



Beneficios económicos potenciales de la liberación de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) genéticamente modificado en la costa norte del Perú

Potential economic benefits of releasing genetically modified hard yellow corn (*Zea mays* L.) on the northern coast of Peru

Carolay Zully Vásquez Quispe¹; Carlos Alberto Minaya Gutiérrez¹; Duber Orlando Chinguel Labán¹

¹ ONGD Sostenibilidad y Desarrollo – Perú. La Molina, Lima, Perú.

* Autor correspondiente: cminaya@lamolina.edu.pe (C. Minaya).

ID ORCID de los autores:

C. Z. Vásquez Quispe: <http://orcid.org/0000-0003-4582-9106>

C. A. Minaya Gutiérrez: <http://orcid.org/0000-0003-1691-6585>

D. O. Chinguel Labán: <http://orcid.org/0000-0002-4449-2348>

RESUMEN

En Perú, la ley de moratoria de transgénicos prohíbe la producción agrícola con biotecnología hasta 2035, en salvaguarda de la agrobiodiversidad, no obstante, la evaluación económica de esta actividad potencial es todavía incipiente. El objetivo de esta investigación fue evaluar ex-ante los beneficios económicos, a corto y largo plazo, de la liberación de semillas de maíz amarillo duro tratadas con biotecnología en la costa norte del Perú. Para determinar los beneficios económicos a corto plazo, se utilizó la metodología de presupuesto parcial, mientras que, en el caso de la estimación de los beneficios a largo plazo, se empleó el modelo de excedentes económicos. Los resultados evidencian que la adopción de estas semillas genéticamente modificadas con Bt, incrementarían el margen de utilidad de los productores en 57,39%. Respecto de la evaluación social, el valor actual del cambio de excedentes económicos de los productores podría alcanzar los S/ 456 millones, mientras que el de los consumidores, los S/ 233 millones. Además, la inversión gubernamental necesaria para implementar esta innovación tecnológica presenta un valor actual neto de S/ 728 millones. En conclusión, la evaluación económica de la hipotética liberación de estas semillas es crucial para discutir la moratoria actual de transgénicos.

Palabras clave: Evaluación ex-ante; transgénicos; maíz amarillo duro; biotecnología; costa norte del Perú

ABSTRACT

In Peru, the transgenic moratorium law prohibits agricultural production with biotechnology until 2035, in order to safeguard agrobiodiversity, however, the economic evaluation of this potential activity is still incipient. The aim of this paper was to evaluate ex-ante the short- and long-term economic benefits of releasing biotech-treated hard yellow corn seeds in the northern coast of Peru. The partial budget methodology was used to determine the short-term economic benefits, while the economic surplus model was used to estimate the long-term benefits. The results show that the adoption of these seeds genetically modified with Bt would increase the producers' profit margin by 57,39%. Regarding the social evaluation, the current value of the change in the economic surplus of producers could reach S/ 456 million, while that of consumers, S/ 233 million. In addition, the government investment required to implement this technological innovation has a net present value of S/ 728 million. In conclusion, the economic evaluation of the hypothetical release of these seeds is crucial to discuss the current moratorium on transgenics.

Keywords: Ex-ante evaluation; transgenics; hard yellow corn; biotechnology; northern coast of Peru.

Recibido: 17-06-2024.

Aceptado: 19-11-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

La agricultura sigue siendo un sector crítico para el desarrollo económico y la reducción de la pobreza en muchos países en desarrollo (Christiaensen & Martin, 2018). En ese sentido, Mmbando (2024) y Muzhinji & Ntuli (2021), señalan que la biotecnología puede ofrecer ventajas en la mejora de los rendimientos y costos de producción en la agricultura.

Es a partir del 1996, donde las primeras variedades transgénicas comerciales se plantaron, y ya para el año 2009, cubrían 134 millones de hectáreas, siendo la adopción más rápida de cualquier tecnología de cultivo jamás registrada en el mundo (Pham & Napasintuwong, 2020), representadas principalmente por los siguientes cultivos transgénicos: soya, maíz, algodón y canola (Bolaños et al., 2020), donde el cultivo transgénico de soya representa el 50% de la superficie mundial de transgénicos (Ramón, 2018).

La amplia utilización de soya, maíz, algodón y canola modificados genéticamente radica en que aportan beneficios reales para los agricultores, tales como aumentos en la producción, reducción en los costos de insumos, mejor control de insectos y malezas de una forma sostenible con el ambiente, mejor conservación de los suelos; e incrementos en la rentabilidad económica (Kobayashi et al., 2023; Klümper & Qaim, 2014; Oliva et al., 2019).

En particular, el maíz genéticamente modificado (GM) con Bt, gen extraído de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, que codifica proteínas de control de insectos (Rodríguez-Tolosa et al., 2023) se asocia a una mejora en la calidad del grano, a un mayor rendimiento, a la reducción de pesticidas, así como a la reducción de micotoxinas, que provocan grandes pérdidas económicas en todas las regiones del mundo (Pellegrino et al., 2018).

En el 2022, la producción mundial ha consolidado al maíz amarillo duro (MAD) como uno de los cultivos más ampliamente utilizados y distribuidos a nivel global, tanto para la elaboración de forrajes, alimentos y uso industrial (FAO, 2024; Revilla et al., 2022), como por ser el producto insignia entre los cultivos GM (Ardisana et al., 2019), siendo Estados Unidos y Argentina, los principales proveedores mundiales, que basan su alta productividad en el uso de variedades de maíz amarillo tratados con biotecnología y, coincidentemente, se ubican en el Top 5 de países con mayor productividad de este insumo (Erenstein et al., 2022).

Por su parte, en el Perú, la oferta nacional es mayormente cubierta por importaciones a fin de satisfacer principalmente la demanda de la industria avícola y porcícola, puesto que este producto se constituye como una materia prima fundamental en la elaboración de alimento balanceado en estas industrias (Bravo-Martínez et al., 2022; Chura & Tejada, 2014).

