

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ECONOMÍA AGRÍCOLA**



**“EVALUACIÓN EX-ANTE ECONÓMICA, SOCIAL Y
AMBIENTAL DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL MAÍZ
AMARILLO DURO (*Zea mays*) EN LA COMUNIDAD ANDINA”**

Presentada por:

CAROLAY ZULLY VASQUEZ QUISPE

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN ECONOMÍA AGRÍCOLA**

Lima - Perú

2024

Tesis Economía Agrícola

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	8%	1%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	purl.org Fuente de Internet	2%
3	docobook.com Fuente de Internet	1%
4	revistas.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ECONOMÍA AGRÍCOLA**

**“EVALUACIÓN EX-ANTE ECONÓMICA, SOCIAL Y
AMBIENTAL DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL MAÍZ
AMARILLO DURO (*Zea mays*) EN LA COMUNIDAD ANDINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

CAROLAY ZULLY VASQUEZ QUISPE

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. María de Lourdes Tapia y Figueroa
PRESIDENTE

Mg.Sc. Ramón Diez Matallana
ASESOR

Mg.Sc. Raquel Gómez Ocorima
CO-ASESORA

Mg.Sc. Miguel Alcántara Santillán
MIEMBRO

Mg.Sc. Hugo Luna Astorga
MIEMBRO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por haberme dado la vida, la salud y la fortaleza para superar los desafíos que se presentaron en el camino, y por iluminar cada paso que he dado en este viaje.

A mi querida familia, quienes son mi pilar en esta vida. A mis padres, por su sabiduría y amor incondicional. A mis hermanos, por su alegría y por aportar felicidad a mi vida.

A mis asesores, Ramón Díez y Raquel Gómez, quienes, con su conocimiento, paciencia y dedicación, me guiaron y motivaron a lo largo de este proceso. Así como a los miembros de mi jurado de tesis, María de Lourdes Tapia, Miguel Alcántara y Hugo Luna, por sus valiosas sugerencias y su disposición para contribuir a la mejora de esta investigación.

Además, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas con quienes he compartido esta etapa de mi vida. A mis amigos, colegas y compañeros, quienes me han acompañado en este recorrido y quienes han estado a mi lado en los momentos de alegría y de dificultad.

Finalmente, a la persona que ha estado a mi lado desde mucho antes de iniciar este viaje, quien ha sido testigo de mi crecimiento y desarrollo personal. Gracias por tu apoyo constante, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por añadir dulzura a mi vida. Este logro también es tuyo.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	4
1.1.1	Objetivo general.....	4
1.1.2	Objetivos específicos.....	4
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	4
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.1.	Evaluación de impacto socioeconómico y ambiental.....	6
2.1.2.	Evaluación de impacto ex – ante en la actividad agrícola.....	7
2.1.3.	Análisis cuantitativo de riesgos en la actividad agrícola.....	7
2.2.	ANTECEDENTES.....	8
2.2.1.	Mercado de maíz amarillo a nivel mundial.....	8
2.2.2.	Mercado de maíz amarillo a nivel de la Comunidad Andina.....	12
2.3.	MARCO EMPÍRICO.....	18
2.3.1.	Investigaciones previas a nivel internacional.....	18
2.3.2.	Investigaciones previas a nivel de la Comunidad Andina.....	19
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO.....	21
3.2.	TIPO DE ESTUDIO.....	21
3.3.	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	21
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	21
3.5.	HIPÓTESIS.....	22
3.5.1.	Hipótesis general.....	22
3.5.2.	Hipótesis específicas.....	22
3.6.	IDENTIFICACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	22
3.7.	PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS.....	27
3.7.1.	Método del presupuesto parcial y ratio de beneficio – costo marginal.....	27
3.7.2.	Método de cambio de excedentes económicos.....	29
3.7.3.	Cociente de impacto ambiental.....	34
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1.	RESULTADOS.....	36
4.1.1.	Impacto esperado de la biotecnología en la rentabilidad agrícola.....	36

4.1.2.	Impacto esperado de la biotecnología en el bienestar social.....	41
4.1.3.	Impacto esperado de la biotecnología en la calidad ambiental	45
4.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	50
4.2.1.	Evaluación ex – ante económica de la biotecnología en el maíz amarillo	51
4.2.2.	Evaluación ex – ante social de la biotecnología en el maíz amarillo	51
4.2.3.	Evaluación ex – ante ambiental de la biotecnología en el maíz amarillo	52
V.	CONCLUSIONES	53
VI.	RECOMENDACIONES.....	54
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
VIII.	ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción mundial de MAD por países (Miles de toneladas).....	9
Tabla 2. Consumo doméstico mundial de MAD por países (Miles de toneladas)	10
Tabla 3. Costos de producción en las regiones representativas de Perú (US\$/ha).....	16
Tabla 4. Costos de producción en las regiones representativas de Ecuador (US\$/ha).....	17
Tabla 5. Costos de producción en las regiones representativas de Bolivia (US\$/ha)	17
Tabla 6. Operacionalización de la variable dependiente	23
Tabla 7. Operacionalización de las variables independientes	24
Tabla 8. Criterios específicos de los países de la Comunidad Andina	32
Tabla 9. Presupuesto parcial por hectárea de maíz amarillo convencional y con biotecnología en Perú (US\$)	37
Tabla 10. Presupuesto parcial por hectárea de maíz amarillo convencional y con biotecnología en Ecuador (US\$)	38
Tabla 11. Presupuesto parcial por hectárea de maíz amarillo convencional y con biotecnología en Bolivia (US\$)	39
Tabla 12. Ratio de beneficio–costo marginal	41
Tabla 13. Variaciones de excedentes económicos	43
Tabla 14. Evaluación gubernamental a largo plazo.....	44
Tabla 15. Impacto ambiental del uso de semillas tratadas con tecnología convencional de maíz amarillo (2007-2021)	46
Tabla 16. Proyección de superficie con semillas convencionales y tratadas con biotecnología en Perú.....	47
Tabla 17. Proyección de superficie con semillas convencionales y tratadas con biotecnología en Ecuador	47
Tabla 18. Proyección de superficie con semillas convencionales y semillas con biotecnología en Bolivia.....	48
Tabla 19. Impacto ambiental esperado con semillas de maíz amarillo tratadas con tecnología convencional y con biotecnología en Perú (2022-2038)	49
Tabla 20. Impacto ambiental esperado con semillas de maíz amarillo tratadas con tecnología convencional y con biotecnología en Ecuador (2022-2038)	49
Tabla 21. Impacto ambiental esperado con semillas de maíz amarillo tratadas con tecnología convencional y con biotecnología en Bolivia (2022-2038).....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Precios internacionales de MAD según mercado (2020-2023).....	12
Figura 2. Producción de MAD en la Comunidad Andina (miles de toneladas)	13
Figura 3. Superficie cosechada de MAD en la Comunidad Andina (miles de hectáreas)...	14
Figura 4. Rendimiento de MAD en la Comunidad Andina (t/ha)	15
Figura 5. Modelo de excedentes económicos	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Estadísticos de costos de producción del MAD en Perú.....	67
Anexo 2. Estadísticos de costos de producción del MAD en Ecuador.....	67
Anexo 3. Estadísticos de costos de producción del MAD en Bolivia.....	67
Anexo 4. Método de cambios de excedentes económicos – Perú.....	68
Anexo 5. Método de cambios de excedentes económicos – Ecuador.....	70
Anexo 6. Método de cambios de excedentes económicos – Bolivia.....	72
Anexo 7. Costos de producción de MAD por hectárea en Cañete, Perú.....	74
Anexo 8. Costos de producción de MAD por hectárea en Huaura, Perú.....	75
Anexo 9. Costos de producción de MAD por hectárea en Ica, Perú.....	76
Anexo 10. Costos de producción de MAD por hectárea en Guayas, Ecuador.....	77
Anexo 11. Costos de producción de MAD por hectárea en Los Ríos, Ecuador.....	78
Anexo 12. Costos de producción de MAD por hectárea en Manabí, Ecuador.....	79
Anexo 13. Costos de producción de MAD por hectárea en Santa Cruz, Bolivia.....	80
Anexo 14. Costos de producción de MAD por hectárea en Chuquisaca, Bolivia.....	81
Anexo 15. Costos de producción de MAD por hectárea en Tarija, Bolivia.....	82
Anexo 16. Reporte de estadísticos de resumen de Perú.....	83
Anexo 17. Reporte de estadísticos de resumen de Ecuador.....	84
Anexo 18. Reporte de estadísticos de resumen de Bolivia.....	85
Anexo 19. Matriz de consistencia.....	86

RESUMEN

La biotecnología tiene el potencial de incrementar la productividad agrícola, contribuir al bienestar social y mitigar los daños ambientales causados por tecnologías convencionales. Se destaca la necesidad de implementar esta nueva tecnología en el cultivo de maíz amarillo duro (MAD), esencial para la industria de alimentos balanceados para alimentación animal en la Comunidad Andina. En este contexto, el estudio evaluó el impacto de la adopción de biotecnología aplicada a semillas en el cultivo de MAD en estos países. Las evaluaciones del estudio abordaron aspectos económicos, a través del modelo de presupuesto parcial y el ratio de beneficio-costos marginal (BCM); sociales, mediante el modelo de cambio de excedentes económicos; y ambientales, a través del cociente de impacto ambiental. Respecto a la evaluación económica, se evidenció que esta tecnología incrementaría el margen bruto de utilidad de los agricultores en Perú (92.7%), Ecuador (82.5%), y Bolivia (49%), con un BCM promedio esperado de 1.15. Con respecto a la evaluación social, la biotecnología en maíz amarillo duro en la región mejorará el bienestar de los agentes económicos, donde el valor actual del cambio de excedentes económicos de la sociedad asciende a US\$ 732 millones para Perú, US\$ 962 millones para Ecuador y US\$ 288 millones para Bolivia. Los beneficios gubernamentales son notables, con un Valor Actual Neto resulta positivo para Perú (US\$ 728 millones), Ecuador (US\$ 959 millones) y Bolivia (US\$ 285 millones), y Tasas Internas de Retornos que superan las tasas sociales de descuento en los tres países. En cuanto a la evaluación ambiental, se estima una reducción del impacto ambiental en Perú (63.4%), Ecuador (54.7%) y Bolivia (66.9%) entre 2023 y 2038. Finalmente, se propone difundir información sobre las bondades de adopción de esta tecnología e implementar programas para fortalecer la competitividad de la Comunidad Andina en este cultivo.

Palabras clave: Biotecnología, evaluación ex-ante, bienestar, cociente de impacto ambiental, excedentes económicos, maíz amarillo duro.

ABSTRACT

Biotechnology has the potential to increase agricultural productivity, contribute to social welfare and mitigate environmental damage caused by conventional technologies. It highlights the need to implement this new technology in the cultivation of hard yellow maize (MAD), which is essential for the animal feed industry in the Andean Community. In this context, the study assessed the impact of the adoption of biotechnology applied to seeds in the cultivation of MAD in these countries. The evaluations of the study addressed economic aspects, through the partial budget model and the marginal benefit-cost ratio (BCM); social aspects, through the economic surplus change model; and environmental aspects, through the environmental impact quotient. Regarding the economic evaluation, it was found that this technology would increase the gross profit margin of farmers in Peru (92.7%), Ecuador (82.5%), and Bolivia (49%), with an expected average BCM of 1.15. With respect to the social evaluation, biotechnology in hard yellow maize in the region will improve the welfare of economic agents, where the present value of the change in economic surplus of society amounts to US\$ 732 million for Peru, US\$ 962 million for Ecuador, and US\$ 288 million for Bolivia. Government benefits are remarkable, with Net Present Value positive for Peru (US\$ 728 million), Ecuador (US\$ 959 million) and Bolivia (US\$ 285 million), and Internal Rates of Return exceeding social discount rates in all three countries. In terms of environmental assessment, a reduction of environmental impact is estimated in Peru (63.4%), Ecuador (54.7%) and Bolivia (66.9%) between 2023 and 2038. Finally, it is proposed to disseminate information on the benefits of adopting this technology and to implement programs to strengthen the competitiveness of the Andean Community in this crop.

Keywords: Biotechnology, ex-ante evaluation, welfare, environmental impact quotient, economic surplus, hard yellow maize.

I. INTRODUCCIÓN

La adopción de avances en ciencia y tecnología, así como la inversión en investigación y desarrollo (I+D), se han vinculado positivamente con el impulso del crecimiento económico y la promoción del progreso social, particularmente en la competitividad del sector agrícola (Xiong *et al.* 2020, Zayas 2018, IICA 2014). Este vínculo, además, se manifiesta en naciones desarrolladas y en aquellas en vías de desarrollo (Takahashi *et al.* 2020, Magruder 2018).

La interconexión entre la innovación tecnológica y el sector agrícola es fundamental para abordar los desafíos alimentarios y ambientales que enfrenta la humanidad (Andrade *et al.* 2020, Cameira y Santos-Pereira 2019, Sayer y Cassman 2013). En este sentido, la adopción de nuevas tecnologías en el sector agrícola tiene el potencial de impulsar la viabilidad económica, social y ambiental de los cultivos, en aspectos como el incremento de los rendimientos productivos, de los ingresos de los productores, la gestión óptima de recursos, incremento de la calidad de los productos, la seguridad alimentaria y la reducción de la huella ambiental (Fuglie *et al.* 2020, Shilomboleni y De-Plaen 2019).

Surge, por tanto, la necesidad de incorporar tecnologías en el proceso productivo que contribuyan a aumentar la productividad y resistencia de los cultivos ante plagas y condiciones climáticas adversas, reducir los costos de producción, incrementar el bienestar de la población y reducir el impacto en el ambiente (Ghaffar *et al.* 2022, Aguilar *et al.* 2019).

De manera particular, la biotecnología en la agricultura desempeña un rol importante en el mejoramiento de cultivos (Kumar 2020). La introducción y comercialización de semillas tratadas con biotecnología resistentes a insectos (IR, por sus siglas en inglés) y tolerantes a herbicidas (HT, por sus siglas en inglés) han contribuido de manera notable a la mejora en el control de las plagas que afecten a los cultivos, a reducir los costos productivos, y al desarrollo de variedades de cultivos con mayor rendimiento, resistencia al estrés biótico y abiótico, resultando en productos de alta calidad (Barrows *et al.* 2014, Pixley 2019).

Uno de los cultivos que se encuentra en la vanguardia de la adopción de la biotecnología en su proceso productivo es el maíz amarillo (Carzoli *et al.* 2018). El maíz amarillo duro es uno de los cultivos agrícolas cruciales a nivel global (FAO 2022) y de gran importancia económica para las industrias de alimentos mundialmente, con relevancia socioeconómica y ambiental en el mundo (Mohanty y Swain 2019, García-Lara y Serna-Saldivar 2019). En este contexto, los avances en ingeniería genética han permitido la creación de variedades de maíz genéticamente modificado con características específicas que han transformado la agricultura en diversos contextos (Kausch *et al.* 2021, Kumar *et al.* 2020, Begna 2020).

Los maíces Bt, en particular, fueron diseñados para resistir a plagas devastadoras, como el gusano de la raíz del maíz (rootworm o *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) y el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), así como para adaptarse a diversos ecosistemas, con un impacto positivo en términos económicos, sociales y ambientales (Kumar *et al.* 2020, Begna 2020, Tanumihardjo 2019). En efecto, a nivel global los agricultores que han adoptado estas variedades han experimentado incrementos en rendimientos, reducción en el uso de pesticidas y mejoras en la calidad del grano (Sharma *et al.* 2022, Kausch *et al.* 2021). Sin embargo, la adopción de estas tecnologías también ha generado debates relacionados con aspectos de seguridad alimentaria y propiedad intelectual (Caradus 2022, Vega-Rodríguez *et al.* 2022) o temores a resistencia de los insectos a las proteínas cry del *Bacillus thuringiensis* lo cual ha sido refutado por investigaciones que señalan efectos benéficos en líneas endogámicas de maíz transgénico (Manjunath 2020, Bhatti *et al.* 2023).

Así, la adopción de la biotecnología en el cultivo de maíz en países de la Comunidad Andina -Perú, Ecuador, Bolivia y Colombia- ha sido un tema de debate, lo cual ha ocasionado que algunos países avanzaran en la adopción de cultivos genéticamente modificados, mientras que otros han mantenido una posición más cautelosa debido a preocupaciones sobre impactos en la salud humana y la biodiversidad oriunda de las naciones (Chang-Huayanca 2020, Bravo 2017, Murcia-Melo 2016, Castaño-Hernández 2015, Gabriel 2014).

Específicamente, en Colombia se ha implementado la regulación y adopción de maíz genéticamente modificado con características de resistencia a insectos, como una estrategia para reducir el uso de pesticidas químicos y mejorar la producción (Ministerio de Salud y Protección Social 2011).

Por el contrario, Ecuador ha mantenido una postura más restrictiva, prohibiendo la introducción de cultivos transgénicos en su territorio (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2010).

En Perú la discusión sobre biotecnología en el maíz ha sido amplia. Dado que el país es el centro de origen de diversas variedades de maíz, la adopción de transgénicos ha enfrentado preocupaciones e incertidumbre sobre impactos en la biodiversidad y los efectos en las semillas tradicionales (Ministerio del Ambiente 2021). En Bolivia la situación fue similar, caracterizada por debates y preocupaciones en relación a los cultivos genéticamente modificados; no obstante, al igual que en Perú y Ecuador, han surgido avances científicos y experiencias piloto para evaluar su viabilidad y el potencial impacto (Gaceta Oficial de Bolivia 2020).

Además de las consideraciones regulatorias y políticas en cuanto a la adopción de la biotecnología, es importante señalar que los tres países de la Comunidad Andina enfrentan desafíos en común en la producción de maíz amarillo debido a plagas tropicales específicas de la región. Entre estas, el gusano cogollero emerge como una plaga que amenaza los rendimientos productivos de maíz en estas naciones (Ramírez-Cabral *et al* 2020, EFSA Panel on Plant Health *et al.* 2017). La presencia persistente de esta plaga tiene repercusiones adversas tanto en la productividad como en el bienestar económico de los agricultores y los consumidores (Overton *et al.* 2021). En un esfuerzo por combatir esta amenaza, los agricultores recurren al uso intensivo de agroquímicos, lo que plantea un riesgo para la sostenibilidad ambiental de la región, además de la sostenibilidad económica de los agricultores y sus comunidades por los elevados costos (Blanco *et al.* 2016).

