









**BENEFICIOS DE LA BIOTECNOLOGÍA MODERNA EN MAÍZ AMARILLO  
DURO (*Zea mays L.*) RESISTENTE A *Spodoptera frugiperda***

**Benefits of modern biotechnology in the resistance of hard yellow maize  
(*Zea mays L.*) to *Spodoptera frugiperda***

Nila-Alexandra Reyna-Delgado<sup>1</sup> ; Agapito-Juan Linares-Salas<sup>2</sup> ; Miguel-Angel Alcántara-Santillán<sup>2</sup> ; Raquel-Margot Gómez- Oscorima<sup>2</sup> ; Ramón-Alberto Diez-Matallana<sup>2\*</sup> ; Caroly-Zully Vasquez-Quispe<sup>3</sup>; Alberto Valdez Barboza<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Investigador independiente.

<sup>2</sup> Departamento Académico de Economía y Planificación, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

<sup>3</sup> Universidad Peruana de Ciencias, Lima, Perú.

\*Email: [rdiez@lamolina.edu.pe](mailto:rdiez@lamolina.edu.pe)

Recibido: 09/06/2024; Aceptado: 21/10/2024; Publicado: 31/01/2025

**ABSTRACT**

Hard yellow maize is the most important grain worldwide, as it is a key source of food for chickens and pigs, providing essential protein for humanity. This study evaluates the benefits of releasing seeds of genetically modified hard yellow corn (MADBt), resistant to codling moth (*Spodoptera frugiperda*), in Los Ríos, Ecuador. To analyze the economic benefits to producers, partial budget models that provide the change in producer margin and the marginal cost benefit were used. To measure the improvement in social welfare, the surplus change model was used. In addition, risks associated with agricultural production were incorporated through Monte Carlo simulations using @Risk software. Information on costs, production and prices was obtained through a survey of producers in Los Ríos. It is concluded that (i) producers benefit from a Marginal Cost Benefit ratio of 1,09 and an increase in margin of US\$ 332,36 per hectare; (ii) Ecuadorian society benefits with changes in Social Surplus from the use of MADBt seed, reaching an average expected value of US\$ 862 million, distributed between producers (US\$ 571 million) and consumers (US\$ 291 million); and (iii) the Ecuadorian state also benefits, with a Net Present Value (NPV) of US\$ 321 million. It is

**Forma de citar el artículo (Formato APA):**

Reyna-Delgado, N., Linares-Salas, A., Alcántara-Santillán, M., Gómez- Oscorima, R., Diez-Matallana, R., Vasquez-Quispe, C., & Valdez, A. (2024). Beneficios de la biotecnología moderna en maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) resistente a *Spodoptera frugiperda*. *Anales Científicos*, 85(2), 74-88. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v85i2.959>.

Autor de correspondencia (\*): Ramón-Alberto Diez-Matallana. Email: [rdiez@lamolina.edu.pe](mailto:rdiez@lamolina.edu.pe)

© Los autores, Publicado por la Universidad Nacional Agraria La Molina.

This is an open access article under the CC BY.

recommended to evaluate ex-ante the seeds of other genetically modified crops.

**Keywords:** Marginal cost-benefit | Social surplus | Bt hard yellow maize | Partial budget | Internal rate of return | Net present value.

---

## RESUMEN

El maíz amarillo duro es el grano más importante a nivel mundial, por constituir una fuente clave de alimentación para pollos y cerdos, proporcionando proteínas esenciales para la humanidad. Este estudio evalúa los beneficios de liberar semillas de maíz amarillo duro genéticamente modificado (MADBt), resistente al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), en Los Ríos, Ecuador. Para analizar los beneficios económicos para los productores, se utilizaron modelos de presupuesto parcial que proporcionan el cambio en el margen del productor y el beneficio costo marginal. Para medir la mejora en el bienestar social, se empleó el modelo de cambio de excedentes. Además, se incorporaron riesgos asociados a la producción agrícola mediante simulaciones de Montecarlo con el *software @Risk*. La información sobre costos, producción y precios se obtuvo a través de una encuesta realizada a productores de Los Ríos. Se concluye que (i) los productores se benefician con un índice de Beneficio Costo Marginal de 1,09 y un incremento en el margen de US\$ 332,36 por hectárea; (ii) la sociedad ecuatoriana se beneficia con cambios en los Excedentes Sociales por el uso de la semilla MADBt, alcanzando un valor esperado medio de US\$ 862 millones, distribuidos entre productores (US\$ 571 millones) y consumidores (US\$ 291 millones); y (iii) el estado ecuatoriano también se beneficia, con un Valor Actual Neto (VAN) de US\$ 321 millones. Se recomienda evaluar ex-ante las semillas de otros cultivos genéticamente modificados.

**Palabras clave:** Beneficio costo marginal | Excedente social | maíz amarillo duro Bt | presupuesto parcial | tasa interna de retorno | valor actual neto.

---

### 1. Introducción

Según Arias *et al.* (2018), Bravo *et al.* (2019) y Del Carpio *et al.* (2021), indican que, con una producción mundial de 1070 millones de toneladas, el maíz amarillo duro (MAD) es el cereal más cultivado en el mundo (40% del total de granos) y sirve como alimento para seres humanos, aves y cerdos, además de ser utilizado en la producción de bienes industriales. Bravo *et al.* (2019), señalan a Estados Unidos (EE. UU.) como el líder mundial en la producción de maíz con 372 millones de toneladas, lo que representa el 32% de la producción mundial. EE.UU. exporta el 37% de su producción total y logra 10 toneladas por hectárea. China le sigue con 23% de la producción y un rendimiento de 6 toneladas por hectárea, seguida de Brasil con 8,6% de la producción total mundial y 4 toneladas por hectárea. Un tercio del grano comercializado en el mundo es MAD. Wang & Hu (2021) señalan que los primeros exportadores en el período

2020-2021 fueron EE.UU., Brasil, Argentina y Ucrania, con 88,12% de las exportaciones mundiales, y señalan que es indispensable la mejora tecnológica para incrementar la productividad y la oferta de grano.

Ecuador recibió el maíz hace 4300 años procedente de México (Iglesias *et al.*, 2018) y desde entonces se ha convertido en parte importante de su cultura, sus variedades tradicionales son patrimonio nacional agrícola y gastronómico de Ecuador, cultivándose hasta los 3000 m.s.n.m. Los indígenas ecuatorianos conocían las variedades de maíz, eje de la cosmovisión indígena, su vida e identidad (Arroyo-Aguilar, 2019; Analuisa *et al.*, 2023).