De acuerdo con lo anterior, Perú es considerado un importador neto de MAD (Barandiarán, 2020; Diez et al., 2016), cuyo volumen importado superó los 3,5 millones

de toneladas en el año 2022, equivalente al 75% de la oferta total de MAD en el país (MIDAGRI, 2023). Asimismo, Fabián et al. (2020) señalan que existe una brecha significativa entre los rendimientos del MAD nacional e internacional.

En particular, la costa norte del Perú (Piura, Lambayeque y La Libertad) enfrenta factores que afectan la producción del MAD, como el uso inadecuado de semillas híbridas, la escasa tecnificación del cultivo y la presencia de enfermedades y plagas propias de la región, lo que ocasiona pérdidas económicas, bajos rendimientos y altos costos de producción (Vásquez, 2022; Mogollón, 2015). Como resultado, las regiones de la costa norte peruana han experimentado una reducción en los niveles de producción y un estancamiento en los rendimientos del MAD desde el año 2012. Los datos muestran que el rendimiento promedio se ha mantenido en alrededor de 6 t/ha hasta el año 2023 (Sistema Integrado de Estadística Agraria [SIEA], 2023).

Al respecto, Mogollón (2015), señala que el MAD es frecuentemente atacado en zonas cálidas por el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), sobre todo en zonas subtropicales y tropicales, como en el caso de la costa norte del Perú. Este insecto ataca a la planta en todas sus etapas de desarrollo: crecimiento, floración y fructificación; y al presentarse en grandes cantidades puede arruinar significativamente la producción.

Por su parte, Vásquez (2022), enfatiza que los agricultores de MAD en Perú, incluso cuando emplean semillas híbridas importadas (que les confiere ventajas respecto a los maíces híbridos locales) persisten en la utilización de agroquímicos, puesto que las semillas importadas continúan presentando vulnerabilidad ante las plagas más comunes en el Perú.

Esta situación ha motivado a las entidades gubernamentales a promover la difusión y búsqueda constante de tecnologías y mejores prácticas agrícolas para los productores. Entre estas iniciativas, la introducción de biotecnología en la agricultura peruana es objeto de debate en organizaciones científicas, comerciales y gubernamentales (Guillén, 2014), especialmente en vista de la decisión del gobierno peruano de prohibir la producción y comercialización de cultivos GM en el país (Ley N.º 31111, 2021). A pesar de esta medida, diversos estudios han demostrado el potencial de la biotecnología para transformar las condiciones económicas, sociales, ambientales y sanitarias del sector agrícola y alimentario, tanto en economías desarrolladas como en países en vías de desarrollo (ver Material Suplementar). Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar ex - ante los beneficios económicos, a corto y largo plazo, de la liberación de semillas de MAD tratadas con biotecnología en la costa norte del Perú con la finalidad de generar información que aporte en la discusión sobre la posibilidad de modificación de la ley de moratoria de transgénicos, vigente hasta 2035.

METODOLOGÍA

Ámbito de estudio

El ámbito de estudio abarcó los departamentos productores de MAD en la costa norte peruana, específicamente Piura, Lambayeque y La Libertad. En conjunto, para el año 2023, estos departamentos representaron el 16.3% de la producción nacional. Sin embargo, se observó un estancamiento en sus rendimientos productivos desde el año 2010 hasta el 2019, con una ligera recuperación en el periodo del 2021 al 2023 (SIEA, 2023). Cabe señalar que, al 2023, el número de productores dedicados al cultivo en la zona de estudio fue de 31,396.

Diseño de investigación

Con el fin de evaluar económicamente la introducción de una nueva tecnología de semillas y capturar el riesgo intrínseco de la actividad agrícola, se utilizará un enfoque probabilístico junto con un modelo de Simulación Estocástica de Monte Carlo (SEMC), siguiendo a Molina (2017) y Gómez et al. (2021). Al respecto, el enfoque probabilístico permite incorporar incertidumbres y variabilidades en los parámetros del modelo (Saha et al., 2017), además, la SEMC se emplea para prever los posibles resultados de eventos inciertos.

Tabla 1
Ámbito de estudio y dinámica del MAD en la costa norte de Perú al 2023

VARIABLES DE INTERÉS / DEPARTAMENTOS	Lambayeque	Piura	La Libertad	Total	Promedio
Superficie agrícola total (ha)	252.876,96	252.87,96	496.702,18	1002.456,10	-
Productores	1.795	19.066	10.535	31.396	-
Superficie sembrada (ha)	15.963	15.913	13.180	45.056	15.018,67
Producción (t)	69.995	109.403	112.544	291.942	97.314
Rendimiento (t/ha)	4,4	6,9	8,5	-	6,6

Fuente: Elaborado con información del MIDAGRI (2023).

