilina como medio de selección, ha sido menos usado año tras año, para reducir la probabilidad de desarrollo de cepas bacterianas resistentes a este compuesto que pertenece a la tercera generación de antibióticos. Aunque la probabilidad de cruzamiento horizontal entre bacterias y humanos es poco probable, existe la posibilidad de que las plantas transformadas expresen el gen de resistencia a antibióticos. Si los humanos consumen las plantas transformadas, parte de esas enzimas podrían ingerirse e inactivar o disminuir la eficiencia de antibióticos en dado caso que la persona los esté ingiriendo (Acosta, 2002).

La soya GTS 4-3-2 tiene la característica de resistencia a herbicidas. Otro de los problemas que ha preocupado, no solo en el cultivo de soya transgénica, sino de otras variedades vegetales modificadas genéticamente, es el efecto hacia otras especies que no son plagas. Estas especies tienen funciones específicas en el equilibrio de ecosistemas o permiten la recolección el polen. Además, en algunas plantas transgénicas, como Maíz bt, se han reportado casos de disminución en la población de abejas y mariposas (Tamariz, 2013).

Existe la posibilidad de cruzamiento con otras plantas, lo que podría desarrollar hibridación y posible desaparición de las especies endémicas y nativas de las regiones (Acosta, 2002).

El uso de suelo para el cultivo de soya transgénica (y otros OGM) desplaza la identidad y costumbres de culturas y pueblos indígenas con años de prácticas agrícolas, debido a la mayor rentabilidad que tiene frente a otras plantas de interés económico. El desarrollo agrícola conlleva aspectos negativos para el mantenimiento de costumbres en la siembra de ciertos cultivos. Provoca repercusiones en los terrenos gracias a la aplicación de herbicidas, los cuales reducen la fertilidad del suelo para otros cultivos que no tienen resistencia hacia esos herbicidas (Mereles, 2011).

Conclusión

El cultivo de soya transgénica, particularmente la variedad GTS 4-3-2 a nivel mundial ha tenido grandes ventajas, pero, al mismo tiempo, una serie de discusiones sobre la bioseguridad. Lo que se busca es el aumento del rendimiento en la cosecha, lo que produce una mayor venta y mejores retribuciones económicas a los productores. Sin embargo, el uso de herbicidas produce consecuencias a nivel toxicológico y ecológico. La siembra de estas variedades no se ha relacionado directamente con efectos adversos a la salud humana, pero el manejo de las plantaciones sí, por ejemplo, en el uso desmedido de fertilizantes, herbicidas, plaguicidas. Debido al efecto a la salud humana por estas acciones, muchos organismos de bioseguridad a nivel mundial tienen normas especiales sobre el manejo y cultivo en áreas específicas.

Numerosas investigaciones se han enfocado y han cambiado sus perspectivas sobre el análisis de variedades de OGM y gracias a ello se ha podido establecer leyes que las regulen y permitan su aprovechamiento como una buena alternativa biotecnológica

De igual forma el avance tecnológico, así como mejores herramientas, y el avance en las ciencias ómicas, permitirán resultados más sólidos de la dinámica de los OGM en contexto ecológico.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Enrique González Vergara por la lectura crítica del manuscrito, a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y a nuestros padres por su apoyo en el desempeño de nuestra vida académica.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Referencias

Acosta, O. (2002). Riesgos y preocupaciones sobre los alimentos transgénicos y la salud humana. *Revista colombiana de Biotecnología*, 4 (2), 5-16.

Agostini, M. G., Roesler, I., Bonetto, C., Ronco, A. E., & Bilenca, D. (2020). Pesticides in the real world: The consequences of GMO-based intensive agriculture on nature amphibians. *Biological Conservation*, 241.

Arango, L., Buddrus-Schiemann, K., Opelt, K., Lueders, T., Haesler, F., Schmid, M., & Hartmann, A. (2014). Effects of glyphosate on the bacterial community associated with roots of transgenic Roundup Ready® soybean. *European journal of soil biology*, 63, 41-48.

Bárcena, A., Katz, J., Morales, C., & Schaper, M. (2004). Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto. *Santiago, Chile: Naciones Unidas*, 33-69.

Boerema, A., Peeters, A., Swolfs, S., Vandevenne, F., Jacobs, S., Staes, J., & Meire, P. (2016). Soybean trade: balancing environmental and socio-economic impacts of an intercontinental market. *PloS one*, 11 (5).

Bolívar Zapata, F. G. (2018). Transgénicos: grandes beneficios, ausencia de daños y mitos. *Comité de Biotecnología: Academia Mexicana de ciencias*.

Caballero-Mellado, J., Onofre-Lemus, J., Estrada-De Los Santos, P., & Martínez-Aguilar, L. (2007). The tomato rhizosphere, an environment rich in nitrogen-fixing Burkholderia species with capabilities of interest for agriculture and bioremediation. *Appl. Environ. Microbiol.*, 73(16), 5308-5319.