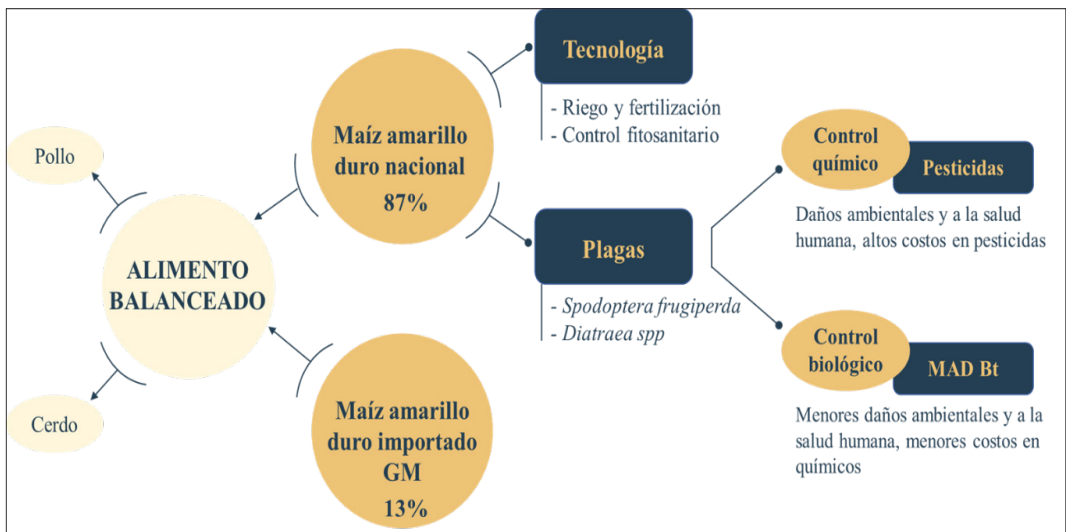
Según Zambrano y Andrade (2021), el año 2020 Ecuador produjo 1,5 millones de toneladas logrando 5,93 toneladas por hectárea. Los Ríos es la región productora de maíz en Ecuador, concentrando el 37,18% del área cultivada

con este cereal, con un rendimiento de 6,29 toneladas por hectárea y una producción de 597 mil toneladas. Analuisa *et al.* (2022) señalan que en Ecuador hay tres sistemas de producción de maíz: 1) Tecnificados, que acuentan con más de 16 hectáreas y aportan el 35% de la producción nacional. Estos sistemas cuentan con preparación técnica de suelos, bioseguridad, integración vertical, agua de riego y acceso a mercados locales e internacionales. 2) Tradicionales, que comprenden entre 6 a 15 hectáreas y aportan el 30% de la producción nacional. Utilizan escasa tecnología, tienen una productividad y calidad media, y escasa agua de riego, orientado al mercado provincial, 3) Rurales, con menos a 5 hectáreas, aportan 35% de la producción. Estos sistemas carecen de tecnología, presentan baja calidad y rendimientos bajos, sin agua de riego, orientado al mercado local. Según Gaibor – Fernández *et al.* (2023) en Ecuador el MAD es importante (338 mil hectáreas) por alimentar humanos y animales, pero es afectado seriamente por la *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (*Lepidoptera: Noctuidae*), conocida como gusano cogollero. Bakry & Abdel-Baky (2023) señalan que esta plaga invasora representa una grave amenaza para la seguridad alimentaria

mundial, por atacar al MAD en crecimiento, floración y fructificación, reduciendo significativamente los rendimientos. Su impacto se ha extendido por África, Asia, EE.UU., México, Centro y Sudamérica, siendo la plaga más dañina del maíz en zonas subtropicales y tropicales como las costas ecuatorianas.

El gusano de la espiga del maíz (*Helicoverpa zea*) y el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) son las principales plagas migratorias del maíz (*Zea mays*) en Estados Unidos y México (Durand *et al.*, 2024). En Estados Unidos, estas plagas se controlan principalmente con maíz transgénico. Sin embargo, en México, la moratoria de 25 años sobre el cultivo de maíz transgénico ha forzado a los agricultores a controlar las plagas con insecticidas, lo que ha resultado en una productividad de maíz en un 35% inferior a la media mundial (Blanco *et al.*, 2024).

En la Figura 1 se muestra las alternativas de control de plagas posibles para mejorar la producción del maíz amarillo duro en Ecuador. Mogollón (2015), demostró en un análisis *ex - ante*, para Lambayeque, Perú, que el uso



**Figura 1.** El maíz amarillo duro y el dilema control de plagas químico vs biológico con transgénicos en Ecuador. La participación de las importaciones se tomó de USDA (2023).

de semilla de MADBt, resistente al cogollero, ofrece beneficios tanto económicos como ambientales, por incrementar la rentabilidad y reducir el gasto en plaguicidas.

Frente a detractores de la biotecnología de recombinación genética, como Séralini *et al.* (2014) y Bianco (2015), que aducen posibles daños para usuarios, otros autores sostienen que es beneficiosa para el ser humano en diversas disciplinas (Méndez-López *et al.*, 2019; Sáenz *et al.*, 2017; Ramón, 2018). Al respecto, Raman (2017) recuerda la antigüedad de la biotecnología convencional en el Sudeste de Asia y señala los múltiples aportes de la recombinación genética, especialmente la generación de organismos vivos útiles empleando los procesos CRISPR-Cas9, en lo que coinciden Hadipour *et al.* (2023) y Hemalatha *et al.* (2023).

Tejeda *et al.* (2021) destacan la experiencia de Argentina, donde los transgénicos generaron beneficios acumulados en 25 años por US\$ 159 mil millones por la soja (92%), maíz (7%) y algodón (1%). Brookes (2022) señala que de 1996 a 2020, los ingresos agrícolas de quienes usan semillas genéticamente modificadas aumentaron en US\$ 261300 millones, equivalente a la mejora de ingresos agrícolas por hectárea en transgénicos de soja, maíz, algodón y canola, en ese período de US\$ 112.

Sobre el MAD Bt, Frizzas *et al.* (2015), señalan que cuenta con ADN de *Bacillus thuringiensis Berliner* y expresa proteína Cry1Ab, que controla insectos parasitoides, detritívoros, herbívoros chupadores de savia y herbívoros masticadores, sin afectar insectos controladores de plagas ni a polinizadores, los cuales eran más abundantes que en los campos de maíz fumigados con plaguicidas en aerosol. En los campos fumigados con insecticidas, las poblaciones de insectos-plaga, como *Dalbulus maidis* (vector del *arafivirus*) y *Condylostylus sp.2* eran mayores.