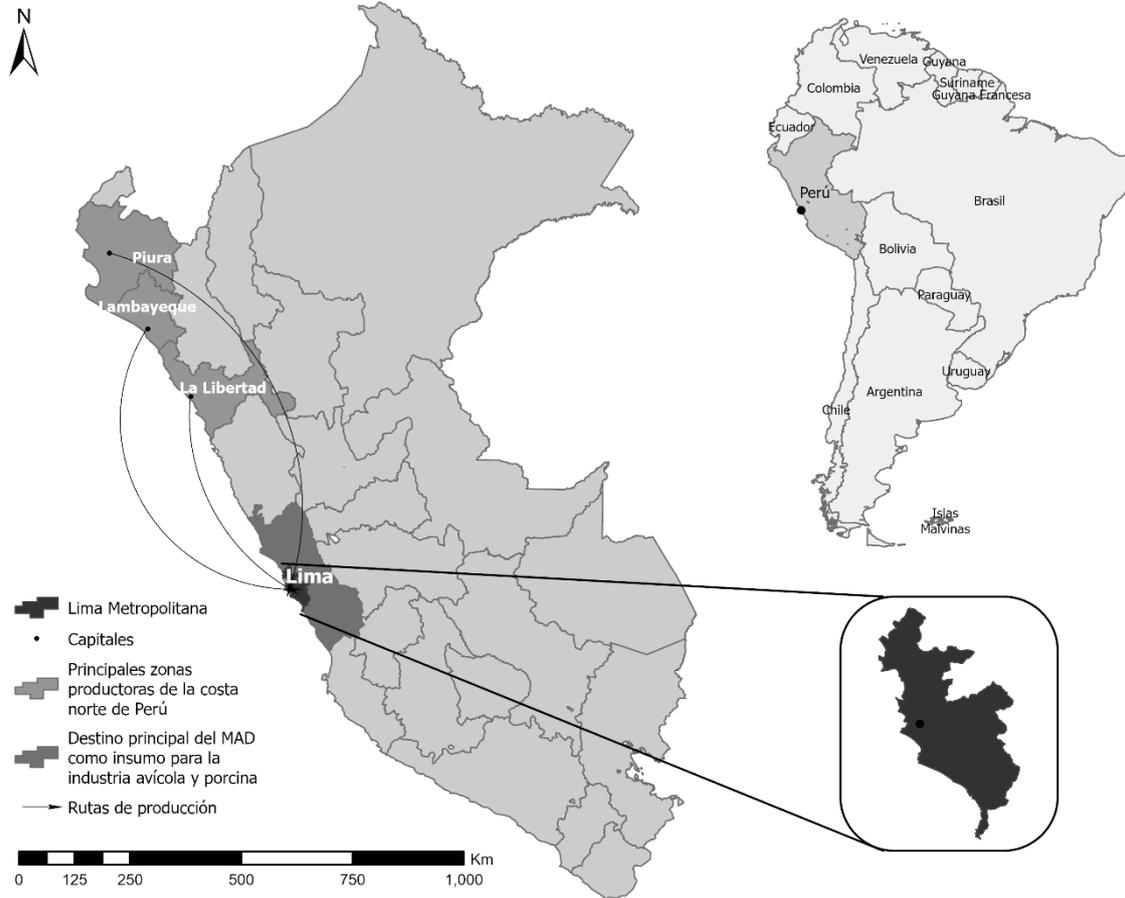


Figura 1. Principales regiones productoras de MAD en la costa norte de Perú.

Asimismo, Minaya & Chinguel (2021), señalan que la SEMC representa un muestreo experimental, que tiene por objetivo estimar las distribuciones de las variables de salida en función de variables probabilísticas, que presentan un componente de incertidumbre, puesto que sus magnitudes se basan en expectativas futuras o riesgo de que las premisas de proyección adoptadas, al inicio de la toma de decisiones, no se concreten.

Finalmente, Miguez (2014) sostiene que el uso de la SEMC es fundamental al evaluar la viabilidad de un proyecto o innovación tecnológica en la actividad agrícola, la cual se caracteriza por su alta variabilidad debido a factores externos como el clima, las enfermedades y las plagas.

Evaluación de beneficios económicos a corto plazo: Presupuesto parcial

Para determinar los beneficios económicos a corto plazo de una hipotética liberación de semilla de MAD GM – MAD Bt, se empleará el método de presupuesto parcial, así como el cálculo del índice de beneficio – costo marginal. Según Heagy et al. (2023) y Ojemade et al. (2023), este método implica evaluar sistemáticamente la variación de los beneficios y costos netos a corto plazo, en respuesta a un cambio hipotético en una práctica o tecnología específica dentro de una actividad económica actual.

En el contexto de la actividad agrícola, este método puede

aplicarse en la evaluación económica de la adopción de innovaciones tecnológicas para la producción de cultivos. Por su parte, el índice de beneficio – costo marginal evalúa la viabilidad económica de la inversión del agricultor en una nueva tecnología productiva. En caso se obtenga un valor mayor a uno, la innovación tecnológica será considerada rentable económicamente (Maza et al., 2023; Vásquez, 2022).

Según Horton (1982), ante la adopción de un cambio tecnológico o innovación en la producción agrícola, los costos variables y totales se verán modificados, mientras que los costos fijos se mantendrán constantes (en el corto plazo). Entonces, el criterio de decisión para adoptar una nueva tecnología o innovación se basa en la variación de los beneficios netos (ΔBT), que resulta de la diferencia entre el cambio en los ingresos totales (ΔIT) y el cambio en los costos totales (ΔCT):

$$\Delta BT = \Delta IT - \Delta CT \quad (1)$$

Debido a que los costos totales incluyen a los costos fijos y variables; y que los primeros no presentan variación en el corto plazo, se tiene la ecuación (4) derivada de (2) y (3):

$$\Delta BT = \Delta IT - \Delta(CF + CV) \quad (2)$$

$$\Delta BT = \Delta IT - \Delta CF - \Delta CV \quad (3)$$

$$\Delta BT = \Delta IT - \Delta CV \quad (4)$$

Tabla 2

Elementos del modelo de presupuesto parcial en un entorno probabilístico

Variables determinísticas	Variables probabilísticas	
	Variables de entrada	Variables de salida
Costos en fertilizantes	Costos específicos en insecticidas	Incremento del margen de rentabilidad
Costos de mecanización	Rendimiento del cultivo	Índice de beneficio-costo
Costos en mano de obra	Costo de semillas de MAD GM	marginal
Costo del agua y otros Costos indirectos		

Evaluación de beneficios económicos a corto plazo: Modelo de excedentes económicos