Ante la necesidad de incrementar la rentabilidad y productividad del cultivo, aumentar el nivel de bienestar de los agentes económicos y reducir el impacto de agroquímicos en el ambiente, surge la necesidad de llevar a cabo una evaluación económica, social y ambiental. Por tanto, la presente investigación está orientada a realizar una evaluación ex – ante de las potencialidades económicas, sociales y ambientales esperadas derivadas de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina. Por consiguiente, se plantean como preguntas de investigación: ¿Cuál será el impacto económico, social y ambiental esperado de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina?

En cuanto a las preguntas de investigación específicas: A nivel de los productores ¿cuál será el impacto esperado en la rentabilidad agrícola a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro? A nivel de la sociedad, ¿cuál será el impacto esperado en el bienestar social a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro? A nivel ambiental, ¿cuál será el impacto esperado en la calidad ambiental a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro?.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Determinar el impacto económico, social y ambiental esperados a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina.

1.1.2 Objetivos específicos

OE1. Determinar, a corto plazo, el impacto esperado en la rentabilidad agrícola a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina, empleando el Método de Presupuesto Parcial.

OE2. Analizar, a largo plazo, el impacto esperado en el bienestar social a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina, empleando la Metodología de Excedentes Económicos.

OE3. Evaluar, a largo plazo, el impacto esperado en la calidad ambiental a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina, empleando el Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ).

1.2 JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se justifica por la necesidad de abordar los desafíos actuales que enfrentan los países de la Comunidad Andina en cuanto a la producción de maíz amarillo y el impacto socioeconómico y ambiental que genera. La adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo presenta una potencial solución a problemas como el ataque de plagas, los bajos rendimientos productivos y el uso excesivo de agroquímicos. Problemas que, de mantenerse, inciden negativamente en la rentabilidad económica de los agricultores, el bienestar de los agentes económicos involucrados y la calidad ambiental.

En la Comunidad Andina resulta imperativo considerar nuevas estrategias que permitan aumentar la productividad del cultivo y la calidad del producto, dado que en esta región el maíz amarillo es un insumo de amplia importancia socioeconómica y ambiental, principalmente utilizado en la preparación de alimentos balanceados en la industria avícola y porcícola. Al respecto, la adopción de biotecnología tendría la potencialidad de incrementar la rentabilidad del cultivo, el bienestar tanto de consumidores y productores, así como reducir la dependencia de agroquímicos que impactan en la calidad ambiental.

Asimismo, al evaluar los beneficios socioeconómicos y ambientales de la adopción de biotecnología en el maíz amarillo, se busca proporcionar a los tomadores de decisiones, información confiable para orientar políticas que promuevan el bienestar de la población y la competitividad en el mercado global. Además, esta investigación busca llenar un vacío en la literatura científica y contribuir al conocimiento existente dado el limitado número de investigaciones específicas sobre la adopción de biotecnología en este cultivo en la Comunidad Andina.

La investigación se centra en analizar los beneficios socioeconómicos y ambientales de la aplicación de biotecnología en el cultivo de maíz, para lo cual se utiliza el modelo de presupuesto parcial y el modelo de excedentes económicos, bajo un análisis prospectivo y en un entorno probabilístico, así como el modelamiento del Cociente de Impacto Ambiental (EIQ, por sus siglas en inglés). Dichos modelos contribuirán en los pronósticos a corto y largo plazo sobre el impacto de la biotecnología en la sociedad y a nivel ambiental.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Evaluación de impacto socioeconómico y ambiental

La evaluación de impacto de un proyecto implica la identificación, descripción y, si es posible, cuantificación de todos los efectos relevantes que dicho proyecto o política puede generar. Estos efectos se consideran positivos cuando contribuyen de manera favorable al logro del proyecto, y se catalogan como negativos en caso contrario. El propósito de la evaluación de impacto es medir y determinar el alcance de un proyecto o política en su entorno (Weißhuhn *et al.* 2018).

Siguiendo a Van-Huylenbroeck *et al.* (1996) y Joly *et al.* (2016), para cuantificar estos efectos se pueden emplear diversas técnicas. En cuanto a la evaluación del impacto económico, esta se enfoca en medir la contribución del proyecto a la economía de los agentes económicos involucrados, utilizando herramientas como el análisis costo-beneficio. Por otro lado, la evaluación de impacto social se centra en los efectos del proyecto en la equidad, la distribución y el bienestar de la sociedad. Mientras que la evaluación de impacto ambiental se centra en evaluar los efectos positivos o negativos del proyecto en el medio ambiente. Es importante destacar que cada una de estas evaluaciones ofrece una visión parcial de los efectos totales del proyecto. La comparación e integración de estos análisis proporciona una visión más integral que permite determinar si el proyecto tiene un impacto suficientemente positivo como para llevarse a cabo (Agostini *et al.* 2021, Król-Badziak *et al.* 2021, Van-Huylenbroeck *et al.* 1996).

En el contexto específico de esta investigación, la evaluación económica se basa en analizar los efectos económicos de la adopción de la biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro. Se evalúan indicadores como los márgenes de ganancia y la rentabilidad del cultivo con la nueva tecnología. La dimensión social evalúa cómo la adopción de la biotecnología impactará en el bienestar de los agentes involucrados. Mientras que la dimensión ambiental evalúa cómo la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro influye en la calidad ambiental, cuyo foco es la reducción del uso de agroquímicos y busca determinar si la tecnología contribuye a la protección del medio ambiente o si plantean riesgos ambientales.

2.1.2. Evaluación de impacto ex – ante en la actividad agrícola

La evaluación de impacto ex ante es un proceso de análisis y valoración que se efectúa previamente a la ejecución de un proyecto, política, programa o tecnología según Andrade *et al.* (2019). El objetivo de la evaluación radica en la anticipación y determinación de los resultados potenciales y los efectos esperados de una acción planificada, así como identificar los riesgos y los desafíos que puedan surgir en su ejecución. En el contexto agrícola, a decir de Ashok *et al.* (2019), la evaluación de impacto ex – ante asume un rol significativo al valorar el potencial efecto de la adopción generalizada de una nueva tecnología en el desempeño del sistema agrícola. Esta evaluación abarca aspectos como el rendimiento, los ingresos, los costos y otros indicadores relevantes. Su propósito esencial consiste en orientar y ampliar las intervenciones tecnológicas, proporcionando información crucial para la toma de decisiones.

Siguiendo a Demont *et al.* (2008) y Wesseler y Zilberman (2021), en el caso específico de las evaluaciones de impacto relacionadas con la adopción de biotecnología en la agricultura, se requieren datos de los que aún no se encuentran disponibles. Para abordar esta incertidumbre, se recurre a técnicas de simulación estocástica, que permiten realizar un análisis cuantitativo de los riesgos involucrados. Estas técnicas son fundamentales para estimar los posibles impactos de diferentes escenarios que podrían surgir debido a eventos inciertos, como cambios en los costos, los rendimientos y otros factores relevantes.

En resumen, la evaluación de impacto ex ante es una herramienta esencial en la planificación y toma de decisiones, especialmente en el ámbito agrícola. Proporciona un enfoque estructurado y cuantitativo para anticipar y comprender los efectos potenciales de las acciones planificadas, al mismo tiempo que aborda la incertidumbre asociada a la falta de datos disponibles.

2.1.3. Análisis cuantitativo de riesgos en la actividad agrícola

Considerando lo mencionado por Gupta y Thakkar (2018), un análisis cuantitativo de riesgos consiste en un proceso sistemático que utiliza herramientas y técnicas estadísticas para evaluar y medir los riesgos potenciales asociados a una determinada actividad o proyecto. Su principal objetivo es identificar, cuantificar y comprender los diferentes tipos de riesgos que pueden surgir en un escenario específico, permitiendo así tomar decisiones informadas y desarrollar estrategias de mitigación adecuadas.

En el contexto de la actividad agrícola, la implementación de un análisis cuantitativo de riesgos es fundamental debido a la naturaleza inherente de los riesgos en esta área (Dong *et al.* 2016). Al respecto, los agricultores se enfrentan a números factores de incertidumbre, como las condiciones climáticas, las fluctuaciones en los precios de los insumos agrícolas y la disponibilidad de los recursos. Estos riesgos pueden tener un impacto sustancial en los rendimientos agrícolas, los costos de producción y la rentabilidad de las operaciones agrícolas (Behzadi *et al.* 2018).

En el contexto específico de la presente investigación, la implementación de un análisis cuantitativo de riesgos adquiere una relevancia crucial. Dado que se busca evaluar el impacto de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina, es esencial considerar y cuantificar los riesgos potenciales asociados a esta tecnología. Al realizar un análisis cuantitativo de riesgos, se podrá ofrecer una evaluación más completa y precisa de los posibles desafíos y oportunidades que enfrentarán los agricultores y las comunidades locales en este contexto, lo que contribuirá a una toma de decisiones más informada y a una planificación estratégica eficaz para el desarrollo sostenible de la agricultura en la Comunidad Andina.

2.2. ANTECEDENTES

2.2.1. Mercado de maíz amarillo a nivel mundial

a. Producción mundial de maíz amarillo

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ha informado que, tras la recuperación de los niveles de producción posteriores a la pandemia de COVID-19, el año 2021 se caracterizó por un notable incremento del 7.95% en la producción global de maíz amarillo en comparación con el año 2020. No obstante, este crecimiento no se mantuvo en el año 2022, ya que la producción mundial de maíz amarillo experimentó una disminución del 5.23% con respecto a los datos productivos del año anterior (USDA 2023). Esta disminución puede atribuirse en gran medida a la reducción de la producción de maíz en Ucrania, uno de los principales países productores de este cultivo, debido al conflicto con Rusia.

Hacia mediados de 2023, el USDA proyectó un aumento esperado del 5.15% en la producción de maíz en comparación con el año 2022, impulsado por aumentos en la producción de los principales países productores, entre los que se destacan Estados Unidos, China y la Unión Europea. Estados Unidos, en particular, el principal productor mundial de maíz amarillo duro, se espera que experimente el mayor incremento en su producción, con un incremento del 11.2% con respecto a la campaña anterior (Weinraub 2023). Se prevé que las condiciones agrometeorológicas favorables contribuirán al desarrollo de los cultivos y a un aumento en los rendimientos.

Es importante destacar que, a fines de 2023, USDA (2023) identificó a Estados Unidos, Brasil y China como principales líderes en la producción mundial de maíz amarillo, que en conjunto aportaron el 65% de la producción global. La producción proyectada de maíz amarillo en los países de la Comunidad Andina, especialmente de Ecuador (1,500 millones de toneladas), Perú (1,500 millones) y Bolivia (1,125 millones), los sitúa en los puestos 43, 44 y 49, respectivamente con una producción conjunta de 4,125 millones de toneladas, poco más del 0.33% de la producción mundial. Es importante tener en cuenta que esta proyección está sujeta a las condiciones hidrometeorológicas, ya que el escenario crítico del Fenómeno del Niño tiene el potencial de alterar las condiciones climáticas a nivel global y afectar la producción de los cultivos agrícolas. La Tabla 1 muestra la producción de maíz amarillo duro por países.

Tabla 1. Producción mundial de MAD por países (Miles de toneladas)

Países / Campañas	2019	2020	2021	2022	2023*
Total Mundo	1,123,118	1,128,968	1,218,712	1,154,992	1,214,473
1 Estados Unidos	345,962	358,447	382,893	348,369	382,654
2 China	260,779	260,670	272,552	277,200	277,000
3 Brasil	102,000	87,000	116,000	137,000	129,000
4 Unión Europea	66,742	67,440	71,519	52,229	59,700
5 Argentina	51,000	52,000	49,500	34,000	55,000
6 India	28,766	31,647	33,730	36,000	34,300
7 Ucrania	35,887	30,297	42,126	27,000	28,000
8 México	26,658	27,346	26,762	28,000	27,400
43 Ecuador	1,480	1,305	1,699	1,641	1,500
44 Perú	1,463	1,565	1,549	1,535	1,500
49 Bolivia	955	1,250	986	1,100	1,125
Otros					

* Estimado

Fuente: Elaborado con base en USDA 2023.

b. Consumo mundial de maíz amarillo

De acuerdo con el informe del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA 2023), se anticipa un aumento del consumo mundial de maíz en el año 2023, con un incremento del 2.8%, equivalente a un total de 1,193 millones de toneladas de consumo, lo que representa un aumento de 32.5 millones de toneladas en comparación con el año 2022. Este incremento se atribuye a la expansión del consumo en Estados Unidos (1.7%), China (1.7%), la Unión Europea (4%), y Brasil (2.9%), principalmente. Se espera que el aumento en el consumo sea impulsado por una mayor demanda generada por las operaciones de comercio internacional en el mundo (USDA 2023).

Estados Unidos, como líder en la producción mundial, también ostenta la posición de ser el principal consumidor de maíz, con un consumo estimado de 312.8 millones de toneladas, lo que representa el 26.2% del consumo global. Por su parte, China continúa siendo el segundo consumidor a nivel mundial, con un 25.5% del consumo total y una tendencia al alza para el año 2023, con un consumo proyectado de 304 millones de toneladas, es decir, un aumento del 1.7% en comparación con el período anterior. A pesar de esta cifra, el consumo en China sigue superando su producción, lo que requiere la utilización de sus reservas y la realización de importaciones. Es relevante destacar que Estados Unidos y China, en conjunto, representan el 51.7% del consumo global de maíz (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Consumo doméstico mundial de MAD por países (Miles de toneladas)

Países / Campañas	2019	2020	2021	2022	2023*
Total Mundo	1,133,619	1,145,430	1,180,378	1,160,906	1,193,380
1 Estados Unidos	309,504	306,687	317,089	307,553	312,816
2 China	278,000	285,000	291,000	299,000	304,000
3 Unión Europea	79,000	77,700	81,700	76,400	79,500
4 Brasil	68,500	70,000	70,500	75,300	77,500
5 México	43,800	43,800	44,000	45,500	45,700
6 India	27,200	27,850	30,000	32,500	31,000
7 Japón	15,950	15,450	15,040	15,000	15,500
8 Canadá	13,958	13,976	17,984	15,022	15,200
27 Perú	5,350	5,410	5,020	4,910	5,125
54 Ecuador	1,485	1,435	1,875	1,785	1,685
62 Bolivia	1,000	1,200	1,050	1,100	1,125
Otros					

* Estimado

Fuente: Elaborado con base en USDA 2023.

En relación al consumo interno de maíz en los países de la Comunidad Andina, los datos indican que, en la mayoría de los años, los tres países consumieron cantidades superiores a las producidas a nivel nacional. En 2021, estos tres países en conjunto consumieron aproximadamente 7,945 miles de toneladas de maíz, mientras que en 2022, el consumo disminuyó a 7,795 miles de toneladas, lo que equivale a una disminución de aproximadamente 1.88%. Para el año 2023, se proyecta un consumo esperado de 7,935 miles de toneladas en estos tres países, lo que representa un incremento del 1.79%.

c. Precios internacionales de maíz amarillo

A partir del segundo semestre de 2020, tras el cese de las medidas restrictivas del comercio adoptadas a raíz de la crisis sanitaria mundial del COVID-19, los precios internacionales del maíz amarillo duro han experimentado un aumento constante. Esta subida de los precios se vio impulsada por la mayor demanda de los países y la reactivación del comercio mundial. La trayectoria ascendente de los precios del maíz amarillo duro se mantuvo a lo largo de 2021 y 2022, alcanzando valores máximos notables en mayo de 2021. En ese momento, los precios llegaron a ascender a 312 dólares por tonelada para el maíz estadounidense del Golfo y a 270 dólares por tonelada para el maíz argentino, en respuesta a las importantes compras realizadas por China.

Un acontecimiento crucial tuvo lugar en el primer trimestre de 2022, cuando el conflicto entre Rusia y Ucrania exacerbó aún más el aumento de los precios. En marzo de 2022, los precios internacionales alcanzaron su punto más alto en una década, con el maíz estadounidense del Golfo cotizando a 359 dólares por tonelada y el maíz argentino a 336 dólares por tonelada. Subsecuentemente, los precios han fluctuado de acuerdo a las cosechas estacionales. Así, en octubre de 2022, el maíz estadounidense del Golfo y el argentino volvieron a cotizar a 352 y 308 dólares por tonelada, respectivamente.

No obstante, los pronósticos de una mayor producción mundial están provocando un nuevo descenso de los precios. Así, durante el primer cuatrimestre del año 2023, se evidencia un continuo descenso (Figura 1). En abril de este año, el maíz del Golfo USA se cotizaba a 294 dólares por tonelada y el maíz argentino a 281 dólares por tonelada, mostrando una tendencia a la baja en los últimos seis meses; así, ambos precios representan 11,1% y 17,4% menos, respectivamente, en comparación con el mismo mes del año 2022 (ODEPA 2023, FAO 2023).

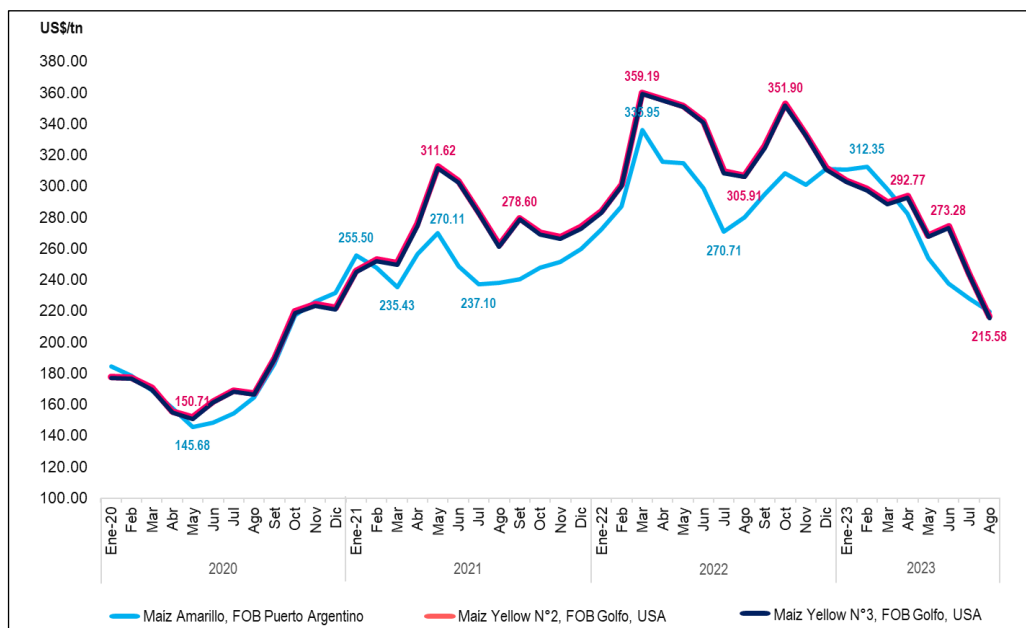


Figura 1. Precios internacionales de MAD según mercado (2020-2023)

Fuente: Elaborado con base en ODEPA 2023.