El MAD es propenso a contaminación por el hongo *Aspergillus flavus* que produce

aflatoxinas, que generan cáncer de hígado (Falade *et al.*, 2022; Saha Turna *et al.*, 2023). Según Wu (2022), el MADBt reduce los riesgos por aflatoxinas. Respecto a la resistencia de insectos a la toxina Cry1Ab del MADBt, Chae *et al.* (2022) superaron este problema con una quimera eCry1Gb.1Ig que demostró ser muy eficaz contra múltiples cepas de gusano cogollero resistentes a diversos rasgos, incluidos Cry1Fa, Vip3Aa y Cry1A.105/Cry2Ab y además controla *Chrysodeixis includens* (bucle de soja, SBL) y *Anticarsia gemmatalis* (oruga de terciopelo, VBC), plagas importantes de la soja. Cabe señalar que, según Gupta *et al.* (2021) la biotecnología moderna pronto incorporará proteínas VIP (*Vegetative insecticidal protein*) del *Bacillus thuringiensis* que controlan insectos que las proteínas Cry no pueden manejar eficientemente. Por lo anterior, se tiene el objetivo de evaluar los beneficios económicos para productores, consumidores y el estado ecuatoriano de liberar semilla de MAD Bt.

## 2. Materiales y métodos

La información de capacidad productiva, producción y precios de insumos del MAD se obtuvo encuestando agricultores de la provincia de los Ríos en Ecuador. La edad promedio de los maiceros en Los Ríos es 44 años, y el 69% de ellos tiene solo 5 años de educación primaria. El 71% integra una asociación productiva que otorga descuentos en insumos y logran asistencia técnica del Ministerio de Agricultura y Ganadería. El 100% de maiceros, siembran 6 hectáreas cada uno con semilla certificada DK 7088 y su ingreso principal es por la venta de maíz amarillo duro. Logran rendimientos por hectárea de 6,54 toneladas. Señalan alta incidencia del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), que tiene de hospederos a los pastos (León-García *et al.*, 2012). El barrenador del tallo (*Diatraea spp.*) afectó a 26% de maiceros, dañando las plantas al perforarlas y facilitando la entrada de microorganismos que provocan pudrición. Esta plaga también afecta a otros cultivos como la caña de azúcar,

sorgo y arroz (Barrera *et al.*, 2017). El 21% de encuestados señalaron afectación de sus cultivos por tizón foliar, enfermedad causada por *Helminthosporium turcicum* o *Exserohilum turcicum* (Félix-Gastelum *et al.*, 2018).

### Modelos de análisis

**Primer modelo:** Evaluación de impacto de la liberación de semillas mejoradas genéticamente de maíz (MAD Bt) en la Provincia de los Ríos con el modelo de Presupuesto parcial en hoja de cálculo Excel aumentado con el software @Risk, para determinar la rentabilidad del cultivo de maíz con semilla de MADBt.

**Segundo modelo:** Cambio de excedentes económicos de Alston *et al.* (1995) en su versión probabilística empleada por Maza *et al.* (2023), para evaluar la rentabilidad económica para productores, consumidores y gobierno, por la liberación de semillas de MAD Bt.

**El Software @Risk:** Según Figueroa *et al.* (2019), Gómez *et al.* (2021) y Maza *et al.* (2023), el @Risk ayuda a realizar un análisis en entorno de riesgo, lo que permite obtener simulaciones de los resultados probables de una innovación tecnológica en un ambiente de riesgo como el de la producción agrícola. Identificada la distribución de probabilidad para cada variable del modelo se realiza las simulaciones. El software @Risk efectúa miles de iteraciones que muestran posibles escenarios considerando variables de entradas (variables de riesgo) como: precios, rendimientos e insumos; por lo tanto, muestra la simulación del análisis del riesgo del producto indicado y revela su probabilidad de ocurrencia.

**Pasos del análisis:** Se verifica la brecha de productividad de los productores de maíz amarillo duro (MAD) de los Ríos respecto a la productividad promedio nacional, la cual valida la necesidad de evaluar el impacto económico de la nueva semilla. Se obtuvieron presupuestos de producción representativos del cultivo y se identificaron los ítems probabilísticos,

definiendo su distribución de probabilidad. Se determinaron los cambios en el presupuesto del cultivo al aplicar la innovación tecnológica: En rendimiento por hectárea, en el costo de la semilla y en agroquímicos. Se estructura los cuadros de presupuesto parcial antes y después del uso de la semilla de MADBt y se procede a la simulación. Se obtienen tablas de incrementos de rentabilidad y el beneficio/costo marginal de MADBt, y se evaluó el impacto a nivel de Los Ríos.

**Variables de entrada:** Variables de riesgo que ingresan al modelo, incluyen el precio en chacra de MAD en US\$/kg, gastos en pesticidas, fungicidas, semilla convencional y semilla genéticamente modificada (MAD Bt), así como el rendimiento esperado de semilla de MAD convencional a partir de la data de producción en toneladas por hectárea (t/ha) de Mocache, Palenque, Ventanas, Vinces y Pueblo Viejo, y el rendimiento esperado de semilla MAD Bt (t/ha).

**Variables determinísticas:** Variables de baja variabilidad que no son afectadas mayormente por el cambio tecnológico, tales como el gasto en herbicidas, mano de obra y los costos indirectos.

**Tasas de cambio de variables:** En la Tabla 2 se muestra los supuestos respecto a los cambios en variables claves derivados de la adopción del MAD Bt, como el gasto en insecticidas, semillas, rendimientos, en fertilizantes y en mano de obra.

La Tabla 1 detalla los presupuestos parciales antes y después de la liberación de semilla de MADBt.

**Variables de salida:** Ratio B/C Marginal del cultivo MAD Bt, y los incrementos en margen bruto por hectárea del cultivo MAD Bt.