Para determinar los beneficios sociales a largo plazo de una nueva semilla de MAD Bt, se empleará el modelo de excedentes económicos en una economía cerrada propuesta por Alston et al. (1995), siguiendo a Macall & Smyth (2020). El modelo permite estimar los beneficios adicionales o excedentes económicos netos, luego de descontar los costos de investigación y de transferencia de la introducción de una nueva tecnología productiva y cuantificar los beneficios relativos para los productores (excedente del productor) y consumidores (excedente del consumidor) a partir de una innovación agrícola. El modelo asume algunos parámetros iniciales como el precio inicial, la producción del cultivo, elasticidades de la oferta y demanda, costos de transferencia, costos de investigación, probabilidad de éxito, además del factor K, conocido como el efecto directo del cambio tecnológico en la curva de oferta.

$$\Delta CS = P_0 Q_0 Z (1 + 0.5Z\eta) \dots (5)$$

$$\Delta PS = P_0 Q_0 (K - Z)(1 + 0.5Z\eta) \dots (6)$$

$$\Delta TS = \Delta PS + \Delta CS = P_0 Q_0 K(1 + 0.5Z\eta) \dots (7)$$

$$K = \left| \frac{\Delta Y}{\epsilon_a} - \frac{\Delta C}{(1 + \Delta Y)} \right| \times A \times R \times D \dots (8)$$

$$Z = \frac{K\epsilon}{(\epsilon + \eta)} \dots (9)$$

Donde P_0 : Precio en ausencia de innovación; Q_0 : Cantidad en ausencia de innovación; A : Tasa de adopción; D : Tasa de depreciación; C_0 : Cantidad consumida en ausencia de innovación; K : Desplazamiento de la oferta; Z : Cambio de precios ante innovación tecnológica; ΔY : Diferencia en rendimientos esperados de la nueva semilla y la semilla convencional; ΔC : Diferencia en costos esperados de la nueva semilla y la semilla convencional; ϵ_a : Elasticidad de oferta; η : Elasticidad de demanda; R : Probabilidad de éxito al usar la nueva semilla; ΔCS : Variación en excedente del consumidor; ΔPS : Variación en excedente del productor; ΔTS : Variación en excedente social.

Por último, es importante destacar que se han considerado supuestos específicos en relación con las semillas GM, según la revisión de literatura. Siguiendo a Maza et al. (2023) y Vásquez (2023), se espera que la adopción de estas semillas resulte en una reducción estimada del 65% en el costo de insecticidas, un aumento previsto del 23% en el rendimiento del cultivo y un incremento anticipado del 20% en los costos asociados al precio de adquisición de las nuevas semillas.

Además, en la evaluación de los beneficios sociales, se ha adoptado el horizonte temporal propuesto por Schiek et al. (2016), el cual abarca un período de 16 años. Este período contempla el primer año destinado a la inversión en la investigación de una nueva tecnología productiva, seguido de ocho años dedicados a los costos de transferencia asociados con la referida tecnología.

Los valores de las elasticidades de demanda y oferta del MAD en la economía peruana son de 0,798 (Tarazona, 2016) y 0,408 (Mogollón, 2015), respectivamente. Los precios y el total de producción del MAD en la costa norte se proyectaron, según información oficial del MIDAGRI (2023). Finalmente, se consideró una Tasa Social de Descuento (TSD) del 8% (Ministerio de Economía y Finanzas, 2020), una probabilidad de éxito promedio para las innovaciones en agricultura del 85% (Maza, 2023) y la tasa de adopción de esta innovación agrícola, según Rogers et al. (2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación económico ex ante a corto plazo

A corto plazo, la implementación de la semilla de MAD Bt, generaría un nuevo margen de utilidad esperado de S/ 8.303 por hectárea, representando un incremento del 57,39% comparado a la utilidad obtenida al utilizar semillas convencionales (Tabla 3). Además, incorporando el riesgo generado por la propia naturaleza de la actividad agrícola, el incremento en el margen de utilidad esperado es positivo en el 100% de los escenarios, es decir, el riesgo de pérdida es del 0% (ver Anexo 1).

Adicionalmente, los beneficios totales con las nuevas semillas ascienden a S/ 24.428, es decir, la suma de los ingresos nuevos por la nueva semilla (S/16.383) y los costos por el abandono de la semilla convencional (S/8.045). Mientras que los costos totales ascienden a S/ 21.400, es decir, la suma de los ingresos abandonados de la semilla convencional (S/13.320) y los costos de la nueva semilla (S/8,080). Por tanto, el índice de beneficio-costo marginal equivale a 1,14 en otras palabras, por cada 1 sol invertido en la nueva semilla, el productor obtendrá 14 centavos de ingreso adicional. Se obtiene, además, que la inversión en la nueva semilla de MAD es rentable en el 100% de escenarios que se puedan presentar (ver Anexo 2).

A partir de la evaluación económica a corto plazo, se prevé un incremento del 57,39% en el margen de utilidad para los productores que adopten la nueva semilla de maíz MAD, a pesar de un posible aumento en el costo total de producción. Asimismo, la introducción del maíz Bt en la costa norte del Perú proyecta un índice de beneficio-costo marginal promedio de 1,14, lo que implica una ganancia de 14 centavos por cada sol invertido en esta tecnología de semilla. Estos resultados son consistentes con estudios realizados en diversos países, como Honduras (Macall et al., 2020), Filipinas (Bairagi & Durand-Morat, 2023), Colombia (Brookes & Brookes, 2020), Brasil, Bolivia, Uruguay, Argentina, México (Brookes, 2022; Rocha-Munive et al., 2018; Argenbio, 2020) y Paraguay (Gómez et al., 2017), que evidencian beneficios económicos significativos derivados de la adopción del maíz Bt en comparación con las semillas convencionales. Por ejemplo, López-Guzmán (2023) destaca que dos características clave de los cultivos transgénicos, la tolerancia a herbicidas y la resistencia a insectos (como en el algodón Bt, soya HT y maíz Bt), explican su mejor desempeño agronómico y económico frente a sus contrapartes convencionales, medido en términos de margen bruto por hectárea.