2.2.2. Mercado de maíz amarillo a nivel de la Comunidad Andina

a. Producción de maíz amarillo en la Comunidad Andina

Durante el período comprendido entre 2015 y 2022, la producción promedio de maíz amarillo duro en la Comunidad Andina se mantuvo en un nivel cercano a las 3.3 millones de toneladas. La oferta total de maíz amarillo duro en la Comunidad Andina en el año 2022 se compone de las contribuciones de tres países: Perú, Ecuador y Bolivia. Estos países representan aproximadamente el 32%, 47% y 21% respectivamente de la oferta total de la Comunidad Andina (FAO 2023).

Además, es fundamental destacar que el comportamiento de la producción de maíz amarillo duro en la Comunidad Andina exhibe una marcada variabilidad en los últimos años (ver Figura 2). Considerando la información de las instituciones gubernamentales de agricultura de cada país, en el período comprendido entre 2015 y 2016, se registró una disminución del 18% en la producción, lo que constituyó un desafío importante para los agricultores de la región. Sin embargo, a partir del año 2016 y hasta el 2019, se observó un promedio de aumento del 6% en la producción, indicando una fase de recuperación en el sector agrícola (MIDAGRI 2023, MINAG 2023, INE 2023).

No obstante, este período de crecimiento se vio interrumpido por la pandemia del COVID-19 en el año 2020, que ocasionó una caída del 14% en la producción de maíz amarillo duro, afectando la estabilidad económica y la seguridad alimentaria de la región. Sin embargo, es alentador destacar que en el año 2021 se experimentó una reactivación productiva notable, con un incremento del 21% en la producción, lo que indica la resiliencia y adaptabilidad de la agricultura en la Comunidad Andina (MIDAGRI 2023, MINAG 2023, INE 2023).

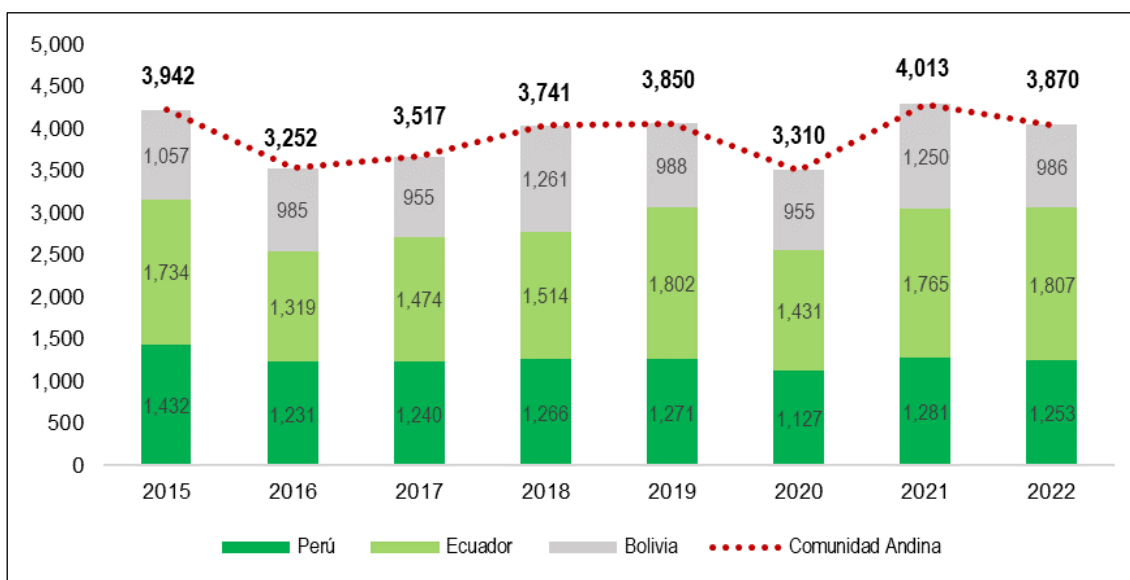


Figura 2. Producción de MAD en la Comunidad Andina (miles de toneladas)

Fuente: Elaborado con base en MIDAGRI 2023, INE 2023 y MINAG 2023.

b. Superficie de maíz amarillo en la Comunidad Andina

El promedio de superficie cosechada de maíz amarillo duro durante el periodo 2015-2022 a nivel de la Comunidad Andina estuvo alrededor de 963 miles de hectáreas. Donde la superficie cosechada de la Comunidad Andina, al año 2022, está constituida por la Perú, Ecuador y Bolivia, que representan alrededor del 27%, 30% y 43%, respectivamente.

De acuerdo con MIDAGRI (2023), INE (2023) y MINAG (2023), es importante destacar que, al igual que los niveles de producción, el comportamiento de la superficie cosechada de maíz amarillo duro en la Comunidad Andina ha mostrado una notable variabilidad en los últimos años (ver Figura 3). Durante el período que abarca desde 2015 hasta 2016, se observó una marcada disminución del 14% en la superficie cosechada, lo que planteó desafíos notables para los agricultores de la región.

Posteriormente, entre 2016 y 2019, se experimentaron ligeros incrementos en la superficie cosechada, con un promedio del 4%, indicando una tendencia de crecimiento en la expansión de la siembra. Esta tendencia se vio interrumpida en el año 2020, cuando se registró una disminución del 8% en la superficie cosechada. No obstante, se observan signos de una recuperación en la superficie cosechada para el año 2021, con un ligero incremento del 6% (MIDAGRI 2023, MINAG 2023, INE 2023).

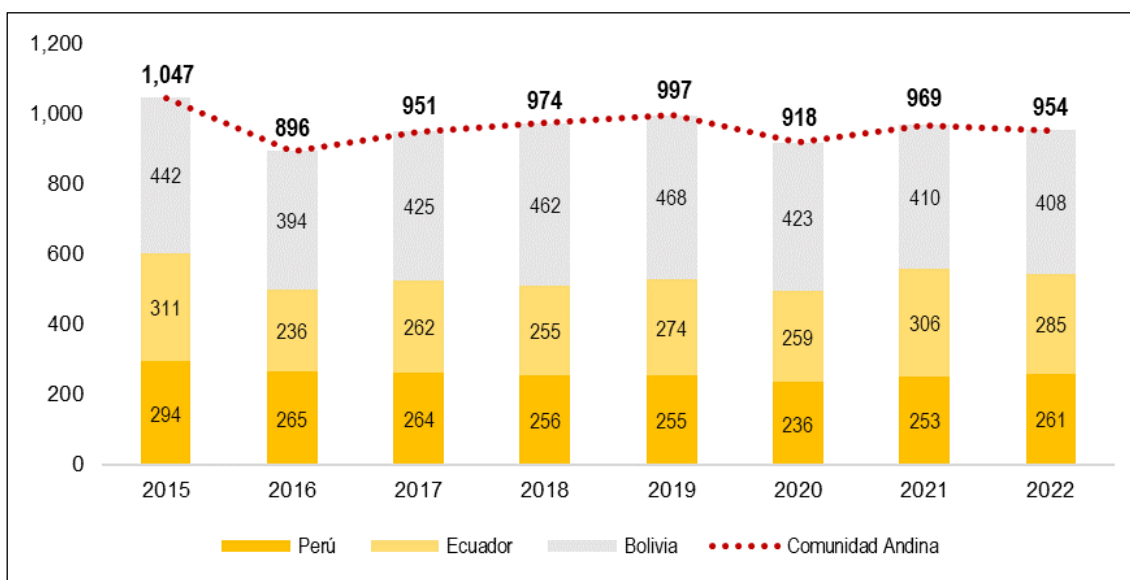


Figura 3. Superficie cosechada de MAD en la Comunidad Andina (miles de hectáreas)

Fuente: Elaborado con base en MIDAGRI 2023, INE 2023 y MINAG 2023.

c. Rendimientos de maíz amarillo en la Comunidad Andina

En el lapso comprendido entre 2015 y 2022, la productividad del cultivo de maíz amarillo en la Comunidad Andina se situó en aproximadamente 4.42 t/ha. Al respecto, el año 2019 sobresale como el de mayor rendimiento, registrando un promedio de 4.68 t/ha en los tres países que conforman la Comunidad Andina (MIDAGRI 2023, MINAG 2023, INE 2023).

Es relevante destacar que los tres países experimentaron fluctuaciones en sus rendimientos productivos, evidenciando tanto incrementos notables como descensos sustanciales (ver Figura 4). Por su parte, Ecuador se distinguió por mantener el rendimiento más alto a lo largo de todo el periodo, con un promedio de 5.86 t/ha, del cual se espera una recuperación en los próximos años, impulsada por la reactivación económica en el país.

En contraste, Bolivia, con un promedio de 2.46 t/ha durante el mismo periodo, presentó rendimientos que no superaron las 3 t/ha. Esto refleja el escaso uso de tecnologías para mejorar la productividad por hectárea cultivada, aspecto que se evidencia en la drástica disminución en el rendimiento productivo al año 2022 debido a la caída en el sector de la agricultura mecanizada en Santa Cruz, una de las principales regiones productoras del cultivo (ANAPO 2022).

En el caso de Perú, con un rendimiento promedio de 4.93 t/ha durante el periodo mencionado, se destaca como el país con una tendencia bastante similar a la de la Comunidad Andina. El país experimentó un incremento sustancial entre los años 2017 y 2019; no obstante, en el año 2020 se observó una paralización del dinamismo en sus principales regiones productoras. Este fenómeno se explica por el retraso en las siembras, causado por la falta de disponibilidad de agua en los reservorios y caudales de los valles, así como por condiciones climatológicas desfavorables que no propiciaron el cultivo (MIDAGRI 2020).

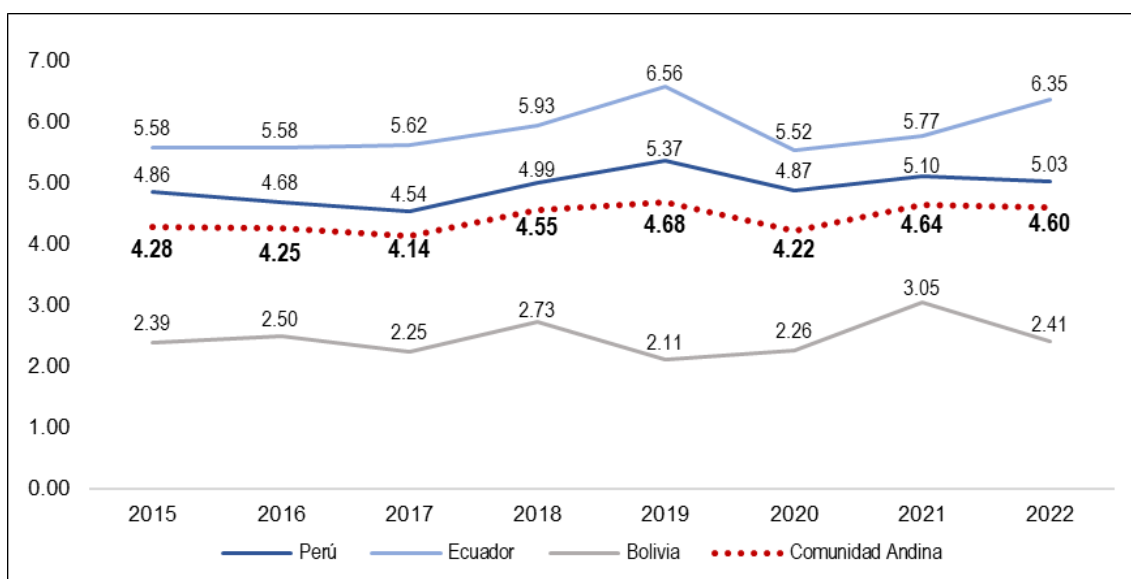


Figura 4. Rendimiento de MAD en la Comunidad Andina (t/ha)

Fuente: Elaborado con base en MIDAGRI 2023, INE 2023 y MINAG 2023.

d. Principales regiones productoras de maíz amarillo y costos de producción en la Comunidad Andina

En el contexto de la presente investigación, se identificaron las principales regiones productoras, destacando aquellas con un rendimiento significativo por hectárea al año 2022. La selección de estas regiones se basó en criterios que incluyeron la altitud y el tipo de clima, con el objetivo de asegurar la homogeneidad en la evaluación.

En el caso de Perú, de acuerdo con MIDAGRI (2023), se distinguen las siguientes regiones por su destacada producción de maíz amarillo duro: Ica, con 170,331 toneladas (13.6 por ciento de la producción nacional), y Lima, con 143,759 toneladas (11.5 por ciento). Las provincias representativas de Lima fueron Huaura y Cañete. A continuación, en la Tabla 3 se presentan los costos de producción de las regiones representativas, con precios en dólares americanos actualizados al año 2023.

Tabla 3. Costos de producción en las regiones representativas de Perú (US\$/ha)

Rubros	Cañete	Huaura	Ica
Semilla	80.60	124.80	110.50
Fertilizantes	662.58	825.76	438.52
Pesticidas específicos	107.64	58.24	70.72
Pesticidas multipropósito	20.80	12.61	5.46
Mano de obra	526.50	362.70	375.70
Maquinaria agrícola y equipo	127.40	85.28	158.60
Otros gastos	15.86	80.86	337.22
Costos directos	1,541.38	1,550.25	1,496.72
Costos indirectos	77.07	77.51	73.06
Costo total de producción	1,618.45	1,627.76	1,569.78
Rendimiento (kg)	9,500.00	9,000.00	10,000.00
Precio Promedio (US\$)	0.22	0.22	0.25

Fuente: Elaborado con base en MIDAGRI 2023.

En Ecuador, de acuerdo con MAG (2023), sobresalen las regiones que aportaron de manera significativa a la producción de maíz amarillo: Los Ríos, con 665,520 toneladas (36.8%), Manabí, con 648,170 toneladas (35.9%), y Guayas, con 234,908 toneladas (13%). A continuación, en la Tabla 4 se presentan los costos de producción de las regiones representativas, con precios actualizados al año 2023.

Tabla 4. Costos de producción en las regiones representativas de Ecuador (US\$/ha)

Rubros	Guayas	Los Ríos	Manabí
Semilla	27.00	36.00	20.80
Fertilizantes	294.00	391.00	392.56
Pesticidas específicos	31.75	67.95	72.65
Pesticidas multipropósito	16.00	39.20	16.34
Mano de obra	728.80	491.00	536.00
Maquinaria agrícola y equipo	0.00	173.00	150.00
Otros gastos	96.00	0.00	0.00
Costos directos	1,193.55	1,198.15	1,188.35
Costos indirectos	73.06	385.99	263.81
Costo Total de producción	1,266.61	1,584.13	1,452.16
Rendimiento (kg)	4,670.00	6,300.00	5,570.00
Precio Promedio (US\$)	0.33	0.34	0.35

Fuente: Elaborado con base en MINAG 2023.

En complemento, de acuerdo con el INE (2023), Bolivia presenta regiones destacadas en su producción de maíz amarillo duro, siendo Santa Cruz la líder con 426,415 toneladas (52.6% del total), seguida por Tarija con 148,660 toneladas (18.3%) y Chuquisaca con 62,072 toneladas (8%). En la Tabla 5 se presentan los costos de producción de las regiones representativas, con precios actualizados al año 2023.

Tabla 5. Costos de producción en las regiones representativas de Bolivia (US\$/ha)

Rubros	Santa Cruz	Chuquisaca	Tarija
Semilla	35.00	56.00	103.04
Fertilizantes	67.20	67.20	50.40
Pesticidas específicos	18.65	18.65	31.22
Pesticidas multipropósito	30.63	30.63	11.20
Mano de obra	33.60	33.60	56.00
Maquinaria agrícola y equipo	196.00	191.10	219.10
Otros gastos	56.00	56.00	56.00
Costos directos	437.08	453.18	526.96
Costos indirectos	34.53	35.80	41.63
Costo Total de producción	471.61	488.98	568.59
Rendimiento (kg)	4,000.00	3,600.00	3,200.00
Precio Promedio (US\$)	0.29	0.26	0.25

Fuente: Elaborado con base en INE 2023.

2.3. MARCO EMPÍRICO

2.3.1. Investigaciones previas a nivel internacional

El estudio de Macall y Smith (2020) presentan un análisis ex ante del impacto económico basado en los resultados de un ensayo de campo sobre el cultivo de maíz Bt en El Salvador, llevado a cabo entre 2009 y 2016. Los hallazgos indican que las semillas modificadas genéticamente con tecnología transgénica demostraron una reducción en la incidencia de plagas, lo que resultó en la eliminación de la necesidad de aplicar insecticidas, al tiempo que generaron incrementos en el rendimiento del cultivo del 18%. Además, mediante la utilización de un modelo de excedente económico y una proyección a diez años, el análisis sugiere que la adopción de esta tecnología conllevará un aumento en el bienestar de la sociedad salvadoreña, con un valor total descontado que se aproxima a más de mil millones de dólares.

A partir de información recolectada de productores de maíz en Honduras durante el periodo 2018 – 2019, el estudio de Macall *et al.* (2020) reflejó que los productores opinan positivamente sobre el cultivo de maíz transgénico. Entre las principales razones para optar por el maíz GM, se encuentran los mayores ingresos percibidos y la facilidad del uso del cultivo. Además, hace énfasis en la reducción en el número de aplicaciones necesarias de pesticidas que, al reducir hasta en un 100% el uso de pesticidas, tiene un impacto positivo en el medio ambiente.

Mediante un enfoque económico y ambiental, Ala-Kokko *et al.* (2021) realizaron un análisis económico y ambiental ex post resultado de la adopción de maíz GM en Sudáfrica, durante el periodo 2001 – 2018. Los resultados reflejan un incremento en el bienestar social equivalente a 694.7 millones de dólares; mientras que los beneficios ambientales generados se asocian a reducción en el daño ambiental por menor uso de agroquímicos equivalente a 0.34 dólares por hectárea, o 291,721 dólares al año.