**Estructura presupuestal a comparar convencional y transgénica.** Según las encuestas es importante la mano de obra (48%), fertilizantes (22%) y semillas (15%)



**Tabla 1.** Presupuesto parcial probabilístico de MAD convencional y Bt (US\$/ha)

Rubros	Semilla		Incremento			
	Convencional	% CD	Bt	% CD	US\$	en %
Semilla	161,25	15%	225,75	18%	64,5	- 40%
Fertilizantes	243,30	22%	243,30	20%	0	0
Herbicidas	55,30	5%	55,30	4%	0	0
Pesticidas	109,30	10%	38,25	3%	-71,05	- 65%
Mano de obra	523,50	48%	680,55	55%	157,05	30%
Costos directos (CD)	1 092,65		1 243,15		150,50	13,8%
Costos indirectos (10% CD)	109,26		124,32		15,06	13,8%
Costos totales	1 201,91		1 367,47		165,56	13,8%
Rendimientos (Kg por hectárea)	6 543,00		8 015,18		1 472,18	23%
Precios al productor promedio	0,34		0,34		0	0%
Ingresos brutos	2 212,96		2 710,88		497,92	23%
Ingresos netos	1 011,05		1 343,41		332,36	32,87%

en los costos directos de producción de MAD convencional en Los Ríos. Con el MADBt el peso del gasto en mano de obra aumentaría a 55%, en semilla crece a 18%, en fertilizantes se reduce a 20% y pesticidas se reducen a 3%. Los costos crecerían en 13,8%, y los ingresos lo harían en 23%.

Sobre esta estructura presupuestal se realizará el análisis de incremento de Margen Bruto y el cálculo del Índice de Beneficio Costo Marginal que se muestra en los resultados. Los valores estadísticos de los cambios de las variables, tales como el mínimo, máximo, moda (en los casos que se presente) se toman de investigaciones previas (Fernández-Northcote *et al.*, 1999; Aboites Manrique y Félix Verduzco, 2011; Gutiérrez, 2011; Mogollón, 2015; Maza *et al.*, 2023) y se muestran en la Tabla 2.

### Modelo de cambio de excedentes económicos

Para evaluar impactos a largo plazo, se considera el costo de inversión en la adaptación

de la semilla de maíz amarillo duro Bt de Schiek *et al.* (2016). Al no haber estudios previos en Ecuador, se recoge criterios de Salomón Pérez (CIAT, Colombia) y Enrique Fernández (IBT-UNALM, Perú), mostrados por Mogollón (2015), que indican un periodo de adopción de la semilla GM en Perú de 6 años en promedio. Se asume para Ecuador el mismo periodo por ser Perú un país con similitudes de clima y labores agropecuarias. Se considera una tasa de adopción inicial de 2,8% por los agricultores más innovadores, en un plazo de 5 años se llegaría al 80%, por los mejores rendimientos de semillas de MAD Bt. La tasa de adopción crece con el ritmo señalado por Figueroa *et al.* (2019). Se toma de Figueroa *et al.* (2019) la probabilidad de éxito promedio para innovaciones tecnológicas del 85%. Para el modelo de excedentes, en la Tabla 3 se muestra el resumen de supuestos.

El impacto económico en bienestar en términos de cambio de excedentes se representa gráficamente en la Figura 2.

**Tabla 2.** Variación de variables fundamentales por uso de MAD Bt

Variaciones en rubros	Distribución	Mínimo	Máximo	Esperado
Reducción de gasto en pesticidas	Uniforme	40%	90%	65%
Incremento en gasto de semillas	Uniforme	10%	70%	40%
Incremento en rendimiento	Uniforme	12%	33%	23%
Incremento en gasto en mano de obra	Uniforme	0%	60%	30%

Fuente: Elaborado con información de Fernández-Northcote *et al.* (1999); Aboites Manrique y Félix Verduzco (2011); Gutiérrez (2011); Mogollón (2015) y Maza *et al.* (2023).

**Tabla 3.** Resumen de supuestos para el análisis de excedentes sociales

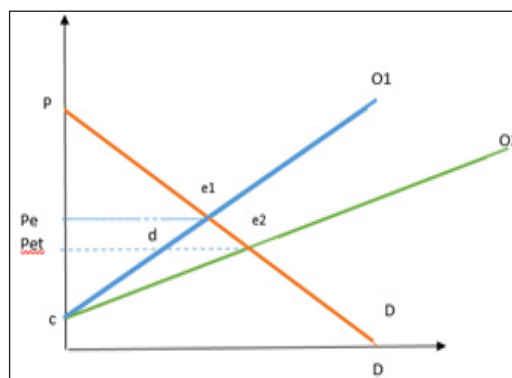
Detalle	Semilla		
	Convencional	Bt	Variación
Costo de producción (US\$)	1 201,94	1 367,47	13,77%
Precio al productor (promedio \$/kg)	0,38	0,38	0%
Rendimiento (kg/ha)	6 543,00	8 015,18	23%
Ingreso Bruto Estimado (\$/ha)	2 486,34	2 710,88	23%
Ingreso Neto Estimado (\$/ha)	1 284,40	1 343,41	32,87%
Superficie (mil hectáreas)	109,05	109,05	
Tasa de adopción máxima (Figuroa <i>et al.</i> , 2019)		0,80	
Costo de investigación (millones \$) (Schiek <i>et al.</i> , 2016)		1,45	
Costo de transferencia (mil \$) (Schiek <i>et al.</i> , 2016)		312,50	
Probabilidad de éxito (%) (Figuroa <i>et al.</i> , 2019)		85	
Tasa de descuento (%) (Castillo y Zhambalingay, 2021)		12	

El detalle de la evolución de las variables se muestra en la Tabla 2 (elasticidades de demanda (ED) y oferta (EO) de Maíz Amarillo Duro, los cambios de rendimiento (CR), cambio equivalente de rendimientos (CER), cambio de costos de insumos (CCI) y el cambio equivalente de costos (CEC)); y anexo 3 (Cambios netos de costos de insumos o K potencial (CNCI, Kpot), la probabilidad de éxito (PE) de la tecnología, la tasa de adopción (TA), la tasa de depreciación (TD), coeficiente Kmax y coeficiente Z).

### 3. Resultados

#### Evaluación económica del uso de semillas de MADBt en Los Ríos

Se encontró un valor medio de incremento de rendimientos de 23% con la semilla de MAD Bt y un incremento de los costos de producción de 13,77% debido a que el precio de las semillas de MAD Bt, es mayor que el de las semillas convencionales en 40%. Por los mayores rendimientos, se tiene un incremento en el margen bruto por hectárea de US\$ 332,36 (32,87% adicional). Se tiene 98,1% de escenarios de variación positiva del margen, con un valor máximo de US\$ 786,54 y un valor medio de incremento de US\$ 332,36. Existe 1,9% de escenarios negativos y un valor mínimo, de US\$ -134,70. El coeficiente beneficio costo marginal (Tabla 4) promedio esperado fue 1,09, lo que indica que el agricultor ganará 9 centavos al incrementar 1 dólar en su inversión.