Tabla 3
Resultados del análisis económico a corto plazo

Rubros	Convencional	MAD Bt	Incrementos
Semilla	815	978	20,00%
Fertilizantes	2.040,80	2.040,80	0,00%
Pesticidas específicos	195,5	68,42	-65,00%
Pesticidas multipropósito	283,56	283,57	0,00%
Mano de obra	3.121,50	3.121,50	0,00%
Maquinaria agrícola y equipo	730,67	730,67	0,00%
Agua	229,67	229,67	0,00%
Otros gastos	134	134	0,00%
Costos directos	7.550,70	7.586,62	0,05%
Costos indirectos	493,97	493,97	0,00%
Costo total de producción	8.044,67	8.080,59	0,05%
Rendimiento (kg/ha)	9.250,00	11.377,50	23,00%
Precio Promedio	1,44	1,44	0,00%
Ingreso total de producción	13.320,00	16.383,60	23,00%
Margen de utilidad productiva	5.275,33	8.303,00	57,39%

Adicionalmente, Hrčková et al. (2018) subrayan que los principales beneficios del uso de semillas de maíz genéticamente modificado (GM) incluyen mayores rendimientos y mejor calidad del producto, lo que incrementa la competitividad. También destacan la reducción en el uso de insecticidas y herbicidas tóxicos y la disminución de la contaminación ambiental, factores que en conjunto contribuyen a la sostenibilidad de la producción agrícola.

En el caso de Filipinas, Yorobe & Smale (2012) demuestran que la adopción de maíz GM ha tenido un impacto positivo en los ingresos totales de los agricultores, mejorando su calidad de vida. Estos ingresos adicionales permiten a las familias agrícolas reducir la probabilidad de caer por debajo del umbral de pobreza. Por su parte, Brookes (2022) señala que el maíz transgénico HT ha disminuido principalmente los costos de producción gracias a un control más eficiente de malezas en países como Argentina, Brasil, Filipinas y Vietnam. Las ganancias promedio en ingresos varían según el contexto, con un rango que va desde \$2,4 por hectárea en Paraguay hasta \$430,5 por hectárea en Estados Unidos, superando los \$100 por hectárea en Argentina cuando los mayores rendimientos provienen de un control efectivo de malezas. a nivel nacional, los resultados de la evaluación de rentabilidad a corto plazo van en línea con las investigaciones realizadas por y Escalante (2018) y Abad (2014), quienes demuestran la viabilidad del uso de semillas de MAD tratadas con biotecnología en diversas regiones del Perú, al obtener indicadores de rentabilidad positivos para los productores. En conjunto, estos estudios respaldan la adopción de tecnologías de maíz Bt como una estrategia económicamente viable en el corto plazo para incrementar los niveles de productividad del cultivo y la rentabilidad económica en diversos contextos.

Evaluación económica ex-ante a largo plazo

La Tabla 4 corresponde al análisis de excedentes sociales a largo plazo a partir de la adopción de una innovación agrícola respecto del uso de semillas de MAD Bt. Estos resultados serían derivados de una hipotética inversión gubernamental, donde el Valor

Actual Neto (VAN), a una TSD del 8%, se aproxima a S/ 728 millones; y en caso se presente incrementos sustanciales en el riesgo y la TSD suba al 20%, el VAN se aproximará a S/ 321 millones. Además, la Tasa Interna de Retorno (TIR) cuyo resultado es de 161,11%, supera ampliamente la tasa mínima de rentabilidad exigida a proyectos de inversión pública, indicando que la hipotética liberación de las semillas GM será rentable a largo plazo. En adición, el valor actual esperado del cambio del excedente del consumidor equivale a S/. 233 millones, mientras que el de los productores supera los S/ 456 millones, generando un valor actual esperado del excedente social que supera los S/. 689 millones.

Tabla 4
Resultados del modelo de cambio de excedentes con semillas de MAD Bt

Impactos económicos	Valores
Valor Actual Neto (TSD 8%)	S/. 728 772.242,17
Valor Actual Neto (TSD 20%)	S/. 321 838.848,62
Tasa Interna de Retorno	161,11%
Cambio del Excedente de Consumidor	S/. 233 215.356,88
Cambio de Excedente de Productor	S/. 456 141.800,95
Cambio de Excedente Social	S/. 689 357.157,84

En concordancia con los resultados presentados, Macall & Smyth (2020) evaluaron el impacto del bienestar social tras la adopción de maíz GM en El Salvador, en un horizonte de 10 años. Su estudio mostró que los consumidores fueron los principales beneficiarios, con un VAN de los excedentes que oscilaba entre USD 503.206 y USD 645.287. En el caso de los productores, el VAN de sus excedentes fluctuó entre USD 27.476 y USD 34.197. Esta investigación asumió que el gobierno financiaba la compra de semillas GM y consideraba escenarios de adopción del 30% y 52%, reflejando el impacto positivo tanto en consumidores como en productores. De igual manera, Pham & Napasintuwong (2020) analizaron el caso de Vietnam, un año después de la comercialización de semillas de maíz GM, y señalaron que estas semillas mejoraron significativamente los rendimientos, los ingresos y los beneficios económicos de los agricultores, con aumentos del 19,5%, 25,6% y 116,5%, respectivamente. Además,

destacaron una considerable reducción en los costos de mano de obra (debido a menos deshierbe y fumigaciones) y en el uso de plaguicidas y pesticidas. En consecuencia, recomendaron que el gobierno de Vietnam fomenta la adopción de esta tecnología. Los resultados de esta investigación también son comparables con los estudios previos en el contexto peruano, como los de Vásquez (2022), Diez et al. (2016) y Mogollón (2015), que presentan expectativas positivas respecto a los beneficios sociales derivados de la adopción de semillas MAD GM. Estos

estudios refuerzan las potencialidades económicas de dicha tecnología, lo que explica que los niveles de cultivos GM no hayan disminuido en los últimos años, sugiriendo que los agricultores continúan obteniendo beneficios económicos significativos de su uso. En conjunto, la comparación de estos estudios demuestra que la adopción de semillas GM no solo mejora la rentabilidad de los agricultores en diferentes contextos, sino que también contribuye al bienestar social, reafirmando el valor económico de esta tecnología.