Brookes (2019) evaluó los impactos económicos y ambientales surgidos de la adopción de maíz genéticamente modificado resistente a insectos (GM) en España y Portugal durante el periodo 1998 – 2019. Los resultados reflejan beneficios económicos para los agricultores de hasta 285 millones de euros, surgidos por incrementos en el rendimiento del cultivo y reducción del uso de insecticidas. Este último tuvo implicancias positivas en el impacto ambiental, el cual se redujo en un 21%.

Xie *et al.* (2017), con información extraída de ensayos productivos y entrevistas a expertos, estimaron los potenciales impactos económicos de la liberación de semillas de maíz transgénico resistente a insectos. Los hallazgos apuntan a incrementos en el rendimiento del cultivo, así como la reducción de costos asociados a pesticidas y mano de obra, producto del uso de la tecnología transgénica. En términos monetarios, los beneficios a nivel nacional equivaldrán a 8,600 millones de dólares; siendo los consumidores los mayores beneficiarios del cultivo de maíz GM.

2.3.2. Investigaciones previas a nivel de la Comunidad Andina

Diez *et al.* (2017) manifiestan que la liberación de semillas de maíz Bt resistente a insectos en la provincia de Barranca, región Lima, Perú, aumentaría la rentabilidad del cultivo en 923.40 soles por hectárea, equivalente a un incremento de 32% en comparación a la obtenida por la semilla convencional. Además, mediante la metodología de excedentes económicos, confirmaron que el uso de semillas Bt serán económicamente rentables a largo plazo, como resultado de incrementos en los excedentes económicos de productores, consumidores y de la sociedad en su conjunto, equivalentes a 8.1 millones de dólares.

Dada la importancia del uso de nuevas tecnologías en la agricultura en Perú, Maza *et al.* (2023) aplican el método de presupuesto parcial y el modelo de excedentes económicos, en un entorno determinístico y probabilístico del uso de semillas cisgénicas de papa en territorio peruano. Encontraron que la liberación de dichas semillas generará elevada rentabilidad a corto plazo, con incrementos esperados medios en el margen de producción de 11,009 soles por hectárea; mientras que, a largo plazo, confirman incrementos esperados en el excedente de la sociedad por el uso de la nueva semilla equivalente a 41,324 millones de soles.

En su estudio de la costa norte del Perú, Vasquez (2022) presentó una evaluación de la rentabilidad esperada a corto y largo plazo a partir de la liberación de semillas de maíz amarillo genéticamente modificado. A partir del modelo de presupuesto parcial y el modelo de cambios de excedentes económicos, el estudio reveló que la nueva tecnología en semillas generaría impactos positivos en la rentabilidad, entre estos, el aumento del margen de utilidad en 91.6% en comparación con el uso de la semilla convencional. Además, se proyectan beneficios positivos esperados tanto para los consumidores, productores y la sociedad en su conjunto, equivalente a S/ 340 millones.

La investigación de Reyna (2019) se centró en analizar las implicaciones económicas de la adopción de semillas mejoradas con la biotecnología *Bt* en el cultivo de maíz amarillo, dado el significativo papel socioeconómico que desempeña el cultivo en Ecuador, especialmente en la industria avícola y porcina, y considerando que los rendimientos se encuentran por debajo de la media global. Según los hallazgos, los pequeños productores experimentarían un aumento promedio del 59% en su margen de utilidad a corto plazo, así como un ratio de beneficio-costos de US\$ 0.15. Adicionalmente, a largo plazo, se anticipa un bienestar mejorado tanto para los consumidores como para los productores equivalente a US\$ 18,656 millones.

Reyes *et al.* (2022), realizaron una comparación económica y productiva entre los sistemas de producción de maíz amarillo de Ecuador y el maíz genéticamente modificado de Colombia. A partir de una simulación de productividad y beneficios esperados que podrían alcanzar los productores en un horizonte de diez años, encontraron que Ecuador podría producir más de 20 millones de toneladas de maíz duro y generar ingresos de más de 5.5 millones de dólares si adoptaran la tecnología transgénica. Por tanto, se concluye que la adopción de nuevas tecnologías, como el uso de semillas transgénicas, podría ofrecer mayores beneficios productivo-económicos para Ecuador.

El Instituto Boliviano de Comercio Exterior (2016) reveló que la adopción de soya transgénica en Bolivia entre 2005 y 2015 generó un aumento de 4 millones de hectáreas en la producción y un ahorro de 177 millones de dólares. Al respecto, la introducción de la variedad genéticamente modificada de soya promovió prácticas agrícolas sostenibles y disminuyó la aplicación de herbicidas. Percibidos estos beneficios, en el estudio se plantea que en caso se apruebe la aplicación de nuevos eventos biotecnológicos en el país, se podría obtener hasta 150 millones de dólares adicionales anuales, aumentar la producción de soya y maíz y reducir el uso de insecticidas y las emisiones de dióxido de carbono. En particular, la adopción de maíz transgénico podría disminuir el uso de herbicidas e insecticidas, aumentar la producción en 87 mil toneladas y evitar pérdidas, como las ocurridas por el ataque del gusano cogollero en 2016.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de la investigación es la Comunidad Andina, particularmente, los departamentos representativos en la producción de maíz amarillo duro en los países de Perú (Lima e Ica), Ecuador (Guayas, Los Ríos y Manabí) y Bolivia (Santa Cruz, Chuquisaca y Tarija). La selección de estos departamentos se llevó a cabo considerando criterios de altitud y clima, buscando una homogeneidad lo más representativa posible.

3.2. TIPO DE ESTUDIO

La investigación es de diseño cuantitativo no experimental y enfoque explicativo, ya que la investigación tiene como fin explicar y cuantificar los beneficios económicos, sociales y ambientales a partir de la aplicación de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo en los países de la Comunidad Andina.

3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN

El estudio utiliza fuentes de información secundaria. Se recolectó información secundaria mediante datos publicados por los Ministerios de Agricultura de los países de Perú, Ecuador y Bolivia. Así como información provista por instituciones internacionales y estudios académicos que tratan datos sobre la biotecnología en cultivos, especialmente el cultivo de maíz amarillo duro.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

El número de productores dedicados al cultivo de maíz amarillo duro en la Comunidad Andina es de 348 mil al año 2021. Específicamente, 198 mil productores en Perú, 100 mil en Ecuador y 50 mil en Bolivia (MIDAGRI 2022, MINAG 2023, INE 2023). En la investigación no se considerará una muestra representativa, debido a que se hará uso de información secundaria o referencial de las unidades productivas en las regiones representativas del cultivo de maíz amarillo duro en la Comunidad Andina, así como información referente a las potencialidades de la biotecnología en zonas agrícolas con características similares a las de la Comunidad Andina.

3.5. HIPÓTESIS

3.5.1. Hipótesis general

La adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina tendrá un impacto positivo en los aspectos socioeconómicos y ambientales.

3.5.2. Hipótesis específicas

HE1. A corto plazo, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro tendrá un impacto positivo en la rentabilidad agrícola en los países de la Comunidad Andina.

HE2. A largo plazo, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro tendrá un impacto positivo en el bienestar social a largo plazo en los países de la Comunidad Andina.

HE3. A largo plazo, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro tendrá un impacto positivo en la calidad ambiental a en los países de la Comunidad Andina.

3.6. IDENTIFICACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables a utilizar en la investigación se muestran en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6. Operacionalización de la variable dependiente

Dependiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Unidades de medida
Beneficios socioeconómicos y ambientales	En el contexto de la innovación agrícola, los beneficios socioeconómicos se refieren a los impactos positivos que se derivan de la aplicación de nuevas tecnologías, prácticas o enfoques en la agricultura. En cuanto a los beneficios ambientales de las innovaciones agrícolas, estos se refieren a los impactos positivos en la sostenibilidad y conservación del medio ambiente	Económico	Incremento del margen de utilidad productiva	Intervalo	%
			Ratio de beneficio-costo	Razón	Ratio
		Social	Variación del excedente del consumidor	Intervalo	S/
			Variación del excedente del productor	Intervalo	S/
			Variación del excedente social	Intervalo	S/
Ambiental	Coficiente de Impacto Ambiental	Razón	Ratio		

Tabla 7. Operacionalización de las variables independientes

Independientes	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Unidades de medida
Rendimiento del cultivo	El rendimiento del cultivo se refiere a la cantidad de maíz amarillo duro producido por unidad de superficie como resultado de las prácticas agrícolas		Incremento de rendimiento del cultivo	Intervalo	%
Gasto en semilla	Monto de dinero invertido en la adquisición de semillas de maíz amarillo duro, como parte de los costos de producción agrícola		Incremento en gasto en semilla	Intervalo	%
Gasto en agroquímicos	Monto de dinero invertido destinado a la compra y utilización de sustancias químicas, como pesticidas, en el proceso de cultivo de maíz amarillo duro,	Económica	Disminución de gasto en agroquímicos	Intervalo	%
Costos de producción	Monto de dinero relacionados con la siembra, cultivo y cosecha del maíz amarillo duro, incluyendo los costos asociados a la adquisición de semillas, agroquímicos, mano de obra, maquinaria, y otros insumos agrícolas, que inciden en la producción de este cultivo		Costos totales de producción	Intervalo	Dólares por hectárea

«continuación»

Adopción de biotecnología	Proporción a la cual los agricultores comienzan a utilizar y adoptar las semillas de maíz amarillo duro modificadas genéticamente o biotecnológicas en comparación con las variedades tradicionales en su práctica agrícola	Tasa de adopción de la nueva semilla	Intervalo	%
Éxito de la adopción de biotecnología	Efectividad obtenidos por los agricultores que han adoptado las semillas de maíz amarillo duro modificadas genéticamente en términos de aumento del rendimiento, reducción de costos, o mejoras en otros indicadores agrícolas y económicos.	Probabilidad de éxito de la adopción de la nueva semilla	Intervalo	%
Precio en chacra	Valor al que los agricultores venden su maíz amarillo duro en su lugar de producción, antes de cualquier transporte o procesamiento adicional	Precio en chacra del maíz	Razón	Dólares por kilogramo
Costo de producción esperado	Estimación anticipada de los costos necesarios para producir maíz amarillo duro, considerando factores como semillas, agroquímicos, mano de obra, maquinaria y otros insumos agrícolas.	Variación del costo de producción esperado	Intervalo	Dólares por hectárea
Elasticidad oferta	Sensibilidad de la cantidad de maíz amarillo duro que los agricultores están dispuestos a producir y ofrecer en el mercado a cambios en el precio de mercado	Elasticidad oferta del cultivo	Razón	Ratio

Social

«continuación»

Elasticidad demanda	Sensibilidad de la cantidad de maíz amarillo duro que los compradores están dispuestos a adquirir en el mercado a cambios en el precio de mercado	Elasticidad demanda del cultivo	Razón	Ratio
Cosecha	Cantidad de hectáreas en las que se ha llevado a cabo la cosecha del cultivo de maíz amarillo duro	Superficie cosechada	Razón	Ha
Tratamiento de agroquímicos	Cantidad de hectáreas en las que se han utilizado productos químicos agrícolas, como pesticidas, como parte de las prácticas agrícolas en el cultivo de maíz amarillo duro	Superficie tratada con agroquímicos	Razón	ha
Agroquímicos activos	Medida de la concentración de ingredientes activos de productos químicos agrícolas aplicados en una hectárea del cultivo de maíz amarillo duro	Cantidad de agroquímicos activos utilizados por hectarea	Intervalo	Kilogramos por hectárea
Aplicaciones de agroquímicos activos	Frecuencia anual del uso de agroquímicos activos en el cultivo de maíz amarillo duro como parte del control de plagas e insectos	Número de aplicaciones de las dosis de Dipterex al año	Ordinal	Aplicaciones por año

Ambiental

3.7. PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS

3.7.1. Método del presupuesto parcial y ratio de beneficio – costo marginal

La demostración de la *Hipótesis Específica 1*, que postula un impacto positivo de la biotecnología en la rentabilidad agrícola ex-ante a corto plazo en los países de la Comunidad Andina, se llevó a cabo mediante el empleo del método del presupuesto parcial y el cálculo del ratio de beneficio-costos marginales. La aceptación de esta hipótesis se fundamentará en la comprobación de que el valor del ratio sea mayor a 1 en la mayoría de los escenarios calculados por el software @Risk.

a. Presupuesto parcial

Para evaluar los impactos económicos a corto plazo derivados de la implementación de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo, se ha empleado el presupuesto parcial estocástico, como se ha aplicado en estudios previos (Alvåsen *et al.* 2017, Jerlström *et al.* 2022, Owusu-Sekyere *et al.* 2023).

El presupuesto parcial emerge como una herramienta fundamental para examinar los costos y beneficios vinculados a cambios particulares, como la adopción de nuevas tecnologías, modificaciones en la estructura empresarial o ajustes en las prácticas de producción de un cultivo (Kusumastuti *et al.* 2018). Esta herramienta permite comparar los beneficios y costos actuales con los proyectados a partir de dichos cambios (Alvåsen *et al.* 2023). Así, el análisis de presupuesto parcial se configura como un marco de planificación y una fuente crucial de información para respaldar la toma de decisiones estratégicas (Hassan *et al.* 2016).

En situaciones climáticas inciertas y desafiantes, el análisis de presupuesto parcial estocástico, a través de simulaciones de Monte Carlo, se erige como una herramienta valiosa para proporcionar toma de decisiones óptima en condiciones de incertidumbre. Para lograr un análisis estocástico, se calculan varios resultados posibles con diversos parámetros de entrada, que luego se presentan junto con la probabilidad de su ocurrencia, generando así la distribución de probabilidad de los resultados potenciales del presupuesto (Ahmed *et al.* 2020).

La introducción de incertidumbre, basada en información previa sobre las variables evaluadas, no solo ofrece una estimación puntual del efecto del cambio en el margen de contribución, sino que también captura la incertidumbre inherente a dicha estimación (Jerlström *et al.* 2022). En adición, es necesario recurrir al ratio de beneficio costo marginal (BCM) para obtener una evaluación más precisa con respecto a la viabilidad económica de un cambio tecnológico.

b. Beneficio – costo marginal (BCM)

El análisis de BCM, siguiendo a Jayne *et al.* (2013), proporciona un medio efectivo para evaluar los beneficios incrementales en comparación con los costos incrementales asociados con, por ejemplo, la implementación de biotecnología en cultivos. El término "incremental" en este contexto se refiere a la diferencia entre los beneficios y costos totales en un escenario con biotecnología en comparación con los de un escenario sin biotecnología o un escenario convencional (Kuwornu *et al.* 2018). En otras palabras, mide el rendimiento neto del capital adicional invertido en una nueva tecnología productiva, en comparación con la utilizada actualmente o convencionalmente por el agricultor, lo cual es expresado a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Ratio BCM} = \frac{\text{Beneficio incremental}}{\text{Costo incremental}}$$

Siguiendo a Jayne *et al.* (2013), el beneficio incremental abarca los nuevos ingresos esperados a partir de un escenario con biotecnología y los costos abandonados al cambiar del escenario sin biotecnología a uno con biotecnología. En contraste, el costo incremental abarca los costos esperados asociados a partir de un escenario con biotecnología y los ingresos no percibidos al cambiar del escenario sin biotecnología a uno con biotecnología.

El valor del ratio BCM, en el contexto de la implementación de la biotecnología propuesta, puede asumir valores menores, iguales o mayores a uno, estableciendo así el criterio de decisión para el proyecto. Si el ratio BCM es mayor a uno ($\text{BCM} > 1$), esto indica que la nueva tecnología utilizada proporcionará una mayor rentabilidad al agricultor, lo que sugiere que la implementación de la biotecnología es económicamente favorable.

En cambio, si el valor es menor a uno ($BCM < 1$), se interpreta que la biotecnología no sería económicamente rentable, y en lugar de generar beneficios, el productor incurrirá en pérdidas en el cultivo de maíz amarillo. Por otro lado, si el valor del ratio es exactamente igual a uno ($BCM = 1$), esto implica que la biotecnología no incide en el bienestar del productor, siendo una elección neutral o indiferente en términos económicos.

3.7.2. Método de cambio de excedentes económicos

La demostración de la *Hipótesis Específica 2*, que postula un impacto positivo de la biotecnología en el bienestar social a largo plazo en los países de la Comunidad Andina, se llevó a cabo mediante el empleo del método de cambio de excedentes económicos. La aceptación de esta hipótesis se fundamentará en la comprobación de que el valor de los excedentes de los agentes económicos (consumidor, productor y social) sean positivos, en la mayoría de los escenarios calculados con el software @Risk.

El método de cambio de excedentes económicos es considerado como el enfoque predominante para evaluar el progreso tecnológico en el sector agrícola, particularmente en relación con los cultivos (Wangithi *et al.* 2022, Krishna y Qaim 2008). Además, este método ha sido ampliamente empleado en evaluaciones de impacto tanto ex ante como ex post de la adopción de cultivos genéticamente modificados (Macall *et al.* 2022, Abro *et al.* 2020, Macall y Smyth 2020).

Siguiendo a Macall y Smyth (2019), así como a Nikam *et al.* (2019), el método implica un conjunto de ecuaciones de oferta y demanda que modelan el mercado como un sistema. El método radica en proyectar los cambios en las curvas de oferta y demanda, basándose en las modificaciones en el rendimiento y los costos de los insumos derivados de la adopción de la nueva tecnología en el cultivo. La formulación matemática de estas ecuaciones permite estimar los excedentes totales (TS), desglosándolo en excedente del consumidor (CS) y excedente del productor (PS, por sus siglas en inglés). El modelo se elabora mediante suposiciones sobre parámetros como el tamaño y la apertura de la economía; las elasticidades de la demanda y la oferta; la magnitud y la naturaleza del cambio en la oferta; así como la trayectoria y el ritmo de adopción de la tecnología.

Cabe considerar que, en el contexto de la Comunidad Andina, el mercado de maíz amarillo duro está compuesto por los productores de maíz, quienes actúan como ofertantes, y la industria de alimentos balanceados, especialmente los sectores avícola y porcícola, que funcionan como demandantes. Este mercado se caracteriza por ser un mercado de factores de producción, donde el maíz amarillo duro no es consumido directamente, sino que se utiliza como insumo en la elaboración de otros productos, es decir, es clasificado como un bien intermedio.

Por tanto, en el marco de la presente investigación, se parte de un equilibrio inicial de precios y cantidades en el mercado de maíz de la Comunidad Andina, donde D representa la demanda del producto y S_0 la oferta del mismo. Al adoptar una nueva tecnología de cultivo, como la biotecnología, la mejora en el rendimiento o la reducción de costos tras la adopción de la nueva tecnología desplaza hacia abajo a la curva de oferta del cultivo, pasando de S_0 a S_1 , manteniendo constante la curva de demanda.