**Figura 2.** Cambio de excedentes con el cambio de semillas. O1: Curva de oferta con semilla convencional. O2: Curva de oferta con la semilla de MADBt. Pe: Precio de equilibrio con semilla convencional. Pet: Precio de equilibrio con semilla MADBt. e1: Equilibrio original con semilla convencional. e2: Equilibrio con semilla de MADBt. Triángulo PPe1: Excedente del consumidor con semilla convencional. Triángulo PPete2: Excedente del consumidor con semilla de MADBt. Triángulo cPee1: Excedente del productor con semilla de MAD convencional. Triángulo cPete2: Excedente del productor con semilla de MADBt. Área PPete2e1: Incremento de Excedente del consumidor por la semilla de MADBt. Área cPetd: Primer componente del excedente del productor por el cambio a semilla de MADBt. Área cde2: Ganancia de excedente del productor por el cambio a semilla de MADBt. Área PePetde1: Pérdida de excedente del productor por el cambio a semilla de MADBt. Área cPete2: Excedente del productor por el cambio a semilla de MADBt.

La simulación realizada con *@Risk*, arroja que, por el uso de semillas mejoradas hay una probabilidad del 98,1% de que los productores logren un incremento de beneficios positivo por cada dólar invertido en los costos de producción. El método de cambio de excedentes económicos de los consumidores y productores de Los Ríos, por la liberación de MAD Bt, permite determinar si se obtendrán resultados positivos a largo plazo. Considerando el precio de partida US\$ 338,24 por tonelada, una tasa externa de crecimiento nula, una cantidad de partida de 59 2877 toneladas.

En la Tabla 5, se muestran los cambios en la Elasticidad de Demanda (ED), Elasticidad de Oferta (EO), cambios de rendimiento (CR), Cambio Equivalente de Rendimiento (CER), Cambio de Costos de Insumos (CCI) y Cambio Equivalente de Costos (CEC) por semilla mejorada genéticamente en la producción de MAD. Esta tabla también muestra la evolución del cambio neto de costos de insumos, o K potencial (desplazamiento potencial de la curva de oferta según Alston *et al.*, 1995), la probabilidad de éxito (PE), la tasa de adopción (TA), la tasa de depreciación (TD, se asigna 1 porque no se presenta depreciación en un intangible), Kmax o desplazamiento de la oferta y el precio (representado en la columna Z).

En la Tabla 6 se muestra los cambios en excedentes de productor (CEP), excedentes de consumidor (CEC) y excedentes totales o

excedentes de la sociedad (CET). Mientras que, en la Tabla 7 se presentan los valores acumulados (actualizados con una la tasa de descuento de 12% de los excedentes de la sociedad (Suma EC y EP), los costos de investigación y transferencia, así como los beneficios netos.

Los productores (los que afrontan el riesgo del proceso productivo) obtienen la mayor parte del incremento del excedente total (66,23%) mientras los consumidores solo se benefician con 33,77%. El cambio promedio esperado de los excedentes totales llega a US\$ 862 millones.

Es importante señalar que el VAN de la inversión pública en adaptar y difundir la semilla de MAD Bt es positivo y su valor esperado medio asciende a US\$ 321 millones.

La rentabilidad de la inversión pública en esta semilla se corrobora con la TIR que asciende a 376% (promedio esperado).

#### 4. Discusión

Los resultados se alinean con lo encontrado por Mogollón (2015) para el maíz amarillo duro Bt en Perú, quien reportó un Beneficio/Costo Marginal esperado medio de 1,15 (Tabla 4). Sin embargo, la estimación de Mogollón es diferente, obteniendo un valor de Beneficio – Costo de 19,41, debido a la aplicación de otro método de estimación (Cambio en beneficios/Cambio en costos). En comparación con los resultados de Mogollón (2015), cuyo incremento

**Tabla 4.** Coeficiente Beneficio Costo Marginal (BCM) e incremento de margen

Beneficios US\$		Costos US\$	
Ingresos con semilla Bt	2 710,88	Ingresos con semilla convencional	2 212,96
Costos abandonados	1 201,91	Costos incrementales	1 367,47
Beneficios totales	3 912,79	Costos totales	3 580,43
Beneficio costo marginal esperado mínimo			0,96
Beneficio costo marginal esperado medio			1,09
Beneficio costo marginal esperado máximo			1,23
Escenarios positivos:			98,1%
Margen bruto semilla convencional	1 011,05	Margen bruto con semilla Bt	1 343,41
Incremento de margen esperado medio		US\$ 332.36	(32,87%)



**Tabla 5.** Evolución de variables por semilla mejorada en la producción de MAD

Año	ED	EO	CR	CER	CCI	CEC	Kpot	PE	TA	TD	Kmax	Z
1	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,028	1	0,0104	0,0035
2	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,16	1	0,059	0,020
3	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,5	1	0,187	0,063
4	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
5	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
6	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
7	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
8	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
9	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
10	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
11	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
12	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
13	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
14	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
15	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101
16	0,80	0,408	0,225	0,551	0,138	0,112	0,439	0,85	0,8	1	0,299	0,101

**Tabla 6.** Evolución de cambios en excedentes (CEP, CEC y CET)

Año	CEP US\$	CEC US\$	CET US\$
1	1 389 526,11	708 658,32	2 098 184,43
2	79 92 915,15	40 76 386,73	12 069 301,87
3	25 402 585,58	12 955 318,64	38 357 904,22
4	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
5	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
6	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
7	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
8	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
9	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
10	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
11	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
12	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
13	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
14	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
15	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
16	41 243 749,74	21 034 312,37	62 278 062,10
Acumulados	570 953 773,40	291 186 424,44	862 140 197,84

de rentabilidad se aproximaba al 90%, el presente estudio obtuvo un incremento del 32,87%. A pesar del menor porcentaje obtenido en este estudio, el beneficio para el productor sigue siendo evidente. Esta diferencia puede atribuirse a las variaciones climáticas de los últimos años, que han tenido impactos negativos en el cultivo de maíz, especialmente en zonas

del sudeste ecuatoriano como Los Ríos (Lopez *et al.*, 2021; González Osorio *et al.*, 2020). En adición, el cambio total de excedentes esperado medio de US\$ 1 693 millones, beneficia a los productores (US\$ 522 millones) y consumidores (US\$ 266 millones) (Tabla 7), encontrándose que la inversión del estado es rentable (VAN US\$ 786 millones). Estos resultados se

**Tabla 7.** Incremento en Excedentes de la sociedad, Costos de investigación, costos de transferencia y beneficios netos (US\$)