CONCLUSIONES

De la evaluación económica a corto plazo de la potencial adopción de semillas de maíz amarillo duro modificadas con biotecnología en la costa norte del Perú, se evidencia la generación de impactos económicos positivos, puesto que el incremento en el margen de utilidad por hectárea para los productores es de alrededor de 57,39%, en comparación con la utilidad obtenida utilizando semillas convencionales.

Adicionalmente, al evaluar el potencial económico de la inversión en esta nueva semilla a largo plazo, se registran incrementos en los excedentes económicos para los productores, consumidores y la sociedad en su conjunto, quienes alcanzarán un incremento equivalente de S/ 699 millones, en promedio. En la misma línea, puesto que la liberación de dichas semillas en el país requiere de inversión a nivel gubernamental, el presente estudio obtuvo que la adopción de las semillas

evaluadas tendrá retornos de inversión positivos, con un VAN de S/ 728 millones y una TIR de 161%, que supera ampliamente la tasa mínima de rentabilidad exigida en proyectos de inversión en el Perú.

Futuros estudios podrían considerar una evaluación prospectiva del uso de semillas de maíz amarillo duro genéticamente modificadas a nivel nacional, con el fin de proporcionar mayor evidencia de las potencialidades del uso de biotecnología en este cultivo. Además, el resultado de la investigación deberá complementarse con evaluaciones de campo, en virtud de la evaluación de otros factores complementarios al económico, tales como el ambiental, agronómico, sanitario, entre otros, con el fin de convergir hacia una posición de consenso respecto del marco regulatorio actual de moratoria de cultivos transgénicos, vigente hasta el 2035.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo académico y financiamiento de la ONGD Sostenibilidad y Desarrollo – Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

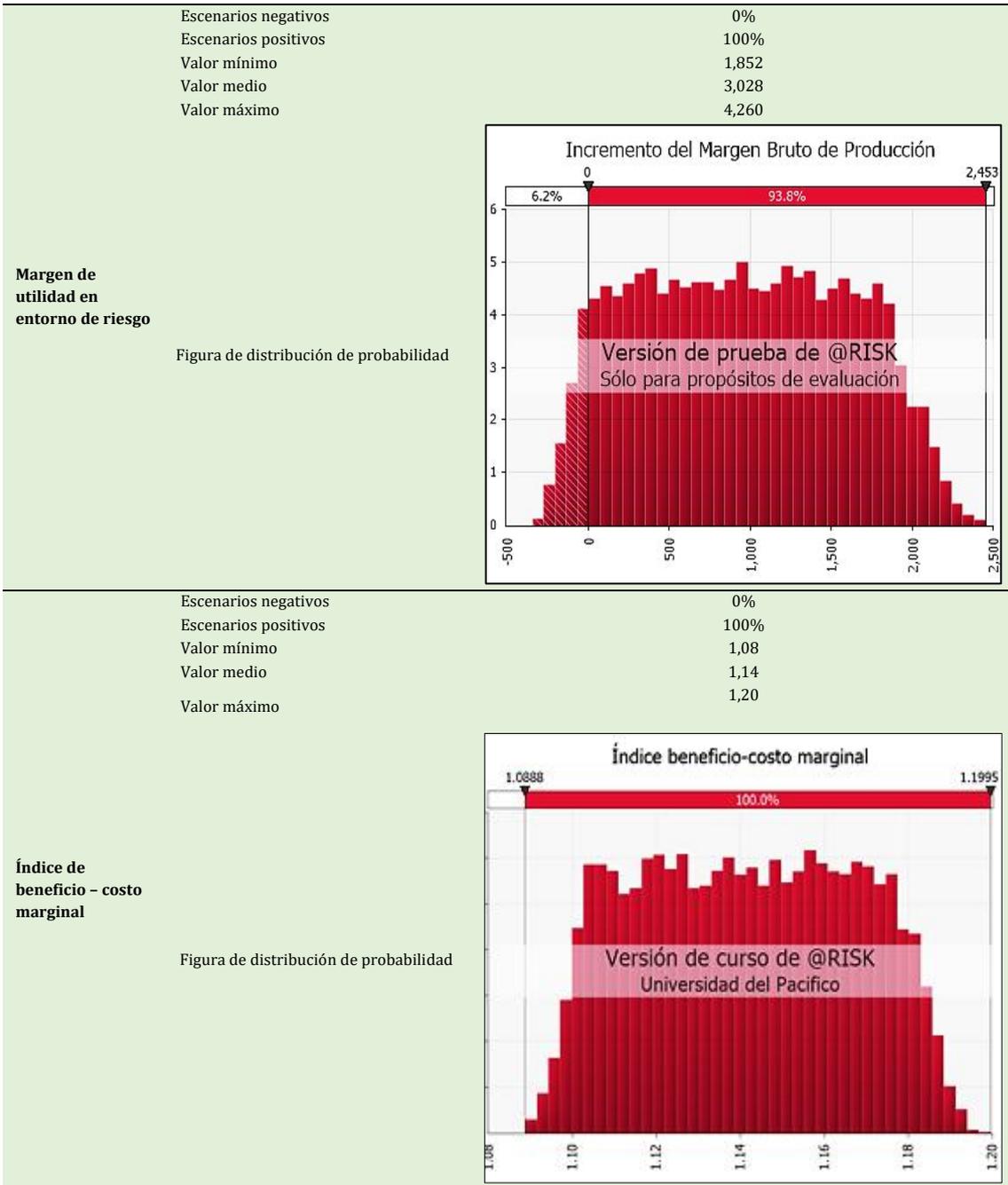
- Abad, R. (2014). Rentabilidad del maíz Bt resistente a cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en los valles de Barranca en la región Lima. Lima, Perú: Universidad Agraria la Molina. Tesis para optar el título de Economista. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Alston, J., Norton, G., & Pardey, P. (1995). *Science under scarcity: Principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting*. Wallingford: CAB International.
- Ardisana, E., Gaiña, B., Torres, A., Fosado, O., & León, R. (2019). Alimentos transgénicos: ¿sí o no? La perspectiva sudamericana. *Revista Chakiñan de Ciencias Sociales y Humanidades*, 8, 148-157.
- Argenbio. (2020). *Cultivos transgénicos aprobados en Argentina*. In: <http://www.argenbio.org/cultivos-transgenicos>.
- Barandiarán Gamarra, M. Á. (2020). *Manual técnico del cultivo de maíz amarillo duro*. Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario - DDTA. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Bairagi, S., & Durand-Morat, A. (2023). Economic feasibility of genetically modified zinc-fortified rice. In B. P. Mallikarjun Swamy, A. Macovei, & K. R. Trijatmiko (Eds.), *Genetic engineering and genome editing for zinc biofortification of rice* (pp. 183-197). *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85406-1.00004-6>
- Bolaños, K., García-González, J., Solano-González, S., Martínez-Debat, C., Sancho-Blanco, C., & Umaña-Castro, R. (2020). Detección de p35S como indicador de transgenicidad en alimentos y algodón. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37151>
- Bravo-Martínez, F. C., Pinedo-Taco, R., & Zorogastua-Cruz, P. (2022). Sustentabilidad económica del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en el valle de Pativilca, Perú. *Idesia (Arica)*, 40(2), 95-101. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000200095>
- 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*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/21645698.2019.1614393>
- Brookes, G., & Barfoot, P. (2020). Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996-2018: impacts on pesticide use and carbon emissions. *GM Crops & Food*, 11(4), 215-241. <https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1773198>
- Brookes, G. (2022). Farm income and production impacts from the use of genetically modified (GM) crop technology 1996-2020. *GM Crops & Food*, 13(1), 171-195. <https://doi.org/10.1080/21645698.2022.2105626>
- Christiaensen, L., & Martin, W. (2018). Agriculture, structural transformation and poverty reduction: Eight new insights. *World Development*, 109, 413-416.
- Chura, J., & Tejada, J. (2014). Comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, Perú. *Idesia (Arica)*, 32(1), 113-118. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292014000100014>
- Diez, R. A., Gómez, R. M., & Linares, A. (2016). Rentabilidad de la innovación genética en maíz amarillo duro (*Zea mays* L. var *indurata*) y papa blanca (*Solanum tuberosum*) en el Perú. *Enfoque*, 2-3, 43-74.
- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Security*, 14(5), 1295-1319.
- Fabián, N. H., Luis, D. B., & Tirado, R. H. (2020). Comparativo de rendimiento en híbridos nacionales e internacionales de maíz bajo condiciones del valle de Pativilca, Lima, Perú. *Peruvian Agricultural Research*, 2(2). <https://doi.org/10.51431/par.v2i2.643>