Además, el método asume curvas lineales para la oferta y demanda, así como un desplazamiento paralelo de la oferta para modelar el impacto de la adopción de una nueva tecnología. Tras el desplazamiento, los precios y cantidades de equilibrio iniciales, P_0 y Q_0 , cambian a P_1 y Q_1 . Como resultado, el excedente del consumidor aumenta igual al área P_0abP_1 , el cambio en el excedente del productor es igual al área $P_1bI_1 - P_0aI_0$, y el excedente total aumenta hasta el área I_0abI_1 (ver Figura 5).

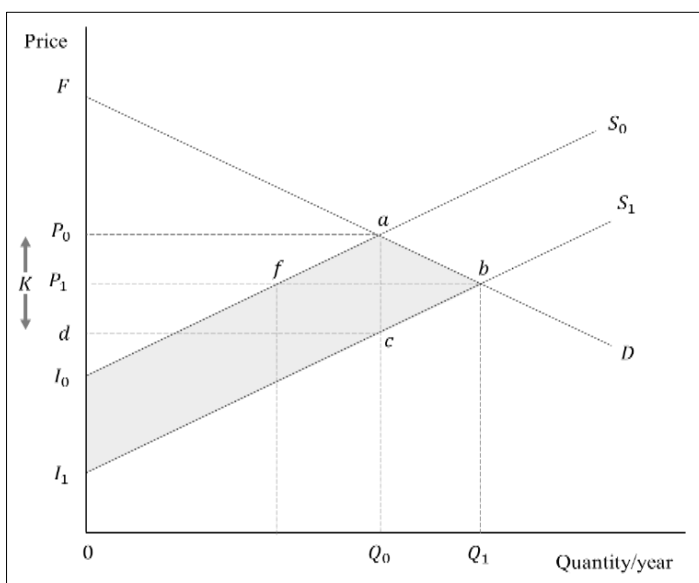


Figura 5. Modelo de excedentes económicos

Fuente: Elaborado con base en Alston *et al.* 1995.

Adicionalmente, de manera algebraica, el cambio anual en el excedente del consumidor (ΔCS), el excedente del productor (ΔPS) y el excedente total (ΔTS) resultante de la biotecnología puede calcularse como:

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

$$\Delta PS = P_0 Q_0 (K - Z)(1 + 0.5Z\eta) \quad (2)$$

$$\Delta TS = \Delta PS + \Delta CS = P_0 Q_0 K(1 + 0.5Z\eta) \quad (3)$$

Donde: ΔCS , el cambio en el excedente del consumidor; ΔPS , cambio en el excedente del productor; ΔTS , cambio en el excedente total; P_0 y Q_0 , el precio y cantidad previa a la introducción de biotecnología, respectivamente, y η , la elasticidad de la demanda.

$$K = \left[\frac{\Delta Y}{\varepsilon_a} - \frac{\Delta C}{(1+\Delta Y)} \right] \times A \times R \times D \quad (4)$$

$$Z = \frac{K\varepsilon}{(\varepsilon + \eta)} \quad (5)$$

Adicionalmente, K es el desplazamiento proporcional hacia debajo de la curva de oferta debido a la introducción de la biotecnología; ΔY , la diferencia entre el rendimiento esperado con biotecnología y el rendimiento convencional; ΔC , la diferencia entre los costos de producción esperados con biotecnología y los costos de producción convencionales; A , la tasa de adopción de la nueva tecnología; R , la probabilidad de éxito al usar la biotecnología; D , la tasa de depreciación. Además, Z es la reducción del precio como consecuencia del desplazamiento de la oferta; ε , la elasticidad de la oferta.

En adición, para la estimación del modelo de evaluación ex ante, se establece un horizonte temporal de 16 años. En este periodo, el primer año se asocia con la inversión en investigación de biotecnología en el cultivo, con costos que oscilan entre US\$ 500,000 y US\$ 5,000,000, de acuerdo con Schiek *et al.* (2016). Siguiendo al mismo autor, se asignan ocho años a los costos de transferencia hacia la nueva tecnología. En este sentido, tres años se vinculan a la inversión inicial, estimada en un total de US\$ 530,250. Los dos años siguientes se destinan a la evaluación experimental en las localidades, con un costo total de US\$ 396,412. Los dos años subsiguientes se centran en el proceso regulatorio cuyo total se aproxima a US\$ 212,750. Finalmente, el último año se asocia al proceso de autorización, aproximándose a un costo total de US\$ 180,541.

Respecto a la tasa de adopción, esta hace referencia a la aceptación e implementación de una nueva tecnología en un sistema de producción. En este estudio, se toma la evolución propuesta por Rogers *et al.* (2003), donde la tasa de adopción de la biotecnología partirá con un 2.8% de los agricultores durante el primer año, incrementándose anualmente. En el segundo año, se espera que la tasa de adopción alcance aproximadamente el 16%, mientras que en el tercer año se proyecta que llegue al 50%. A partir del cuarto año en adelante, se estima que la tasa de adopción se mantendrá constante en un 80% del total de agricultores.

En complemento, se incorpora una probabilidad de éxito promedio del 75% para la adopción de una nueva tecnología en el ámbito agrícola, en base a Maza (2023). Además, se establece una tasa de depreciación del 0%, puesto que no se prevé ninguna disminución del rendimiento a lo largo del periodo de estudio, siguiendo a Macall y Smyth (2019).

Por último, se consideraron ciertos criterios específicos de cada país perteneciente a la Comunidad Andina, incluyendo la elasticidad de la oferta y demanda, el precio del maíz amarillo en dólares americanos, la cantidad total de producción en toneladas y la tasa social de descuento en porcentaje. Estos detalles se encuentran en la Tabla 8.

Tabla 8. Criterios específicos de los países de la Comunidad Andina

Parámetro	Comunidad Andina			Fuentes
	Perú	Ecuador	Bolivia	
Elasticidad de la demanda (η)	0.79	0.80	4.195	Maza <i>et al.</i> 2023, Reyna 2019 y Cap <i>et al.</i> 2006.
Elasticidad de la oferta (ε)	0.408	0.408	0.62	MIDAGRI 2023, INE 2023 y MINAG 2023.
Precio del MAD (US\$/t)	212.33	340	270.15	
Cantidad total de producción (t)	1,253,136	1,548,598	810,058	
Tasa social de descuento (%)	8%	12%	11%	Castillo y Zhangallimbay 2021, Agencia Nacional de Hidrocarburos 2022 y Ministerio de Economía y Finanzas 2022.

Los criterios mencionados previamente se organizan en columnas de acuerdo con la metodología de los excedentes económicos para cada uno de los países de la Comunidad Andina. Esta disposición permite una presentación estructurada y específica de los criterios en el contexto de cada país, facilitando así la evaluación individualizada de los impactos anticipados de la aplicación de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo.

- Columna 1:** La elasticidad de la demanda del MAD en cada país de la Comunidad Andina.
- Columna 2:** La elasticidad de la oferta del MAD en cada país de la Comunidad Andina.
- Columna 3:** Cambio asociado al rendimiento esperado por la adopción de biotecnología.
- Columna 4:** Cambio equivalente del rendimiento: resultado de la división del cambio de rendimiento esperado entre la elasticidad de la oferta (3/2).
- Columna 5:** Cambio de costos de insumos: variación de costos al cambiar la tecnología convencional por la biotecnología.
- Columna 6:** Cambio equivalente de costos: resultado de la división del cambio de costos de insumos entre la diferencia de la elasticidad de demanda y el cambio de rendimiento esperado.
- Columna 7:** K potencial, o cambio neto de costos de insumo, muestra la variación de los costos de producción en caso se adopte la biotecnología.
- Columna 8:** Probabilidad de éxito promedio por la adopción de biotecnología en el cultivo.
- Columna 9:** La tasa de adopción de la biotecnología.
- Columna 10:** Tasa de depreciación.
- Columna 11:** Kmax, es el desplazamiento de la curva de oferta.
- Columna 12:** Z, cambio de precios por la adopción de biotecnología a partir del primer año.
- Columna 13:** Precio esperado del MAD (US\$/t) en regiones representativas de cada país de la Comunidad Andina.
- Columna 14:** Producción de MAD (t) en regiones representativas de cada país de la Comunidad Andina
- Columna 15:** Cambio del excedente del productor.
- Columna 16:** Cambio del excedente del consumidor.
- Columna 17:** Cambio del excedente social.
- Columna 18:** Costos de investigación asociados a la adopción de biotecnología.
- Columna 19:** Costos de transferencia de tecnología.

3.7.3. Cociente de impacto ambiental

La demostración de la *Hipótesis Específica 3*, que postula un impacto positivo de la biotecnología en la calidad ambiental a largo plazo en los países de la Comunidad Andina, se llevó a cabo mediante el empleo del cociente de impacto ambiental (EIQ). La aceptación de esta hipótesis se fundamentará en la comprobación de que el impacto ambiental sea menor al aplicar biotecnología en comparación con la tecnología convencional, en la mayoría de los escenarios calculados con el software @Risk.

El cociente de impacto ambiental (EIQ) es considerado el indicador más empleado para evaluar el impacto ambiental derivado de los cambios en las prácticas de control de plagas como consecuencia de la adopción de cultivos modificados con biotecnología (Brookes 2022). El EIQ contempla ocho parámetros ambientales para evaluar el efecto de los plaguicidas sobre los agricultores que los aplican, los agricultores que cosechan los productos, los consumidores, las aguas subterráneas, los peces, las aves, las abejas y los artrópodos beneficiosos (Muhammetoglu y Uslu 2007, Kovach *et al.* 1992).

De acuerdo con Muhammetoglu y Uslu (2007), en base a Kovach *et al.* (1992), el EIQ puntúa el riesgo potencial de un plaguicida a partir de las medidas de toxicidad y de exposición potencial, las cuales se puntúan en una escala de 1, 3 y 5. Entre estas medidas de toxicidad y de exposición potencial se encuentran la vida media, el potencial de derrame o lixiviación y el patrón de uso. De manera agregada, la ecuación para el EIQ es:

$$EIQ = (EIQ_{agricultor} + EIQ_{consumidor} + EIQ_{ecológico})/3$$

Donde:

$$EIQ_{agricultor} = C \times [(DT \times 5) + (DT \times P)]$$

$$EIQ_{consumidor} = C \times (((S + P)/2) \times Sy) + L$$

$$EIQ_{ecológico} = (F \times R) + (D \times ((S + P)/2) \times 3) + (Z \times P \times 3) + (B \times P \times 5)$$

Al respecto, los componentes son C = toxicidad crónica, F = toxicidad para los peces, DT = toxicidad dérmica, R = potencial de pérdida superficial, S = vida media en el suelo, D = toxicidad para las aves, P = vida media en la superficie de las plantas, Z = toxicidad para las abejas, Sy = sistemicidad, B = toxicidad de los artrópodos beneficiosos y L = potencial de lixiviación.

Para efectos del presente estudio, los valores de EIQ para todas las sustancias químicas utilizadas se obtuvieron de los documentos elaborados anualmente por la Universidad de Cornell, tal cual lo consideran Eshenaur *et al.* (2015). Una vez que se ha establecido un valor EIQ para el ingrediente activo de cada plaguicida (EIQ_{ai}), se calcula el EIQ de uso en campo, donde cuanto mayor es el EIQ_{campo} , mayor es la toxicidad ambiental agregada de los plaguicidas utilizados:

$$EIQ_{campo} = EIQ_{ai} \times Dosis_{ai} \times Proporción_{ai}$$

Donde:

EIQ_{ai} = EIQ de base para el ingrediente activo

$Dosis$ = Dosis de ingrediente activo utilizado (kg/ha)

$Proporción$ = Proporción del ingrediente activo en la formulación del plaguicida (%)

Por tanto, la evaluación ambiental en el presente estudio se basa en una comparación de los valores de EIQ de campo de los sistemas de producción de cultivos convencionales frente a los valores de los cultivos modificados con biotecnología en una proyección de 16 años a partir de una hipotética adopción de biotecnología en el cultivo. En esta línea el EIQ de campo puede ser utilizado para comparar las diferentes estrategias de gestión de plagas y determinar si la adopción de biotecnología con potencial de resistencia a plagas tiene un menor impacto ambiental en comparación a la tecnología utilizada de manera convencional en, por ejemplo, el cultivo de maíz amarillo en la Comunidad Andina.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

En los anexos 1, 2 y 3, se presentan los estadísticos descriptivos de los costos productivos del maíz amarillo en los países de la Comunidad Andina. Estos datos se han construido a partir de los costos productivos de las regiones representativas de Perú, Ecuador y Bolivia. Esta información es fundamental para llevar a cabo una evaluación ex – ante del impacto económico, social y ambiental que podría derivarse de la hipotética adopción de semillas tratadas con biotecnología moderna¹.

4.1.1. Impacto esperado de la biotecnología en la rentabilidad agrícola

a. Modelo de presupuesto parcial

Antes de llevar a cabo la estimación del modelo de presupuesto parcial y el cálculo del ratio beneficio costo marginal, se parte con el cambio esperado de variables fundamentales al considerarse la hipotética adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo.

Preliminarmente, se asumen variaciones probabilísticas con respecto al rendimiento esperado del cultivo, el gasto en semillas y el gasto en insecticidas específicos. Al respecto, Aboites y Félix (2011) describen que el uso de semillas tratadas con biotecnología confiere ventajas económicas en cuanto al rendimiento esperado del cultivo. El incremento promedio esperado del rendimiento es del 23%, con un rango que varía desde un aumento del 16% hasta un máximo del 30%. Asimismo, Gutiérrez (2011) y Aboites y Félix (2011), basados en su experiencia en Honduras, mencionan que el incremento promedio esperado en el gasto de semillas es del 20%, con una fluctuación que va desde un aumento del 10% hasta un máximo del 30%. Además, los costos asociados a insecticidas específicos o plaguicidas utilizados para combatir la plaga del gusano cogollero se reducirán en promedio en un 65%, según los resultados de las investigaciones de Fernández-Northcote *et al.* (1999), con un rango de reducción que oscila entre el 40% y el 90%.

¹ Según Ortiz (2012, p.3) “La biotecnología moderna incluye el análisis del ácido desoxirribonucleico (ADN), el ácido ribonucleico (ARN), las proteínas, y la genómica. la bioinformática y la ingeniería genética aplicadas a la modificación genética de organismos vivos”.

En relación con el presupuesto esperado de la adopción de biotecnología en Perú (Tabla 9), por un lado, se obtuvo la disminución de los costos total de producción equivalente a un 2.08%, a partir de menor gasto asociado al uso de insecticidas específicos y a pesar del mayor gasto en semillas. Esto implicó un cambio en los costos totales de US\$ 1,606.8 con tecnologías convencionales a US\$ 1,573.4 con el uso de biotecnología en el cultivo. Por otro lado, la adopción de biotecnología resultó en un aumento esperado del rendimiento productivo, generando un incremento esperado del 23% en el ingreso total de producción. Este aumento se reflejó en un cambio de ingresos de US\$ 2,185.00 con tecnologías convencionales a US\$ 2,687.55 con biotecnología.

Como resultado, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo en Perú generaría un nuevo margen de utilidad esperado de US\$ 1,114.12 por hectárea; es decir US\$ 535.92 adicionales, un incremento del 92.69% comparado al obtenido con el uso de tecnologías convencionales.

Tabla 9. Presupuesto parcial por hectárea de maíz amarillo convencional y con biotecnología en Perú (US\$)

Rubros	Convencional	Biotecnología	Incrementos
Semilla	102.70	123.24	20.00%
Fertilizantes	642.29	642.29	0.00%
Insecticidas específicos	82.94	29.03	-65.00%
Insecticidas multipropósito	12.96	12.96	0.00%
Mano de obra	421.63	421.63	0.00%
Maquinaria agrícola y equipo	123.76	123.76	0.00%
Otros gastos	144.65	144.65	0.00%
Costos directos	1,530.92	1,497.55	-2.18%
Costos indirectos	75.88	75.88	0.00%
Costo total de producción	1,606.80	1,573.43	-2.08%
Rendimiento (kg/ha)	9,500.00	11,685.00	23.00%
Precio Promedio	0.23	0.23	0.00%
Ingreso total de producción	2,185.00	2,687.55	23.00%
Margen bruto de producción	578.20	1,114.12	92.69%

En cuanto al presupuesto esperado de la adopción de biotecnología en Ecuador, por un lado, se obtuvo la disminución de los costos total de producción equivalente a un 2.38%, a partir de menor gasto asociado al uso de insecticidas específicos y a pesar del mayor gasto en semillas. Esto implicó un cambio en los costos totales de US\$ 1,307.42 con tecnologías convencionales a US\$ 1,276.35 con el uso de biotecnología en el cultivo (Tabla 10).

Por otro lado, la adopción de biotecnología resultó en un aumento esperado del rendimiento productivo, generando un incremento esperado del 23% en el ingreso total de producción. Este aumento se reflejó en un cambio de ingresos de US\$ 1,864.90 con tecnologías convencionales a US\$ 2,293.83 con biotecnología. Como resultado, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo en Ecuador generaría un nuevo margen de utilidad esperado de US\$ 1,017.48 por hectárea; es decir US\$ 460.00 adicionales, un incremento del 82.51% comparado al obtenido con el uso de tecnologías convencionales.

Tabla 10. Presupuesto parcial por hectárea de maíz amarillo convencional y con biotecnología en Ecuador (US\$)

Rubros	Convencional	Biotecnología	Incrementos
Semilla	28.40	34.08	20.00%
Fertilizantes	359.19	359.19	0.00%
Insecticidas específicos	52.20	18.27	-65.00%
Insecticidas multipropósito	23.85	23.85	0.00%
Mano de obra	585.27	585.27	0.00%
Maquinaria agrícola y equipo	107.67	107.67	0.00%
Otros gastos	32.00	32.00	0.00%
Costos directos	1,188.57	1,160.32	-2.38%
Costos indirectos	118.86	116.03	0.00%
Costo total de producción	1,307.42	1,276.35	-2.38%
Rendimiento (kg/ha)	5,485.00	6,746.55	23.00%
Precio Promedio	0.34000	0.34	0.00%
Ingreso total de producción	1,864.90	2,293.83	23.00%
Margen bruto de producción	557.48	1,017.48	82.51%

Respecto al presupuesto esperado de la adopción de biotecnología en Bolivia, por un lado, se obtuvo la disminución de los costos total de producción equivalente a un 0.20%, a partir de menor gasto asociado al uso de insecticidas específicos y a pesar del mayor gasto en semillas. Esto implicó un ligero cambio en los costos totales de US\$ 514.07 con tecnologías convencionales a US\$ 513.02 con el uso de biotecnología en el cultivo. Por otro lado, la adopción de biotecnología resultó en un aumento esperado del rendimiento productivo, generando un incremento esperado del 23% en el ingreso total de producción. Este aumento se reflejó en un cambio de ingresos de US\$ 972.53 con tecnologías convencionales a US\$ 1,196.22 con biotecnología.