Casonatto, M., Arantes, S., Rieger, E., & Andrade, E. (2014). How glyphosate may affect transgenic soybean in different soil and phosphorus levels. *Planta Daninha*, 843-850.

Cierpisz, M., Twardoski, J., Gruss, I., & Kozak, M. (2019). Different soybean plant arrangements affect ground beetle assemblages. *Journal of Plant Protection Research*, 441-450.

Compass, G. (2016). *GMO database*. Obtenido de <http://www.gmo-compass.org/eng/gmo/db/>

Conabio. (2012). Análisis de riesgo Sol 007/2012. *Ciudad de México: Dirección Técnica de Análisis y Prioridades, Coordinación de Análisis de Riesgo y Bioseguridad, Conabio*.

Domingo, J. L., & Bordonaba, J. G. (2011). A literature review on the safety assessment of genetically modified plants. *Environment International*, 37 (4), 734-742.

Dunfield, K. E., & Germida, J. J. (2004). Impact of genetically modified crops on soil and plant-associated microbial communities. *Journal of environmental quality*, 33(3), 806-815.

Eriksson, M., Ghosh, R., Hansson, E., Basnet, S., & Lagerkvist, C. J. (2018). Environmental consequences of introducing genetically modified soy feed in Sweden. *Journal of Cleaner Production*, 176, 46-53.

Fernandes, T. R., Costa, J., Placido, A., Villa, C., Grazina, L., Meira, L., & et. al. (2016). GMO analysis as affected by DNA degradation. In R. R. Watson, & V. R. Preedy (Eds.). *Genetically modified organisms in foods*, 111-118.

García, L. &. (2011). Genes y Evolución el delgado hilo que nos conecta por miles de millones de años. *Acta Colombiana*, 16, 71-87.

Grazina, L., Plácido, A., Costa, J., Fernandes, T. J., Oliveira, M. B., & Mafra, I. (2017). Tracing two Roundup Ready™ soybean lines (GTS 40-3-2 and MON89788) in foods commercialised in Portugal. *Food Control*, 73, 1053-1060.

Hudson, L. C., Lambirth, K. C., Bost, K. L., & Piller, K. J. (2013). Advancements in transgenic soy: from field to bedside. A comprehensive survey of international soybean research-genetics, physiology, agronomy and nitrogen relationships. *InTech*, 447-474.

International Service for the Acquisition of Agro-Biotech Applications ISAAA. (2019). Obtenido de <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/event/default.asp?EventID=174>

James, C. (2015). 20th Anniversary of the global commercialization of biotech crops (1996 to 2015) and biotech crop highlights in 2015. *ISAAA Brief*(51).

Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan , S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 525-535.

Liang , J., Jiao, Y., Luan, Y., Sun, S., Wu, C., Wu, H., & Zhang, Z. (2018). A 2-year field trial reveals no significant effects of GM high-methionine soybean on the rhizosphere bacterial communities. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34 (8), 113.

Lourdes Torres, M., Mejía, L., & Arahana, V. S. (2013). Estandarización de un protocolo para detección de OGMs: evaluación de la presencia de OGMs en granos de soya colectados en diferentes centros de acopio de Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 5 (1).

Luan, H., Liao, W., Song, Y., & al., e. (2020). Transgenic plant generated by RNAi-mediated knocking down of soybean Vma12 and soybean mosaic virus resistance evaluation. *AMB Expr*(10).

Marques , L. H., Santos , A. C., Castro, B. A., Storer, N. P., Babcock, J., Lepping, M., & Fernandes, O. A. (2018). Impact of transgenic soybean expressing Cry1Ac and Cry1F proteins on the non-target arthropod community associated with soybean in Brazil. *PLoS one*, 13 (2).

Monsanto. (2001). *Evaluación de la seguridad de la soja Roundup Ready®*, evento 40-3-2: *Evaluación de efectos en organismos no objetivo*. Obtenido de <https://www.monsantoglobal.com/global/py/productos/Documents/soja.pdf>

Oviedo-Bolaños, K., García-González, J., Solano-González, S., Martínez-Debat, C., Sancho-Blanco, C., & Umaña-Castro, R. (2020). Detección del promotor 35S mediante PCR tiempo-

real: indicador de transgenicidad en alimentos y *Gossypium* sp. *Agronomía Mesoamericana*, 209-221.

Sandoval, D. (2017). Treinta años de transgénicos en México (compendio cartográfico).

Tamariz, G. (2013). GM crops vs. Apiculture. An ecological distribution conflict in the Mayan region of Mexico. *Doctoral dissertation, Tesis Master*. Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, ICTA, Autonomous University of Barcelona.

Zhu, Q., Riley, W. J., Tang, J., & Koven, C. D. (2016). Multiple soil nutrient competition between plants, microbes, and mineral surfaces: model development, parameterization, and example applications in several tropical forests. *Biogeosciences*, 13 (1), 341-363.