- Gómez, R., Diez, R., Anderson, M., & López, P. (2021). Riesgo en la agricultura: El caso de la papa. *Anales Científicos*, 82(2), 279-287. <https://doi.org/10.21704/ac.v82i2.1790>
- Gómez, V., Villalba, A., Arias, G., Ramírez, O., & Gaona, E. F. (2017). Toxicidad sobre Spodoptera frugiperda (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) de la proteína Bt expresada en hojas de diferentes eventos de maíz transgénico liberados en Paraguay. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 76(1-2). <https://doi.org/10.25085/rsea.761201>
- Groote, H. D., Overholt, W. A., Ouma, J. O., & Wanyama, J. (2011). Assessing the potential economic impact of Bacillus thuringiensis (Bt) maize in Kenya. *African Journal of Biotechnology*, 10(23), 4741-4751.
- Guillén, L. (2014). Rentabilidad de papa cisgénica versus convencional en Huasahuasi. *Anales Científicos*, 75(2), 300-309. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v75i2.967>
- Hrčková, K., Mihalčík, P., Žák, Š., Hašana, R., Ondřejčková, K., & Kraic, J. (2018). Agronomic and economic performance of genetically modified and conventional maize. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 64(2), 87-93. <https://doi.org/10.2478/agri-2018-0009>
- Heagy, K., Knuth, M., Schultheis, J. R., Birdsell, T., & Ward, J. (2023). Using Partial Budgeting Analyses to Analyze Profitability of Commercial Pumpkin Production, Standardize Bin Size Categories, and Understand Bin Sorting Accuracy. *HortScience*, 58(12), 1587-1594. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17499-23>
- Horton, D. (1982). Partial Budget Analysis for On-Farm Potato Research. Technical Information Bulletin 16. *International Potato Center*, Lima, Peru, pp. 1-17
- Klümper, W., & Qaim, M. (2014). Un metaanálisis de los impactos de los cultivos modificados genéticamente. *PLoS ONE*, 9, e111629. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111629>
- Kobayashi, K., Wang, X., & Wang, W. (2023). Genetically modified rice is associated with hunger, health, and climate resilience. *Foods*, 12, 2776. <https://doi.org/10.3390/foods12142776>
- Ley N.º31111, Ley que establece la moratoria al ingreso y producción de Organismos Vivos Modificados al territorio nacional por un período de 15 años, a fin de establecer la moratoria hasta el 31 de diciembre de 2035. Democratización del Libro y de Fomento de la Lectura (6 de enero de 2021). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1917468-1>
- López-Guzmán, J. A. (2023). Quien controla las semillas, controla la vida: una aproximación a los transgénicos en Colombia. Pacha. *Revista De Estudios Contemporáneos Del Sur Global*, 4(11), e230169. <https://doi.org/10.46652/pacha.v4i11.169>
- Macall, D. M., & Smyth, S. J. (2020). Ex-ante impact assessment of GM maize adoption in El Salvador. *GM Crops & Food*, 11(2), 70-78. <https://doi.org/10.1080/21645698.2019.1706424>
- 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.
- Maza, S., Gómez-Oscorima, R. M., Diez-Matallana, R. A., & 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. <https://doi.org/10.21704/ac.v84i1.1363>
- Miguez, D. F. (2014). Análisis de riesgos en emprendimientos agropecuarios. Evaluación de resultados económicos esperados en proyectos productivos en el oeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de Investigación en Modelos Financieros*, 3(1), 69-92.
- Mmbando, S. G. (2024). The adoption of genetically modified crops in Africa: The public's current perception, the regulatory obstacles, and ethical challenges. *GM Crops & Food*, 15(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/21645698.2024.2345401>
- Minaya, C. A., & Chinguel, D. O. (2021). Análisis económico de la oferta agrícola de variedades comerciales de papas peruanas. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 25(1), 52-70.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2023). *Observatorio de Commodities. Maíz amarillo duro. Boletín Trimestral N° 03-2023*. Dirección de Estudios Económicos. Dirección General de Políticas Agrarias.
- Ministerio de Economía y Finanzas [MEF]. (2020). *Anexo N° 11: Parámetros de Evaluación Agraria Social*. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva001_2019EF6301.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 optar el título de Economista. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Molina, J. P. (2017). Análisis de riesgo bajo simulación Monte Carlo para un proyecto de industrialización de carne de bovino. *e-Agronegocios*, 3(1). <https://doi.org/10.18845/rea.v3i1.3649>