Como resultado, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo en Bolivia generaría un nuevo margen de utilidad esperado de US\$ 683.19 por hectárea; es decir US\$ 224.73 adicionales, un incremento del 49.02% comparado al obtenido con el uso de tecnologías convencionales.

Tabla 11. Presupuesto parcial por hectárea de maíz amarillo convencional y con biotecnología en Bolivia (US\$)

Rubros	Convencional	Biotecnología	Incrementos
Semilla	69.02	82.82	20.00%
Fertilizantes	61.60	61.60	0.00%
Insecticidas específicos	22.84	7.99	-65.00%
Insecticidas multipropósito	24.15	24.15	0.00%
Mano de obra	41.07	41.07	0.00%
Maquinaria agrícola y equipo	202.07	202.07	0.00%
Otros gastos	56.00	56.00	0.00%
Costos directos	476.75	475.70	-0.22%
Costos indirectos	37.32	37.32	0.00%
Costo total de producción	514.07	513.02	-0.20%
Rendimiento (kg/ha)	3,600.00	4,428.00	23.00%
Precio Promedio	0.27015	0.27	0.00%
Ingreso total de producción	972.53	1,196.22	23.00%
Margen bruto de producción	458.47	683.19	49.02%

b. Ratio beneficio costo marginal (BCM)

Con el fin de calcular el ratio BCM de adoptar la biotecnología en el cultivo en cada uno de los países, se subdividieron los beneficios y costos como se presentan en la Tabla 12.

En el contexto de Perú, por un lado, los beneficios asociados a la adopción de biotecnología ascendieron a un promedio esperado de US\$ 4,294.35. Este total se subdivide en US\$ 2,687.55, que representan los nuevos ingresos generados al adoptar una la nueva tecnología, y US\$ 1,606.80, asociados a los costos abandonados al dejar de utilizar tecnologías convencionales.

Por otro lado, los costos totales vinculados a la adopción de biotecnología alcanzaron un valor de US\$ 3,758.43, subdivididos en US\$ 2,185.00 por ingresos abandonados al dejar de utilizar una tecnología convencional, y US\$ 1,573.43 asociados a los nuevos costos que el productor asumirá por el cambio tecnológico. Como resultado, se obtiene un ratio BCM de 1.14, indicando que por cada un dólar invertido en biotecnología, el productor peruano podría obtener, en promedio, 14 centavos de ganancia o ingreso adicional. Además, dado el enfoque probabilístico de la evaluación, el ratio BCM de Perú varía entre un rango que va desde un mínimo de 1.09 hasta un máximo de 1.19.

En el caso de Ecuador, por un lado, los beneficios relacionados con la adopción de biotecnología ascendieron a un promedio esperado de US\$ 3,601.25. Esta cifra se compone por US\$ 2,293.83 en nuevos ingresos por la adopción de biotecnología, y US\$ 1,307.42 asociados a los costos abandonados al dejar de utilizar tecnologías convencionales.

Por otro lado, los costos totales asociados a la adopción de biotecnología alcanzaron un valor de US\$ 3,141.25, subdivididos en US\$ 1,864.90 por ingresos abandonados o que ya no se recibirán si se deja de utilizar una tecnología convencional, y US\$ 1,276.35 asociados a los nuevos costos que el productor deberá afrontar por cambiar de tecnología.

Como resultado, se obtiene un ratio BCM de 1.15, indicando que por cada dólar invertido en biotecnología, el productor ecuatoriano podría obtener, en promedio 15 centavos de ganancia o ingreso adicional. Además, dado el enfoque probabilístico de la evaluación, el ratio BCM de Ecuador varía entre un rango que va desde un mínimo de 1.09 hasta un máximo de 1.20.

En Bolivia, los beneficios vinculados a la adopción de biotecnología ascendieron a un promedio esperado de US\$ 1,710.28. Esta cifra se subdivide en US\$ 1,196.22 que representaron los nuevos ingresos generados por la adopción de la nueva tecnología, y US\$ 514.07 se asociaron a los costos abandonados por dejar de utilizar tecnologías convencionales. Los costos totales asociados a la adopción de biotecnología alcanzaron un valor de US\$ 1,485.56, subdivididos en US\$ 972.53 por ingresos abandonados al dejar de utilizar tecnologías convencionales, y US\$ 513.02 asociados a los nuevos costos que el productor asumirá por el cambio tecnológico.


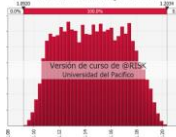

Como resultado, se obtiene un ratio BCM de 1.15, indicando que por cada dólar invertido en biotecnología, el productor boliviano obtendrá 15 centavos de ganancia o ingreso adicional. Además, dado el enfoque probabilístico de la evaluación, el ratio BCM de Bolivia varía entre un rango que va desde un mínimo de 1.09 hasta un máximo de 1.21.

Adicionalmente, al comparar los ratios BCM obtenidos, se revelan similitudes entre los resultados de los tres países de la Comunidad Andina.

En cada caso, la adopción de biotecnología resulta en un BCM superior a uno, lo que indica que la adopción de esta nueva tecnología en el cultivo de maíz amarillo será económicamente favorable y proporcionará una mayor rentabilidad a los agricultores este cultivo en los tres países.

Al respecto, esta consistencia en los resultados refuerza la perspectiva de que la adopción de la biotecnología pueda ser considerada como una estrategia rentable en la producción de maíz amarillo en la Comunidad Andina.

Tabla 12. Ratio de beneficio–costo marginal

Concepto	Perú	Ecuador	Bolivia
Beneficios	4,294.35	3,601.25	1,710.28
Ingresos nuevos (biotecnología)	2,687.55	2,293.83	1,196.22
Costos abandonados (convencional)	1,606.80	1,307.42	514.07
Costos	3,758.43	3,141.25	1,485.56
Ingresos abandonados (convencional)	2,185.00	1,864.90	972.53
Costos nuevos (biotecnología)	1,573.43	1,276.35	513.02
Ratio BCM promedio esperado	1.14	1.15	1.15
BCM mínimo esperado	1.09	1.09	1.09
BCM máximo esperado	1.19	1.20	1.21
			
Incremento del margen de producción (US\$)	535.92	460.00	224.73
Incremento del margen de producción (%)	92.69%	82.51%	49.02%

4.1.2. Impacto esperado de la biotecnología en el bienestar social

a. Modelo de excedentes económicos

Las tablas 13 y 14 proporcionan los valores obtenidos esperados del modelo de excedentes económicos, así como los rangos de variación y la probabilidad de ocurrencia derivada de la evaluación probabilística. La tabla 13 abarca cambios de excedentes del consumidor, del productor y de la sociedad. Además, incluye los ratios de rentabilidad a nivel gubernamental, como el valor actual neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Se recomienda consultar los anexos 4, 5 y 6 para obtener una descripción detallada cada etapa de este análisis.

Excedentes de los agentes económicos

En el caso de Perú, según la Tabla 13, se estima que el valor actual esperado de la variación del excedente del consumidor será de US\$ 247 millones. Este valor esperado variará entre un mínimo de US\$ 163 millones, en caso se presenten escenarios menos favorables para la biotecnología, hasta un máximo de US\$ 332 millones, ante escenarios óptimos.

Por otro lado, se proyecta que el valor actual esperado de la variación del excedente del productor alcance los US\$ 485 millones, con un rango que oscila entre US\$ 320 millones y US\$ 650 millones.

En suma, se estima que el valor actual esperado de la variación del excedente social será de US\$ 732 millones, con un rango de estimación que va desde US\$ 484 millones y US\$ 982 millones. Cabe destacar que en el 100% de los escenarios, los consumidores peruanos se verán beneficiados a partir del uso de biotecnología.

En cuanto a Ecuador, por un lado, el valor actual esperado de la variación del excedente del consumidor será de US\$ 325 millones. Este valor esperado oscilará entre US\$ 221 millones, en escenarios menos favorables para la biotecnología, hasta US\$ 435 millones, en escenarios óptimos. Por otro lado, se prevé que el valor actual esperado de la variación del excedente del productor equivaldrá a US\$ 638 millones, con un rango entre US\$ 433 millones y US\$ 852 millones. En suma, se estima que el valor actual esperado de la variación del excedente social será de US\$ 963 millones, con un rango de estimación que va desde US\$ 654 millones y US\$ 1,287 millones. Se destaca que en el 100% de los escenarios, los consumidores ecuatorianos se verán beneficiados a partir del uso de biotecnología en el cultivo de maíz.


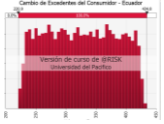







En el caso de Bolivia, por un lado, se estima que el valor actual esperado de la variación del excedente del consumidor será de US\$ 37 millones. Este valor esperado variará entre un mínimo de US\$ 22 millones, en caso se presenten escenarios menos favorables para la biotecnología, hasta un máximo de US\$ 52 millones, ante escenarios óptimos.

Por otro lado, se prevé que el valor actual esperado de la variación del excedente del productor equivaldrá a US\$ 251 millones, con un rango que oscila entre US\$ 152 millones y US\$ 355 millones. En suma, se estima que el valor actual esperado de la variación del excedente social será de US\$ 288 millones, con un rango entre US\$ 174 millones y US\$ 407 millones. Cabe destacar que en el 100% de los escenarios, los consumidores y productores bolivianos se verán beneficiados a partir del uso de biotecnología en el cultivo de maíz.

Al comparar los resultados de los tres países de la Comunidad Andina, se observa una tendencia positiva en los valores actuales de la variación del excedente social, así como para consumidores y productores, al adoptar la biotecnología en el cultivo de maíz amarillo. En todos los casos, tanto los consumidores como los productores experimentarían aumentos en sus excedentes.

Aunque los montos varían entre los países, la consistencia de los resultados sugiere que la adopción de biotecnología puede ser una estrategia favorable en la producción de maíz amarillo en la región, generando un impacto positivo en el bienestar social.

Tabla 13. Variaciones de excedentes económicos

Concepto (millones US\$)	Perú	Ecuador	Bolivia
Valor actual de la variación de excedentes del consumidor	247.45	325.21	37.20
Valor mínimo esperado	163.53	220.89	22.53
Valor máximo esperado	331.69	434.76	52.48
			
Valor actual de la variación de excedentes del productor	485.19	637.67	251.73
Valor mínimo esperado	320.65	433.12	152.46
Valor máximo esperado	650.38	852.48	355.09
			
Valor actual de la variación de excedentes de la sociedad	732.65	962.89	288.94
Valor mínimo esperado	484.19	654.01	174.99
Valor máximo esperado	982.07	1,287.00	407.58
			


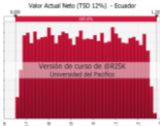
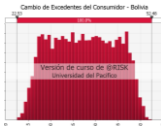



Evaluación gubernamental a largo plazo

En cuanto al VAN, los resultados indican que, al adoptar biotecnología en el cultivo de maíz amarillo en Perú, se espera obtener un promedio esperado de US\$ 728 millones. Este valor variará en un rango que oscila entre un mínimo de 480 millones y un máximo de 978 millones. De manera similar, Ecuador presenta un VAN esperado de US\$ 959 millones, con un rango proyectado que va desde un mínimo de 650 millones hasta un máximo de 1,283 millones. Por su parte, Bolivia obtiene un VAN esperado de US\$ 285 millones, con un rango que fluctúa entre un mínimo esperado es de 171 millones y un máximo de 403 millones. Es importante destacar que se emplearon tasas de descuento social (TSD) distintas en cada uno de los cálculos realizados para los países de la Comunidad Andina.

A pesar de estas variaciones en las tasas de descuento, se observa de manera consistente que el valor del Valor Actual Neto (VAN) fue positivo en todos los casos. Este resultado señala la rentabilidad a largo plazo de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz en los tres países (Tabla 14).

Con respecto a la TIR, se obtuvieron como resultados que, a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo en Perú se espera obtener una media esperada de 335%. Este valor oscilará en un rango entre un mínimo de 266% y un máximo de 395%. En adición, Ecuador presenta una TIR esperada de 468%, cuyo rango proyectado varía entre 373% como mínimo hasta 557% como máximo. De manera similar, Bolivia obtiene una TIR esperada de 224%, con un rango que va desde un mínimo de 171% hasta un máximo de 270%. Cabe señalar que cada uno de los valores de la TIR calculados para los países de la Comunidad Andina supera sus respectivas tasas sociales de descuento. Este resultado evidencia que la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo es rentable a largo plazo en cada uno de los países considerados.

Tabla 14. Evaluación gubernamental a largo plazo

Concepto	Perú	Ecuador	Bolivia
Valor Actual Neto (millones US\$)	728.68	959.05	285.07
Valor mínimo esperado	480.22	650.17	171.13
Valor máximo esperado	978.11	1,283.00	403.71
			
Tasa Interna de Retorno	335%	468%	224%
Valor mínimo esperado	266%	373%	171%
Valor máximo esperado	395%	557%	355%
			

4.1.3. Impacto esperado de la biotecnología en la calidad ambiental

a. Cociente de impacto ambiental

A partir de la revisión de los insecticidas específicos utilizados en cada uno de los países de la Comunidad Andina, se evidencia que los productores de maíz emplean insecticidas con el mismo ingrediente activo en los tres países. Este componente, coincidentemente utilizado para combatir plagas como el gusano cogollero y el gusano de tierra, es el Chlorpyrifos, cuyo Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ) se sitúa en 26.9/ha. Según la literatura previa, la dosis recomendada de Chlorpyrifos es de 1.5 litros/ha, con una concentración del ingrediente activo del 48%, y las aplicaciones sugeridas son dos como máximo por temporada, siendo usualmente dos temporadas al año.

La tabla 15 el impacto ambiental derivado del uso de pesticidas específicos para combatir las plagas característicamente presentes en la zona de estudio, durante el periodo comprendido entre 2007 y 2021. El impacto ambiental total generado por la producción de maíz amarillo con tecnología convencional de semillas en Perú superó los 320 millones de Unidades de Impacto Ambiental (EIQ). En el caso de Ecuador, este valor ascendió a más de 414 millones de EIQ, y en Bolivia, la cifra superó los 467 millones de EIQ. En conjunto, el impacto ambiental generado en la Comunidad Andina durante este periodo alcanzó un valor superior a los 1,202 millones de EIQ. Las tablas 16, 17 y 18 presentan, en su primera columna, proyecciones sobre la superficie cosechada de maíz amarillo en cada país de la Comunidad Andina durante el periodo 2022-2038, mismo periodo utilizado en el modelo de excedentes económicos. A continuación, se plantean dos escenarios posibles: uno en el cual se continúa utilizando semillas tratadas con tecnología convencional en la superficie destinada al cultivo, y otro en el cual se adoptan gradual y proporcionalmente semillas tratadas con biotecnología, siguiendo la tasa de adopción propuesta por Rogers *et al.* (2003). En relación con la superficie proyectada con semillas convencionales, se sugiere que el 85% de esta área será tratada con productos químicos para combatir las plagas que afectan el cultivo, conforme a lo propuesto por Rodríguez (2023) y Mogollón (2015). Por otro lado, en el caso de la posible adopción de semillas tratadas con biotecnología, se plantea que esta nueva tecnología se implementará en un porcentaje de la superficie prevista, mas no en la totalidad de la misma.