Año	Excedentes de la sociedad (CET)	Costos de investigación	Costos Transferencia	Beneficios netos
0		1 450 000,00		-1 450 000,00
1	2 098 184,43		125 000,00	1 973 184,43
2	12 069 301,87		93 750,00	11 975 551,87
3	38 357 904,22		62 500,00	38 295 404,22
4	62 278 062,10		31 250,00	62 246 812,10
5	62 278 062,10			62 278 062,10
6	62 278 062,10			62 278 062,10
7	62 278 062,10			62 278 062,10
8	62 278 062,10			62 278 062,10
9	62 278 062,10			62 278 062,10
10	62 278 062,10			62 278 062,10
11	62 278 062,10			62 278 062,10
12	62 278 062,10			62 278 062,10
13	62 278 062,10			62 278 062,10
14	62 278 062,10			62 278 062,10
15	62 278 062,10			62 278 062,10
16	62 278 062,10			62 278 062,10
Acumulado actualizado al 12%	323 542 296,83	Valor Actual Neto (TSD 12%)		321 841 606,55

asemejan a lo encontrado por Mogollón, pues en dicho estudio se obtiene un incremento en el Excedente para la sociedad de US\$ 6 600 millones, distribuido entre los productores (US\$ 4 371 millones) y los consumidores (US\$ 2 235 millones). Por su parte, Maza *et al.* (2023), en su estudio sobre papa genéticamente modificada, transgénica y cisgénica, con adición de material genético de papa silvestre y de *Bacillus thuringiensis*, encontraron un beneficio costo marginal esperado medio de 1,32 y un incremento de excedentes sociales de US\$ 12 254 millones y un Valor Actual Neto para la inversión gubernamental en desarrollar y lograr la autorización de esta semilla de US\$ 12 mil millones. Adicionalmente, Diez *et al.* (2024) encontraron que la recombinación genética agregando genes de *Bacillus thuringiensis* y de papa silvestre otorgándole resistencia a lepidópteros y a rancho, elevaron la rentabilidad esperada de la papa blanca permitiendo que los agricultores obtengan un beneficio costo marginal de 1,42, y una mejora del bienestar para

la sociedad pues se obtendría un incremento del excedente social en S/ 97 510 millones (US\$ 27 600 millones). Figueroa *et al.* (2019) emplearon una metodología semejante para evaluar los beneficios económicos de la semilla certificada de arroz en Perú, encontraron que mejoraría el rendimiento por hectárea en 26,94%, crecería el margen de utilidad en 94,16%, y un Beneficio Costo Marginal de 1,15 mientras que, los consumidores incrementan sus excedentes en US\$ 1 714 millones, los productores en más de US\$ 857 millones, y el gobierno recupera su inversión con un VAN de US\$ 2 571 millones. Los resultados encontrados se alinean con la evidencia empírica de Tejeda *et al.* (2021), quienes encontraron que en Argentina luego de 25 años, los beneficios económicos por las semillas genéticamente modificadas de soya, maíz amarillo duro y algodón ascendieron a US\$ 159 mil millones. En general, diversos estudios han evidenciado que las innovaciones en semillas (certificadas o genéticamente modificadas) potencian el nivel de rendimiento del cultivo,

su rentabilidad y, finalmente, el bienestar de la sociedad (por ejemplo, Macall *et al.*, 2020; Ala-Kokko *et al.*, 2021; Brookes, 2019). En el caso particular de Los Ríos, la siembra de semillas de MAD Bt aliviaría la presión por el uso de pesticidas, reduciendo el gasto en 65% en estos y evitando el daño fisiológico para el maíz derivado de los componentes activos, lo cual se traducirá en mayores rendimientos (esperado de 23% adicional), lo cual mejorará la rentabilidad para los agricultores en US\$ 332,36 y elevará el bienestar para la ciudadanía en general.

## 5. Conclusiones

Son evidentes las ventajas de la utilización de semillas mejoradas genéticamente en la producción de maíz amarillo duro, por el incremento en rendimientos (23% estimado en base a la literatura) que conduce a mayores beneficios económicos (US\$ 332,36 por hectárea) para los productores que dependen de este cultivo. Estas mejoras en la producción también se reflejan en los consumidores cuyo excedente crecerá en US\$ 291 millones. Los agricultores obtienen un incremento en la utilidad (ingresos menos costos) del 33%, a pesar del incremento considerable en los costos de 14%. El Ratio Beneficio/Costo Marginal, con un valor de 1,09, evidencia que el productor obtiene US\$ 0,09 adicionales por cada dólar invertido en la semilla genéticamente modificada. El análisis de cambio de excedentes económicos, determina que existen resultados favorables desde el primer año, y se llegaría a una tasa de adopción por los productores del 80%. Los consumidores obtienen un incremento de su bienestar agregado que llega al 33,77% del total de excedentes sociales, mientras que los productores obtienen el 66,23% del incremento de excedentes sociales. Se recomienda realizar investigaciones en otros cultivos que tienen variantes transgénicas como el algodón y la soya.

## Conflicto de intereses

Los autores firmantes del presente trabajo de investigación declaran no tener ningún potencial conflicto de interés personal o económico con otras personas u organizaciones que puedan influir indebidamente con el presente manuscrito.

## Contribución de autores

NRD, RDM, CVQ. .La concepción y diseño del estudio, o adquisición de datos, o análisis e interpretación de datos,

CVQ, ALS, RGO, AVB, RDM. Redactar el artículo o revisarlo críticamente para contenido intelectual importante,

MAS. Aprobación definitiva de la versión a presentar.

## Fuentes de financiamiento

Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de ninguna agencia de financiación, sector gubernamental ni comercial o sin fines de lucro.

## Referencias

- Aboites Manrique, G., & Félix Verduzco, G. (2011). *Centroamérica: uso de semillas genéticamente modificadas e incremento del ingreso de los agricultores*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cec0fa43-421b-4b9f-aaf9-1ef7ae72fc4f/content>
- Ala-Kokko, K., Nalley, L. L., Shew, A. M., Tack, J. B., Chaminuka, P., Matlock, M. D., & D'Haese, M. (2021). Economic and ecosystem impacts of GM maize in South Africa. *Global Food Security*, 29, 100544. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100544>
- Alston, J., Norton, G., & Pardey, P. (1995). *Science under scarcity: Principles and practice for agricultural research*