- Muzhinji, N., & Ntuli, V. (2021). Genetically modified organisms and food security in Southern Africa: conundrum and discourse. *GM Crops & Food*, 12(1), 25-35. <https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1794489>
- Oliva, R., Ji, C., Atienza-Grande, G., Huguet-Tapia, J. C., Perez-Quintero, A., Li, T., ... & Yang, B. (2019). Broad-spectrum resistance to bacterial blight in rice using genome editing. *Nature Biotechnology*, 37(12), 1344-1350. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0267-z>
- Ojemade, C. A., Unuabonah, E., & Oloyede, A. (2023). Partial Budget Analysis of a Diversified Small Scale Oil Palm Farms in a Changing Climate in Imo and Delta State, Nigeria. *In e-Proceedings of the Faculty of Agriculture International Conference* (pp. 349-353).
- Qaim, M., & Zilberman, D. (2003). Yield effects of genetically modified crops in developing countries. *Science*, 299(5608), 900-902. <https://doi.org/10.1126/science.108060>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2024). FAOSTAT. *Cultivos y productos de ganadería*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Pellegrino, E., Bedini, S., Nuti, M., & Ercoli, L. (2018). Correction: Impact of genetically engineered maize on agronomic, environmental and toxicological traits: a meta-analysis of 21 years of field data. *Scientific Reports*, 8(1), 6485. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24840-y>
- Pham, D. V., & Napsintuwong, O. (2020). Genetically modified maize adoption in Southern Vietnam. *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 12(2), 114-135.
- Ramón, V. D. (2018). Biotecnología de alimentos: de los transgénicos a la nutrición personalizada. *Nutrición Hospitalaria*, 35, 28-32. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.2121>
- Revilla, P., Alves, M. L., Andelković, V., Balconi, C., Dinis, I., Mendes-Moreira, P., ... & Malvar, R. A. (2022). Traditional foods from maize (*Zea mays* L.) in Europe. *Frontiers in Nutrition*, 8, 683399.
- Rocha-Munive, M. G., Soberón, M., Castañeda, S., Niaves, E., Scheinvar, E., et al. (2018). Evaluation of the impact of genetically modified cotton after 20 years of cultivation in Mexico. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6(82). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00082>
- Rodríguez-Tolosa, R., Cifuentes-Vega, R., & Hernández-Fernández, J. (2023). Caracterización de cepas nativas de Bacillus thuringiensis como método para predecir la susceptibilidad sobre insectos lepidópteros, dípteros y coleópteros plaga de la agricultura. *Revista Mutis*, 13(1), 1-34. <https://doi.org/10.21789/22561498.1963>
- Rogers, E. M., Singhal, A., & Quinlan, M. M. (2014). Diffusion of innovations. *In An integrated approach to communication theory and research* (pp. 432-448). Routledge.
- Saha, N., Rahman, M. S., Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., & Guo, W. (2017). Industrial metal pollution in water and probabilistic assessment of human health risk. *Journal of Environmental Management*, 185, 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.023>
- 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. <https://doi.org/10.1504/IJBT.2016.077942>
- Sistema Integrado de Estadística Agraria [SIEA]. (2023). *Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector*. https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea_bi/index.html
- Tarazona, C. (2016). *Rentabilidad del maíz amarillo duro (Zea mays) resistente al gusano cogollero (Spodoptera frugiperda) en la costa del Perú*. Tesis para optar el título de Economista. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vásquez Quispe, C. Z. (2022). *Rentabilidad ex-ante de la liberación de Maíz amarillo duro (Zea mays) genéticamente modificado en la costa norte del Perú*. Tesis para optar el título de Economista. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Xie, W.; Ali, T.; Cui, Q.; & Huang, J. 2017. Economic impacts of commercializing insect-resistant GM maize in China. *China Agricultural Economic Review*, 9(3), 340-354. <http://doi:10.1108/caer-06-2017-0126>
- Yorobe Jr, J. M., & Smale, M. (2012). Impacts of Bt maize on smallholder income in the Philippines. *AgBioForum*, 15(2): 152-162.

Anexos

Anexo 1

Resultados de la evaluación económica, en entorno de riesgo, de corto plazo respecto al margen de utilidad e índice de beneficio – costo marginal



Anexo 2

Resultados de la evaluación económica, en entorno de riesgo, de largo plazo respecto a los cambios de excedentes del consumidor y productor