Tabla 15. Impacto ambiental del uso de semillas tratadas con tecnología convencional de maíz amarillo (2007-2021)

Año	EIQ i.a. (EIQ/ha)	Dosis i.a. (kg/ha)	Concentra- ción i.a. (%)	EIQ campo	Aplicacio- nes (Apl/año)	Perú		Ecuador		Bolivia	
						Superficie cosechada (ha)	Impacto EIQ convencional	Superficie cosechada (ha)	Impacto EIQ convencional	Superficie cosechada (ha)	Impacto EIQ convencional
2007	26.85	1.5	48%	19.33	4	282,814	21,869,441	408,976	31,625,296	320,493	24,783,083
2008	26.85	1.5	48%	19.33	4	297,650	23,016,679	358,480	27,720,541	364,084	28,153,888
2009	26.85	1.5	48%	19.33	4	302,368	23,381,513	368,769	28,516,169	392,746	30,370,263
2010	26.85	1.5	48%	19.33	4	294,754	22,792,737	440,346	34,051,075	302,745	23,410,665
2011	26.85	1.5	48%	19.33	4	277,386	21,449,705	577,784	44,678,881	334,456	25,862,814
2012	26.85	1.5	48%	19.33	4	296,598	22,935,330	486,580	37,626,258	392,405	30,343,894
2013	26.85	1.5	48%	19.33	4	293,329	22,682,545	431,241	33,347,004	455,323	35,209,217
2014	26.85	1.5	48%	19.33	4	271,085	20,962,461	381,066	29,467,072	463,479	35,839,904
2015	26.85	1.5	48%	19.33	4	294,473	22,771,008	310,788	24,032,614	441,545	34,143,792
2016	26.85	1.5	48%	19.33	4	265,059	20,496,482	236,240	18,267,967	394,314	30,491,513
2017	26.85	1.5	48%	19.33	4	263,510	20,376,701	262,351	20,287,078	424,907	32,857,208
2018	26.85	1.5	48%	19.33	4	256,358	19,823,651	255,376	19,747,715	462,187	35,739,996
2019	26.85	1.5	48%	19.33	4	254,544	19,683,378	274,465	21,223,830	468,080	36,195,690
2020	26.85	1.5	48%	19.33	4	236,369	18,277,942	259,084	20,034,448	422,859	32,698,841
2021	26.85	1.5	48%	19.33	4	253,239	19,582,465	305,986	23,661,285	409,862	31,693,809
						Impacto EIQ Perú	320,102,040	Impacto EIQ Ecuador	414,287,234	Impacto EIQ Bolivia	467,794,576

Tabla 16. Proyección de superficie con semillas convencionales y tratadas con biotecnología en Perú

Años	Sup. Cosechada esperada (ha)	Sup. Tratada con pesticidas (%)	Semilla convencional	Semilla tratada con biotecnología		
			Sup. Cosechada (ha)	Tasa de adopción	Sup. Adopta biotecnología (ha)	Sup. No adopta biotecnología (ha)
2022	260,693	85%	221,589	0.00%	-	221,589
2023	245,376	85%	208,569	2.80%	5,840	202,729
2024	241,889	85%	205,605	16%	32,897	172,709
2025	238,402	85%	202,642	50%	101,321	101,321
2026	234,915	85%	199,678	80%	159,742	39,936
2027	231,428	85%	196,714	80%	157,371	39,343
2028	227,941	85%	193,750	80%	155,000	38,750
2029	224,454	85%	190,786	80%	152,629	38,157
2030	220,967	85%	187,822	80%	150,258	37,564
2031	217,480	85%	184,858	80%	147,887	36,972
2032	213,993	85%	181,894	80%	145,516	36,379
2033	210,507	85%	178,931	80%	143,144	35,786
2034	207,020	85%	175,967	80%	140,773	35,193
2035	203,533	85%	173,003	80%	138,402	34,601
2036	200,046	85%	170,039	80%	136,031	34,008
2037	196,559	85%	167,075	80%	133,660	33,415
2038	193,072	85%	164,111	80%	131,289	32,822

Tabla 17. Proyección de superficie con semillas convencionales y tratadas con biotecnología en Ecuador

Años	Sup. Cosechada esperada (ha)	Sup. Tratada con pesticidas (%)	Semilla convencional	Semilla tratada con biotecnología		
			Sup. Cosechada (ha)	Tasa de adopción	Sup. Adopta biotecnología (ha)	Sup. No adopta biotecnología (ha)
2022	284,700	85%	241,995	0.00%	-	241,995
2023	236,648	85%	201,151	2.80%	5,632	195,519
2024	223,002	85%	189,552	16%	30,328	159,224
2025	209,356	85%	177,953	50%	88,976	88,976
2026	195,710	85%	166,354	80%	133,083	33,271
2027	182,064	85%	154,754	80%	123,804	30,951
2028	168,418	85%	143,155	80%	114,524	28,631
2029	154,772	85%	131,556	80%	105,245	26,311
2030	141,126	85%	119,957	80%	95,966	23,991
2031	127,480	85%	108,358	80%	86,686	21,672
2032	113,834	85%	96,759	80%	77,407	19,352
2033	100,188	85%	85,160	80%	68,128	17,032
2034	86,542	85%	73,560	80%	58,848	14,712
2035	72,896	85%	61,961	80%	49,569	12,392
2036	59,250	85%	50,362	80%	40,290	10,072
2037	45,604	85%	38,763	80%	31,010	7,753
2038	31,958	85%	27,164	80%	21,731	5,433

Tabla 18. Proyección de superficie con semillas convencionales y semillas con biotecnología en Bolivia

Años	Sup. Cosechada esperada (ha)	Sup. Tratada con pesticidas (%)	Semilla convencional	Semilla tratada con biotecnología		
			Sup. Cosechada (ha)	Tasa de adopción	Sup. Adopta biotecnología (ha)	Sup. No adopta biotecnología (ha)
2022	408,193	85%	346,964	0.00%	-	346,964
2023	460,874	85%	391,743	2.80%	10,969	380,774
2024	467,612	85%	397,470	16%	63,595	333,875
2025	474,349	85%	403,197	50%	201,598	201,598
2026	481,087	85%	408,924	80%	327,139	81,785
2027	487,824	85%	414,651	80%	331,721	82,930
2028	494,562	85%	420,378	80%	336,302	84,076
2029	501,299	85%	426,105	80%	340,884	85,221
2030	508,037	85%	431,831	80%	345,465	86,366
2031	514,775	85%	437,558	80%	350,047	87,512
2032	521,512	85%	443,285	80%	354,628	88,657
2033	528,250	85%	449,012	80%	359,210	89,802
2034	534,987	85%	454,739	80%	363,791	90,948
2035	541,725	85%	460,466	80%	368,373	92,093
2036	548,462	85%	466,193	80%	372,954	93,239
2037	555,200	85%	471,920	80%	377,536	94,384
2038	561,937	85%	477,647	80%	382,117	95,529

Finalmente, en las tablas 19, 20 y 21, se lleva a cabo una comparación entre el impacto ambiental esperado por el uso de semillas tratadas con tecnología convencional y el uso de semillas tratadas con biotecnología en la Comunidad Andina. En Perú, la adopción de esta tecnología resultará en la reducción del impacto ambiental, pasando de 247 millones a 90 millones de EIQ, lo que equivale a una disminución del 63.43%. Asimismo, en el caso de Ecuador, la incorporación de semillas tratadas con biotecnología tiene el potencial de reducir el impacto ambiental en un 54.69%, disminuyendo de 159 millones a 72 millones de EIQ. Por último, en Bolivia, la implementación de esta nueva tecnología podrá reducir el impacto ambiental en 66.92%, disminuyendo el impacto ambiental de 564 millones a 186 millones de EIQ.

Los resultados obtenidos confirman que la integración de la biotecnología en el cultivo de maíz amarillo conlleva a un menor impacto ambiental. Esto se debe a las propiedades inherentes de la biotecnología, las cuales ofrecen una mayor resistencia a las plagas y reducen la necesidad de utilizar pesticidas específicos. En consecuencia, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro impactará de manera positiva en la calidad ambiental en los países pertenecientes a la Comunidad Andina.

Tabla 19. Impacto ambiental esperado con semillas de maíz amarillo tratadas con tecnología convencional y con biotecnología en Perú (2022-2038)

Años	EIQ campo	Aplicaciones (Apl/año)	Impacto esperado EIQ convencional	Impacto esperado EIQ con biotecnología	Ahorro de EIQ por adoptar biotecnología
2022	19.33	4	17,135,038	17,135,038	0
2023	19.33	4	16,128,245	15,676,655	451,591
2024	19.33	4	15,899,055	13,355,206	2,543,849
2025	19.33	4	15,669,865	7,834,933	7,834,933
2026	19.33	4	15,440,675	3,088,135	12,352,540
2027	19.33	4	15,211,485	3,042,297	12,169,188
2028	19.33	4	14,982,295	2,996,459	11,985,836
2029	19.33	4	14,753,105	2,950,621	11,802,484
2030	19.33	4	14,523,915	2,904,783	11,619,132
2031	19.33	4	14,294,725	2,858,945	11,435,780
2032	19.33	4	14,065,535	2,813,107	11,252,428
2033	19.33	4	13,836,345	2,767,269	11,069,076
2034	19.33	4	13,607,155	2,721,431	10,885,724
2035	19.33	4	13,377,965	2,675,593	10,702,372
2036	19.33	4	13,148,775	2,629,755	10,519,020
2037	19.33	4	12,919,585	2,583,917	10,335,668
2038	19.33	4	12,690,395	2,538,079	10,152,316
Total			247,684,159	90,572,223	157,111,936

Tabla 20. Impacto ambiental esperado con semillas de maíz amarillo tratadas con tecnología convencional y con biotecnología en Ecuador (2022-2038)

Años	EIQ campo	Aplicaciones (Apl/año)	Impacto esperado EIQ convencional	Impacto esperado EIQ con biotecnología	Ahorro de EIQ por adoptar biotecnología
2022	19.33	4	18,712,989	18,712,989	0
2023	19.33	4	15,554,599	15,119,070	435,529
2024	19.33	4	14,657,661	12,312,435	2,345,226
2025	19.33	4	13,760,723	6,880,362	6,880,362
2026	19.33	4	12,863,785	2,572,757	10,291,028
2027	19.33	4	11,966,847	2,393,369	9,573,478
2028	19.33	4	11,069,909	2,213,982	8,855,927
2029	19.33	4	10,172,971	2,034,594	8,138,377
2030	19.33	4	9,276,034	1,855,207	7,420,827
2031	19.33	4	8,379,096	1,675,819	6,703,277
2032	19.33	4	7,482,158	1,496,432	5,985,726
2033	19.33	4	6,585,220	1,317,044	5,268,176
2034	19.33	4	5,688,282	1,137,656	4,550,626
2035	19.33	4	4,791,344	958,269	3,833,075
2036	19.33	4	3,894,406	778,881	3,115,525
2037	19.33	4	2,997,468	599,494	2,397,975
2038	19.33	4	2,100,530	420,106	1,680,424
Total			159,954,023	72,478,466	87,475,556

Tabla 21. Impacto ambiental esperado con semillas de maíz amarillo tratadas con tecnología convencional y con biotecnología en Bolivia (2022-2038)

Años	EIQ campo	Aplicaciones (Apl/año)	Impacto esperado EIQ convencional	Impacto esperado EIQ con biotecnología	Ahorro de EIQ por adoptar biotecnología
2022	19.33	4	26,830,036	26,830,036	0
2023	19.33	4	30,292,702	29,444,506	848,196
2024	19.33	4	30,735,553	25,817,865	4,917,688
2025	19.33	4	31,178,404	15,589,202	15,589,202
2026	19.33	4	31,621,256	6,324,251	25,297,005
2027	19.33	4	32,064,107	6,412,821	25,651,286
2028	19.33	4	32,506,959	6,501,392	26,005,567
2029	19.33	4	32,949,810	6,589,962	26,359,848
2030	19.33	4	33,392,662	6,678,532	26,714,129
2031	19.33	4	33,835,513	6,767,103	27,068,411
2032	19.33	4	34,278,365	6,855,673	27,422,692
2033	19.33	4	34,721,216	6,944,243	27,776,973
2034	19.33	4	35,164,068	7,032,814	28,131,254
2035	19.33	4	35,606,919	7,121,384	28,485,535
2036	19.33	4	36,049,771	7,209,954	28,839,816
2037	19.33	4	36,492,622	7,298,524	29,194,098
2038	19.33	4	36,935,473	7,387,095	29,548,379
Total			564,655,436	186,805,357	377,850,079

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La adopción de biotecnología, como uno de los avances en la ciencia y tecnología, ha evidenciado impactar positivamente en el ámbito de la agricultura de acuerdo con Xiong *et al.* (2020) y Zayas (2018). Asimismo, siguiendo lo argumentado por Pixley (2019) y Barrows *et al.* (2014), los beneficios económicos, sociales y ambientales derivados de la biotecnología, tales como el incremento de los ingresos de los agricultores, la mejora en la calidad del producto y el menor impacto en el ambiente, han superado ampliamente las potenciales inquietudes derivadas de la incertidumbre asociada a la introducción de esta nueva tecnología, como la recombinación genética, posibles repercusiones en la salud humana y reducción de los niveles nutricionales.

En consecuencia, diversos países, entre ellos, países latinoamericanos, han incorporado la biotecnología en sus procesos productivos. Entre ellos, se destacan Argentina, Paraguay y Brasil, cuyos enfoques se centraron en cultivos como la soya, el algodón y el maíz (Barragán-Ocaña *et al.* 2019).

De manera específica, el maíz amarillo ha adquirido relevancia en países de la Comunidad Andina, al posicionarse como un componente esencial para la elaboración de alimento balanceado para animales, con un elevado número de agricultores dedicados a la producción de este insumo y cuyo impacto ambiental se encuentra vinculado con las altas cantidades de agroquímicos empleados en su cultivo.

En este contexto, la presente investigación estuvo centrada en una evaluación de los potenciales impactos económicos, sociales y ambientales que podrían derivarse de la adopción de biotecnología en países de la Comunidad Andina que aún no han implementado esta tecnología, centrándose específicamente en el caso del maíz amarillo duro.

4.2.1. Evaluación ex – ante económica de la biotecnología en el maíz amarillo

En este sentido, la evaluación económica ex ante de la biotecnología demostró que adopción de esta nueva tecnología en el cultivo de maíz amarillo será económicamente favorable y proporcionará una mayor rentabilidad a los agricultores dedicados a este cultivo en los tres países de la Comunidad Andina. Al respecto, estos resultados son consistentes con investigaciones preliminares realizadas sobre el cultivo de maíz amarillo, ya sean evaluaciones ex ante, como las presentadas por Macall y Smith (2020), Yirga *et al.* (2020) y Ashok *et al.* (2019); evaluaciones ex post, como las de Macall *et al.* (2020), Ala-Kokko *et al.* (2021) y Brookes (2019); y en entornos latinoamericanos, como Diez *et al.* (2018), Maza *et al.* (2023), Vasquez (2022) y Reyes *et al.* (2022).

En dichas investigaciones se sostiene que los beneficios económicos esperados a partir de la adopción de cultivos modificados por biotecnología tienden a ser mayores a los que utilizan tecnologías convencionales dado los diferentes contextos estudiados.

4.2.2. Evaluación ex – ante social de la biotecnología en el maíz amarillo

Además, la evaluación social ex ante señala que la implementación de la biotecnología podría representar una estrategia socialmente beneficiosa para la producción de maíz amarillo en la Comunidad Andina. Este hallazgo se alinea con investigaciones previas de Macall *et al.* (2020), Macall y Smith (2020), así como Vasquez (2022), quienes emplearon un modelo de excedentes económicos similar al utilizado en este estudio. Dichas investigaciones corroboraron que la adopción de biotecnología tiene un impacto positivo en los excedentes anticipados de los agentes económicos.

Cabe mencionar que, siguiendo lo argumentado por Lassoued *et al.* (2018), el éxito de las innovaciones agrícolas y alimentarias depende tanto de su aceptación por parte de los consumidores, productores, los organismos reguladores y organizaciones no gubernamentales (ONG). Además, en caso la participación de estas partes interesadas presente intereses contrapuestos se genera ambigüedad con respecto a legitimidad de la innovación. Por tanto, el éxito de una innovación tecnología en el campo agrícola y alimentario se podrá alcanzar cuando su rendimiento técnico, su entorno normativo y su aceptación social puedan ir en paralelo y expandirse, lo cual reduce la incertidumbre en los agentes económicos involucrados (Lassoued *et al.* 2018).

4.2.3. Evaluación ex – ante ambiental de la biotecnología en el maíz amarillo

Por último, la evaluación social ex ante ambiental evidenció que la incorporación de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo conlleva a una disminución del impacto ambiental y a una mejora en la calidad del entorno. Este hallazgo concuerda con los resultados de evaluaciones ambientales ex post, como las realizadas por Brookes (2020) y Brookes (2022), donde los autores sostienen que la biotecnología se relaciona con una reducción promedio del 20% en la huella ambiental en un periodo promedio de 20 años. Lo anterior debido a que la adopción de esta nueva tecnología ha incentivado a los agricultores a ajustar sus métodos de control de plagas, volviéndolos más eficientes en la aplicación de pesticidas y disminuyendo el impacto ambiental.

V. CONCLUSIONES

La adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina tendrá un impacto positivo en los aspectos económicos, sociales y ambientales.

En términos económicos, a corto plazo, la adopción de biotecnología en semillas del cultivo de maíz amarillo duro aumentará el margen de utilidad agrícola en Perú (92.7%), Ecuador (82.5%), y Bolivia (49%), en comparación con el uso de semillas convencionales. Asimismo, el ratio beneficio costo marginal esperado promedio en los tres países sería de 1.15, lo que indica que la nueva tecnología proporcionará una ganancia de 15 centavos por cada dólar invertido, lo que confirma su viabilidad económica y su potencial para mejorar la rentabilidad de los agricultores.

En el ámbito social a largo plazo, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro beneficiará a consumidores, productores y la sociedad en general en los países de la Comunidad Andina. Los consumidores de Perú, Ecuador y Bolivia experimentarán mejoras en la oferta y calidad de maíz amarillo, mientras que los productores aumentarán sus beneficios gracias a una mayor rentabilidad y al uso reducido de agroquímicos. Adicionalmente, la evaluación gubernamental revela que el Valor Actual Neto de los países de la Comunidad Andina superan los US\$ 200 millones; asimismo, los valores de la Tasa Interna de Retorno superan las tasas sociales de descuento y exceden el 200%,

En relación con la evaluación ambiental a largo plazo, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro contribuirá positivamente a la calidad ambiental en los países de la Comunidad Andina. Se proyecta una reducción del impacto ambiental, alcanzando el 63.4% en Perú, 54.7% en Ecuador y 66.9% en Bolivia durante el periodo 2023-2038. Este resultado se atribuye a la capacidad potencial de la biotecnología para brindar resistencia a plagas y reducir la necesidad de utilizar pesticidas específicos.

VI. RECOMENDACIONES

La adopción de la biotecnología en el sector agrícola se considera un factor con potenciales beneficios económicos, sociales y ambientales. Por ello, se propone difundir activamente información sobre la posible adopción de esta nueva tecnología, así como impulsar la implementación de programas destinados a la innovación de semillas, procesos y regulaciones en el ámbito agrícola, con el fin de fortalecer la competitividad del cultivo de maíz en la Comunidad Andina.

Se propone el desarrollo de futuras investigaciones con estudios de impacto de mayor alcance, que consideren factores adicionales como, por ejemplo, las fluctuaciones en los precios internacionales de los insumos de producción y los impactos del cambio climático sobre el cultivo. Además, se sugiere complementar este estudio con evaluaciones agronómicas y alimentarias, integrándolas en el proceso de toma de decisiones gubernamentales en los países de la Comunidad Andina sobre la adopción de biotecnología en el cultivo del maíz.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboites, G; Félix, G. 2011. Centroamérica: Uso de semillas genéticamente modificadas e incremento del ingreso de los agricultores. CEPAL. Sede Sub regional México: Naciones Unidas.
- Abro, Z; Kassie, M; Tanga, C; Beesigamukama, D; Diiro, G. 2020. Socio-economic and environmental implications of replacing conventional poultry feed with insect-based feed in Kenya. *Journal of Cleaner Production* 265:121871. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121871>
- Agencia Nacional de Hidrocarburos. 2022. Compliance ISO 37001. Resolución Administrativa. Bolivia.
- Agostini, A; Colauzzi, M; Amaducci, S. 2021. Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. *Applied Energy*, 281, 116102. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116102>
- Aguilar, A; Twardowski, T; Wohlgemuth, R. 2019. Bioeconomy for sustainable development. *Biotechnology Journal* 1800638. <https://doi.org/10.1002/biot.201800638>
- Ahmed, H; Alvåsen, K; Berg, C; Hansson, H; Hultgren, J; Röcklinsberg, H; Emanuelson, U. 2020. Assessing economic consequences of improved animal welfare in Swedish cattle fattening operations using a stochastic partial budgeting approach. *Livestock Science* 232:103920. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.103920>
- Ala-Kokko, K; Nalley, LL; Shew, AM; Tack, JB; Chaminuka, P; Matlock, MD; D'Haese, M. 2021. Economic and ecosystem impacts of GM maize in South Africa. *Global Food Security*, 29:100544. <https://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*. Wallingford: CAB International.