- evaluation and priority setting*. Ithaca. ISNAR. 585 p.
- Analuisa, I., Jimber del Río, J. A., Sorhegui-Ortega, R., & Vergara-Romero, A. (2022). Cadena de Valor del Maíz Duro Seco en Ecuador. *Revista Venezolana De Gerencia*, 27(Especial 8), 1196-1212. DOI: <http://doi.org/10.52080/rvgluz.27.8.30>
- Analuisa, I.A., Jimber del Río, J., Fernández-Gallardo, J.A., Vergara-Romero, A.. (2023). The value chain of ecuadorian hard yellow corn. Challenges and opportunities. *Lecturas de Economía*, 98: 191–220. DOI: <http://doi.org/10.17533/udea.le.n98a347315>
- Arias, Y., Gonzáles, I., Miranda, I, Fernández, L., & Peteira, B. (2018). Diversidad genética en maíz (*Zea mays L.*) procedente de Pinar del Río y Guantánamo, Cuba, mediante el empleo de RAPD. *Revista Protección Vegetal*, 33(1):1-9. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v33n1/rpv06118.pdf>
- Arroyo-Aguilar, S. (2019). Simbología del maíz en la cultura andina milenaria: resistencia e identidad del hombre andino. *Investigaciones Sociales*, 22(41), 37-55. DOI:<http://doi.org/10.15381/is.v22i41.16756>
- Bakry, M.M.S., & Abdel-Baky, N.F. (2023). Population density of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its response to some ecological phenomena in maize crop. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e271354. DOI: <http://doi.org/10.1590/1519-6984.271354>
- Barrera, G., Villamizar, L., Espinel, C., Quintero, E., Belaich, M., Toloza, D., Ghiringhelli, P., & Vargas, G. (2017). Identification of *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae) based on cytochrome oxidase II. *PLoS One*. 12(9), e0184053. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0184053>
- Bianco, M. (2015). El valor de la semilla propiedad intelectual y acumulación capitalista. *Revista de Ciencias Sociales*. 28(36), 37-54. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/racs/v28n36/v28n36a03.pdf>
- Blanco, C.A., Hernandez, G., Dively, G., Conover, K., Portilla, M., Valentini, G., Fosado, A., Abel, C.A., Guzmán, H., Occelli, L., Knolhoff, L., & Corona, M. (2024). Functional transgenes in Mexican maize: Benefits and risks for insect pest management in Mexico and the United States. *Annals of the Entomological Society of America*, 117(3), 184 - 195. DOI: <http://doi.org/10.1093/aesa/saae007>
- Bravo-Martínez, F.C., Pinedo-Taco, R., & Zorogastua-Cruz, P. (2022). Economic sustainability of the cultivation of Hard Yellow Corn (*Zea mays L.*) in the Pativilca Valley, Peru. *Idesia*, 40(2), 95 - 101. DOI: <http://doi.org/10.4067/S0718-34292022000200095>
- Bravo, F., Zorogastúa, P., & Pinedo, R. (2019). Sustentabilidad social del sistema agrícola de maíz amarillo duro en el Valle de Pativilca – Lima. *Idesia*, 37(3), 107 - 114. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v37n3/0718-3429-idesia-37-03-107.pdf>
- Brookes, G. (2019). Twenty-one years of using insect resistant (GM) maize in Spain and Portugal: farm-level economic and environmental contributions. *GM crops & food*, 10(2), 90-101. DOI: <http://doi.org/10.1080/21645698.2019.1614393>
- Brookes, G. (2022). Farm income and production impacts from the use of genetically modified (GM) crop technology 1996-2020. *GM Crops and Food*, 13(1), 171–195. DOI: <http://doi.org/10.1080/21645698.2022.2105626>
- Castillo, J.G., Zhangallimbay, D. (2021). La tasa

- social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: una aplicación para el Ecuador. *Revista de la CEPAL* (134): 77-98. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/91cab4afb4bd4-41c5-b263-3e217bd549eb/content>
- Chae, H., Wen, Z., Hootman, T., Himes, J., Duan, Q., McMath, J., Dittillo, J., Sessler, R., Conville, J., Niu, Y., Mathews, P., & Francischini, F. (2022). eCry1Gb.IIg, A Novel Chimeric Cry Protein with High Efficacy against Multiple Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Strains Resistant to Different GM Traits. *Toxins*, 14(12), 852. DOI: <http://doi.org/10.3390/pr10122739>
- Del Carpio, M. A., Ancco, M., Linares, A. E., Ancco-Loza, R., & Jiménez, H. (2021). Aguas residuales de industria láctea como alternativa sostenible para aumentar la productividad del maíz en Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(1), 26-36. DOI: <http://doi.org/10.18271/ria.2021.229>
- Durand, K., An, H., & Nam, K. (2024). Invasive fall armyworms are corn strain. *Scientific Reports*, 14(1), 5696. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41598-024-56301-0>
- Félix-Gastelum, R., Lizárraga-Sánchez, G., Maldonado-Mendoza, I., Leyva-Madrugal, K., Herrera-Rodríguez, G., & Espinoza-Matías, S. (2018). Confirmación de la identidad de *Exserohilum turcicum*, agente causal del tizón foliar del maíz en Sinaloa. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(3), 468-478. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v36n3/2007-8080-rmfi-36-03-468.pdf>
- Fernández-Northcote, E. N., Navia, O., & Gandarillas, A. (1999). Bases de las estrategias de control químico del tizón tardío de la papa desarrolladas por PROINPA en Bolivia. *Revista Latinoamericana de la papa*, 11(1), 1-25. DOI: <https://doi.org/10.37066/ralap.v11i1.93>
- Figuerola, L., Diez, R., Gómez, R., & Linares, A. (2019). Beneficios económicos de la semilla certificada en la producción de arroz (*Oryza sativa*) en el Perú. *Anales Científicos*, 80(2), 437-451. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v80i2.1459>
- Frizzas, M., Martins, C., & Omoto, C. (2015). Diversity of insects under the effect of Bt maize and insecticides. *Agricultural entomology*. 84:1-8. DOI: <http://doi.org/10.1590/1808-1657000062015>
- Gaibor-Fernández, R., Rodríguez-Rodríguez, S., Guevara-Avilés, C.M., Reyes-Pérez, J.J., & Plaza-Zambrano, P. (2023). Variation over time of bioinsecticides effect on *Spodoptera frugiperda* incidence in corn (*Zea mays*) in dry season in Mocache, Los Ríos, Ecuador. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26, 033. DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3958>
- Gómez, R., Diez, R., Anderson, M., & López, P. (2021). Riesgo en la agricultura: El caso de la papa (*Solanum tuberosum*) en Ayacucho y Lima. *Anales Científicos*, 82(2), 279-287. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v82i2.1790>
- González Osorio, B. B., Barragán Monroy, R., Simba Ochoa, L., & Rivero Herrada, M. (2020). Influencia de las variables climáticas en el rendimiento de cultivos transitorios en la provincia Los Ríos, Ecuador. *Centro Agrícola*, 47(4), 54-64. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v47n4/0253-5785-cag-47-04-54.pdf>
- Gupta, M., Kumar, H., Kaur, S. (2021). Vegetative insecticidal protein (VIP): A Potential contender from *Bacillus thuringiensis* for efficient management of various detrimental agricultural pests. *Frontiers in Microbiology*, 12, 659736. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2021.659736>
- Gutiérrez, M. E. M. (2011). Biotecnología aplicada en la reproducción de peces. *Informador técnico*, (75), 66-73. DOI: <http://doi.org/10.23850/22565035.21>
- Hadipour, K., Asadishad, T., Mahya, L.,

- Mohammadhassan, R., Rahbar, A., & Goudarziasl, F. (2023). A comparative review on genome editing approaches. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(6), 567. DOI: <http://dx.doi.org/10.33263/BRIAC136.567>
- Hemalatha, P., Abda, E.M., Shah, S., Venkatesa P. S., Jayakumar M., Karmegam, N., Kim, W., & Govarthanam, M. (2023). Multi-faceted CRISPR-Cas9 strategy to reduce plant based food loss and waste for sustainable bio-economy – A review. *Journal of Environmental Management*, 332, 117382. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117382>
- Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C., & Egües, J. (2018). El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*. 9(1): 25-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.03>
- León-García, I., Rodríguez-Leyva, E., Ortega-Arenas, L., & Solís-Aguilar, J. (2012). Susceptibilidad de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (*Lepidoptera: noctuidae*) a insecticidas asociada a césped en Quintana Roo, México. *Agrociencia*, 46, 279-287. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n3/v46n3a7.pdf>
- Lizarbe, L., Vega, E., & Lizarbe, J. (2020). Adaptación y eficiencia agronómica en el maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) En diferentes localidades de la costa central y norte del Perú. *Revista boletín Redipe*, 9 (11), 260-271. DOI: <http://doi.org/10.36260/rbr.v9i11.1129>
- Lopez, G., Gaiser, T., Ewert, F., & Srivastava, A. (2021). Effects of recent climate change on maize yield in Southwest Ecuador. *Atmosphere*, 12(3), 299. DOI: <http://doi.org/10.3390/atmos12030299>
- Macall, D. M., Trabanino, C. R., Soto, A. H., & Smyth, S. J. (2020). Genetically modified maize impacts in Honduras: production and social issues. *Transgenic Research*, 29(5), 575-586. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11248-020-00221-y>
- Maza, S., Gómez-Oscorima, R., Díez-Matallana, R., & Fernández-Northcote, E.N. (2023) Metodologías de evaluación ex - ante de los beneficios económicos de la biotecnología en el cultivo de papa en Perú. *Anales Científicos*, 84(1),1-19. DOI:<http://doi.org/10.21704/ac.v84i1.1958>
- Méndez, K., Chaparro, A., Reyes, G., & Castro, S. (2011). Production cost analysis and use of pesticides in the transgenic and conventional crop in the valley of San Juan (Colombia), *GM Crops*, 2(3), 163-168p. DOI: 10.4161/gmcr.2.3.17591
- Méndez-López, A., Villanueva-Verduzco, C., Rojas-Martínez, R., Sahagún-Castellanos, J., Colinas-León, M., & Sánchez-Vega, M. (2019). Diversidad genética de genotipos partenocárpico arbustivos de calabaza mediante marcadores genéticos moleculares. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 1-9. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n1/2007-0934-remexca-10-01-1.pdf>
- Mogollón, R. (2015). *Rentabilidad del maíz amarillo duro (Zea mays) resistente al gusano cogollero (Spodoptera frugiperda) en el distrito de Jayanca, departamento de Lambayeque*. [Tesis para Economista. Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2027/E16-M62-T.df?sequence=1&isAllowed=y>
- Raman, R. (2017). The impact of genetically modified (GM) crops in modern agriculture: A review. *GM Crops & Food*, 8, 195–208, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1080/21645698.2017.1413522>
- Ramón, D. (2018). Biotecnología de alimentos: de los transgénicos a la nutrición personalizada. *Nutrición Hospitalaria*, 35(4), 28-32. DOI: <http://doi.org/10.20960/nh.2121>



- Sáenz, L., Angarita-Merchán, M., & López-Velandia, D. (2017). Aplicación de la nanobiotecnología con el sistema CRISPR-cas. *Universidad y Salud*, 19(3), 400-409. DOI: <http://doi.org/10.22267/rus.171903.102>.
- Saha Turna, N., Comstock, S.S., Gangur, V., & Wu, F. (2023). Effects of aflatoxin on the immune system: Evidence from human and mammalian animal research. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. DOI: <http://doi.org/10.1080/10408398.2023.2219336>
- Schiek, B., Hareau, G., Baguma, Y., Medakker, A., Douches, D., Shotkoski, F., & Ghislain, M. (2016). Demystification of GM crop costs: releasing late blight resistant potato varieties as public goods in developing countries. *International Journal of Biotechnology*, 14(2), 112-131. DOI: [http://doi.org/10.1504 /IJBT.2016.077942](http://doi.org/10.1504/IJBT.2016.077942)
- Séralini, G., Clair, E., Mesnage, R., Gress S., Defarge, N., Malatesta, M., Hennequin, D., & de Vendômois J. (2014). Republished study: long-term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. *Environmental Sciences Europe*, 26(1), 1-17. DOI: 10.1186/s12302-014-0014-5
- Tejeda, A., Rossi, S., Jorge, N., & Trigo, E. (2021), *Veinticinco años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina*. Bolsa de Cereales. <https://es.readkong.com/tmp/veinticinco-a-os-de-cultivos-geneticamente-modificados-en-2871468.pdf>
- USDA (United States Department of Agriculture).2013. Recuperado el 05 de 10 de 2016, de FASUSDA: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>.
- Wang, J., & Hu, X. (2021) Research on corn production efficiency and influencing factors of typical farms: Based on data from 12 corn producing countries from 2012 to 2019. *PLoS ONE*, 16(7), e0254423. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0254423>
- Wu, F. (2022). Mycotoxin risks are lower in biotech corn. *Current Opinion in Biotechnology*, 78:102792. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102792>
- Zambrano, C. E., & Andrade Arias, M. S. (2021). Productividad y precios de maíz duro pre y post COVID-19 en el Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 143-150. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v13n4/2218-3620-rus-13-04-143.pdf>