- Alvåsen, K; Hansson, H; Emanuelson, U; Westin, R. 2017. Animal welfare and economic aspects of using nurse sows in Swedish pig production. *Frontiers in Veterinary Science*, 4, 204. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00204>
- Alvåsen, K; Haskell, MJ; Ivemeyer, S; Eriksson, H; Bicknell, K; Fall, N; Ahmed, H. 2023. Assessing short-term economic consequences of cow-calf contact systems in dairy production using a stochastic partial budgeting approach. *Frontiers in Animal Science*, 4, 1197327. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1197327>
- Andrade, D; Pasini, F; Scarano, FR. 2020. Syntropy and innovation in agriculture. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 45:20-24. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.08.003>
- Andrade, JF; Edreira, JIR; Farrow, A; van Loon, MP; Craufurd, PQ; Rurinda, J; Zingore, S; Chamberlin, J; Claessens, L; Adewopo, J; van Ittersum, MK; Cassman, KG; Grassini, P. 2019. A spatial framework for ex-ante impact assessment of agricultural technologies. *Global Food Security*, 20:72-81. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.12.006>
- Ashok, KR; Chinnadurai, M; Varadha Raj, S; Sanjeevikumar, A. 2019. Socio-economic Assessment of LMOs: An ex ante analysis of insect resistance and herbicide tolerance in maize and brinjal in Tamil Nadu. *Socio-Economic Impact Assessment of Genetically Modified Crops: Global Implications Based on Case-Studies from India* p. 101-120. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9511-7_6
- ANAPO (Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo, Bolivia). 2022. *Manual de Recomendaciones Técnicas en el Cultivo de Trigo*. Santa Cruz.
- Barragán-Ocaña, A; Reyes-Ruiz, G; Olmos-Peña, S; Gómez-Viquez, H. 2019. Transgenic crops: trends and dynamics in the world and in Latin America. *Transgenic research* 28:391-399. <https://doi.org/10.1007/s11248-019-00123-8>
- Barrows, G; Sexton, S; Zilberman, D. 2014. Agricultural biotechnology: the promise and prospects of genetically modified crops. *Journal of economic perspectives*, 28(1), 99-120. <https://doi.org/10.1257/jep.28.1.99>
- Begna, T. 2020. The Role of Genetically Modified Crops to Agricultural Advancement. *International Journal of Research* 6(10):9-22. <https://doi.org/10.20431/2454-6224.0610002>

- Behzadi, G; O’Sullivan, MJ; Olsen, TL; Zhang, A. 2018. Agribusiness supply chain risk management: A review of quantitative decision models. *Omega* 79:21-42. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.07.005>
- Bhatti, MU; Tabassum, B; Berry, C; Khan, A; Qaisar, U; Ali, E; Khalid, R; Farooq, AM; Tariq, M; Ayaz, H. 2023. Transgenic maize inbred lines expressing high levels of *Bacillus thuringiensis* vegetative insecticidal protein (*Vip3Aa86*) offer effective control of maize stem borer (*Chilo partellus*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 153(2): 417-427. <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02483-w>
- Blanco, CA; Chiaravalle, W; Dalla-Rizza, M; Farias, JR; García-Degano, MF; Gastaminza, G; Mota-Sánchez, D; Murúa, MG; Omoto, C; Pieralisi, BK; Rodríguez, J; Rodríguez-Maciel, JC; Terán-Santofimio, H; Terán-Vargas, AP; Valencia, SJ; Willink, E. 2016. Current situation of pests targeted by Bt crops in Latin America. *Current opinion in insect science* 15:131-138. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.04.012>
- Bravo, E. 2017. Visiones y tensiones sobre el debate de los transgénicos en el Ecuador. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, (30). <https://doi.org/10.15359/prne.15-30.1>
- 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. <https://doi.org/10.1080/21645698.2019.1614393>
- Brookes, G. 2020. Genetically modified (GM) crop use in Colombia: farm level economic and environmental contributions. *GM Crops & Food*, 11(3):140-153. <https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1715156>
- Brookes, G. 2022. Genetically modified (GM) crop use 1996–2020: Environmental impacts associated with pesticide use change. *GM Crops & Food* 13(1):262-289. <https://doi.org/10.1080/21645698.2022.2118497>
- Cameira, MDR; Santos-Pereira, L. 2019. Innovation issues in water, agriculture and food. *Water* 11(6):1230. <https://doi.org/10.3390/w11061230>
- Cap, E; Brescia, V; Lema, D; Berges, M; Casellas, K; Menezes T; Piketty, MG; Melo, M; Murguia, P; Garcia, F; Caputi, P; Lanfranco, B. 2006. Mercosur+ 2: Estimation of Supply and Demand Elasticities of Agricultural Products. Projection to 2012 of Baseline Supply Scenarios. EC Project EUMercoPol 2005, 8.

- Caradus, JR. 2022. Intended and unintended consequences of genetically modified crops—myth, fact and/or manageable outcomes? *New Zealand Journal of Agricultural Research* 66(6):519-619. <https://doi.org/10.1080/00288233.2022.2141273>
- Carzoli, AK; Aboobucker, SI; Sandall, LL; Lübberstedt, TT; Suza, WP. 2018. Risks and opportunities of GM crops: Bt maize example. *Global food security* 19:84-91. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.10.004>
- Castaño-Hernández, A. 2015. Alimentos derivados de cultivos genéticamente modificados. ¿Nuevos, seguros para la salud humana, consumidos? *Pediatría* 48(3):68–74. <https://doi.org/10.1016/j.rcpe.2015.09.001>
- Castillo, JG; Zhangallimbay, D. 2021. La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: una aplicación para el Ecuador. *Revista CEPAL*. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/91cab4af-bbd4-41c5-b263-3e217bd549eb/content>
- Chang-Huayanca, AJ. 2020. El debate suscitado en el Perú en torno al proceso de promulgación e implementación de la Ley de Moratoria al ingreso de cultivos transgénicos—Ley N° 29811. Tesis para optar el título de Magíster en Desarrollo Ambiental. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Demont, M; Cerovska, M; Daems, W; Dillen, K; Fogarasi, J; Mathijs, E; Muška, F; Soukup, J; Tollens, E. 2008. Ex ante impact assessment under imperfect information: biotechnology in new member states of the EU. *Journal of Agricultural Economics* 59(3):463-486. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2008.00157.x>
- Diez, R; Gómez, R; Linares, A. 2018. Rentabilidad de la innovación genética en maíz amarillo duro (*Zea mays L. var indurata*) y papa blanca (*Solanum tuberosum*) en el Perú. *Enfoque* (2):43-74. <http://dx.doi.org/10.26439/enfoque2016.n002.1870>
- Dong, Z; Pan, Z; An, P; Zhang, J; Zhang, J; Pan, Y; Huang, L; Zhao, H; Han, G; Wu, D; Wang, J; Fan, D; Gao, L; Pan, X. 2016. A quantitative method for risk assessment of agriculture due to climate change. *Theoretical and Applied Climatology* 131(2):653–659. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1988-2>
- EFSA Panel on Plant Health, Jeger, M; Bragard, C; Caffier, D; Candresse, T; Chatzivassiliou, E; Dehnen-Schmutz, K; Gilioli, G; Gregoire, JC; Jaques-Miret, JA; Navajas-Navarro, M; Niere, B; Parnell, S; Potting, R; Rafoss, T; Rossi, V; Urek, G;

- Van-Bruggen, A; Van der Werf, W; West, J; Winter, S; Gardi, C; Aukhojee, M; MacLeod, A. 2017. Pest categorisation of *Spodoptera frugiperda*. Efsa Journal 15(7) <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4927>
- Eshenaur, B; Grant, J; Kovach, J; Petzoldt, C; Degni, J; Tette, J. 2015. Environmental Impact Quotient: A Method to Measure the Environmental Impact of Pesticides. New York State Integrated Pest Management Program, Cornell Cooperative Extension, Cornell University. 1992–2015. <http://www.nysipm.cornell.edu/publications/EIQ>
- Fernández-Northcote, EN; Navia, O; Gandarillas, A. 1999. Bases de las estrategias de control químico del tizón desarrolladas por PROINPA en Bolivia. Revista Latinoamericana de la Papa 11: 1-25.
- Fuglie, K; Madhur, G; Aparajita, G; Maloney, W. 2020. Harvesting Prosperity: Technology and Productivity Growth in Agriculture. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1393-1>
- Gabriel, J. 2014. Biotecnología moderna en los alimentos actuales y del mañana. Journal of the Selva Andina Biosphere 2(1):23-29.
- Gaceta Oficial de Bolivia. 2020. Decreto Supremo 4232. <http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo/normas/buscar/4232>
- García-Lara, S; Serna-Saldivar, SO. 2019. Corn History and Culture. Corn, p. 1–18. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811971-6.00001-2>
- Ghaffar, A; Rahman, MHU; Ahmed, S; Haider, G; Ahmad, I; Khan, MA; Afzaal, M; Ahmed, S; Fahad, S; Hussain, J; Ahmed, A. 2022. Adaptations in cropping system and pattern for sustainable crops production under climate change scenarios. In Improvement of plant production in the era of climate change (pp. 1-34). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003286417-1>
- Grassini, P. 2019. A spatial framework for ex-ante impact assessment of agricultural technologies. Global Food Security 20:72-81. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.12.006>
- Gupta, VK; Thakkar, JJ. 2018. A quantitative risk assessment methodology for construction project. Sādhanā 43(7):116. <https://doi.org/10.1007/s12046-018-0846-6>

- Gutiérrez, MEM. 2011. Biotecnología aplicada en la reproducción de peces. *Informador técnico*, (75), 66-73.
- Hassan, A; Ijaz, SS; Lal, R; Barker, D; Ansar, M; Ali, S; Jiang, S. 2016. Tillage effect on partial budget analysis of cropping intensification under dryland farming in Punjab, Pakistan. *Archives of Agronomy and Soil Science* 62(2):151-162. <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1043527>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2014. La innovación en la agricultura. Un proceso clave para el desarrollo sostenible.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2020. Análisis económico por cultivo priorizado: Maíz amarillo duro, Marco Orientador de Cultivos 2020 – 2021. Gestión Participativa.
- Instituto Boliviano de Comercio Exterior. 2016. Impacto socioeconómico y medioambiental en Bolivia a partir de la soya y maíz genéticamente mejorados. Comercio Exterior. Disponible en <https://ibce.org.bo/publicaciones-descarga.php?id=2351&opcion=1>
- INE (Instituto Nacional de Estadística, Bolivia). 2023. Estadísticas económicas – Agropecuaria. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/agropecuaria/>
- Jayne, TS; Mather, D; Mason, N; Ricker-Gilbert, J. 2013. How do fertilizer subsidy programs affect total fertilizer use in sub-Saharan Africa? Crowding out, diversion, and benefit/cost assessments. *Agricultural economics* 44(6):687-703. <https://doi.org/10.1111/agec.12082>
- Jerlström, J; Huang, W; Ehlorsson, CJ; Eriksson, I; Reneby, A; Comin, A. 2022. Stochastic partial budget analysis of strategies to reduce the prevalence of lung lesions in finishing pigs at slaughter. *Frontiers in Veterinary Science* 9:957975. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.957975>
- Joly, PB; Colinet, L; Gaunand, A; Lemarié, S; Matt, M. 2016. Agricultural research impact assessment: Issues, methods and challenges. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*. <https://doi.org/10.1787/18156797>

- Kausch, AP; Nelson-Vasilchik, K; Tilelli, M; Hague, JP. 2021. Maize tissue culture, transformation, and genome editing. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant* 57(4):653-671. <https://doi.org/10.1007/s11627-021-10196-y>
- Kovach, J; Petzoldt, C; Degnil, J; Tette, J. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin* 139:1–8. <https://hdl.handle.net/1813/55750>
- Krishna, VV; Qaim, M. 2008. Potential impacts of Bt eggplant on economic surplus and farmers' health in India. *Agricultural economics* 38(2):167-180. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2008.00290.x>
- Król-Badziak, A; Pishgar-Komleh, SH; Rozakis, S; Księżak, J. 2021. Environmental and socio-economic performance of different tillage systems in maize grain production: Application of Life Cycle Assessment and Multi-Criteria Decision Making. *Journal of cleaner production*, 278, 123792. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123792>
- Kumar, K; Gambhir, G; Dass, A; Tripathi, AK; Singh, A; Jha, AK; Yadava, P; Choudhary, M; Rakshit, S. 2020. Genetically modified crops: current status and future prospects. *Planta* 251(4):1-27. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03372-8>
- Kusumastuti, TA; Widiati, R; Bintara, S. 2018. Partial budget analysis to determine additional income of Etawa crossbred goat farmers using breeding system in Kulon Progo Regency, Yogyakarta, Indonesia. In 4th International Conference on Food, Agriculture and Natural Resources (FANRes 2018) (pp. 56-60). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/fanres-18.2018.12>
- Kuwornu, JK; Oduro, E; Amegashie, DP; Fening, KO; Yangyouru, M; MacCarthy, DS; Amoatey, C; Datta, A. 2018. Cost-benefit analysis of conventional and integrated crop management for vegetable production. *International Journal of Vegetable Science* 24(6):597-611. <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1457585>
- Lassoued, R; Smyth, SJ; Phillips, PW; Hessel, H. 2018. Regulatory uncertainty around new breeding techniques. *Frontiers in plant science* 9:1291. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01291>
- Macall, DM; Kerr, WA; Smyth, SJ. 2022. Economic surplus implications of Mexico's decision to phaseout genetically modified maize imports. *GM Crops & Food* 13(1):388-401. <https://doi.org/10.1080/21645698.2021.2020028>

- Macall, DM; Smyth, SJ. 2019. 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, DM; Trabanino, CR; Soto, AH; Smyth, SJ. 2020. Genetically modified maize impacts in Honduras: production and social issues. *Transgenic Research* 29(5-6):575-586. <https://doi.org/10.1007/s11248-020-00221-y>
- Magruder, JR. 2018. An Assessment of Experimental Evidence on Agricultural Technology Adoption in Developing Countries. *Annual Review of Resource Economics* 10(1). <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100517-023202>
- Manjunath, TM. 2020. Role of transgenic bt-crops in promoting biological control and integrated pest management. *Journal of Biological Control* 34(1):1–7. <https://doi.org/10.18311/jbc/2020/23252>
- Maza, S; Gómez-Oscorima, RM; Diez-Matallana, RA; Fernández-Northcote, EN. 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>
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, Perú). 2020. Maíz Amarillo Duro. Observatorio de las Siembras y Perspectivas de la Producción. Boletín Cuatrimestral. Campaña Agrícola 2020 – 2021. Dirección General de Políticas Agrarias. Recuperado de https://www.pepp.gob.pe/descargas/prod_maiz_amarillo.pdf
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, Perú). 2021. Maíz Amarillo Duro. Observatorio de Commodities. Boletín de Publicación Trimestral. N° 01-2021. Dirección General de Políticas Agrarias.
- Ministerio de Economía y Finanzas. 2022. Tasa Social de Descuento. Anexo 11: Parámetros de Evaluación Social. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva001_2019EF6301.pdf
- Ministerio de Salud y Protección Social. 2011. Reglamentación del etiquetado de los alimentos derivados de los OGM y la identificación de las materias primas que los contengan. Resolución 4254 de 2011. Bogotá: Ministerio de Salud

- Ministerio del Ambiente. 2021. Reglamento de la Ley N° 29811, Ley que establece la Moratoria al Ingreso y Producción de Organismos Vivos Modificados al Territorio Nacional por un Período de 10 años. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. 2010. Implementación del Marco Nacional de Bioseguridad. Ecuador. CUP: 40400000.11.2385. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Dirección Nacional de Biodiversidad.
- Mogollón, RJ. 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. Lima, Perú
- Mohanty, SK; Swain, MR. 2019. Bioethanol Production From Corn and Wheat: Food, Fuel, and Future. *Bioethanol Production from Food Crops*, p. 45–59. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813766-6.00003-5>
- Muhammetoglu, AYŞE; Uslu, B. 2007. Application of environmental impact quotient model to Kumluca region, Turkey to determine environmental impacts of pesticides. *Water science and technology* 56(1):139-145. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.445>
- Murcia-Melo, L. 2016. De las patentes de microorganismos en el tratado de libre comercio Colombia-Unión Europea: un estudio jurídico comparado entre el TLC y la Decisión 486 de la Comunidad Andina de Naciones (CAN) del 2000.
- Nikam, VINAYAK; Kumar, SHIV; Kingsly, IT. 2019. Impact assessment of mobile app using Economic Surplus Model. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 89(6), 1039-1043. <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i6.90831>
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Chile). 2023. Precios diarios internacionales de productos básicos. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2022. Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. Informe trimestral mundial N° 4, Roma. <https://doi.org/10.4060/cb7877es>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2023. Estadísticas alimentarias y agrícolas. Base de datos. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#home>

- Overton, K; Maino, JL; Day, R; Umina, PA; Bett, B; Carnovale, D; Ekesi, S; Meagher, R; Reynolds, OL. 2021. Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Protection* 145:105641. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105641>
- Owusu-Sekyere, E; Hansson, H; Telezhenko, E; Nyman, AK; Ahmed, H. 2023. Economic impact of investment in animal welfare-enhancing flooring solutions—Implications for promoting sustainable dairy production in Sweden. *British Food Journal*, 125(12), 4415-4444.
- Pixley, KV; Falck-Zepeda, JB; Giller, KE; Glenna, LL; Gould, F; Mallory-Smith, CA; Stelly, D; Stewart CN. 2019. Genome Editing, Gene Drives, and Synthetic Biology: Will They Contribute to Disease-Resistant Crops, and Who Will Benefit? *Annual Review of Phytopathology* (57):165–188. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-045954>
- Ramírez-Cabral, N; Medina-García, G; Kumar, L. 2020. Increase of the number of broods of Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) as an indicator of global warming Aumento del número de generaciones de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) como indicador del calentamiento global. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 19(1), 1-16. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2020.11.01>
- Reyna, NA. 2019. Semillas mejoradas para los pequeños productores de Maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) en Los Ríos, Ecuador, periodo 2012-2016. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Economía Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Rodríguez, DE. 2023. Beneficios económicos, sociales y ambientales de la semilla certificada de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) en el bajo Piura. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Economía Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Rogers, E. 2003. *Diffusion of innovations*. 5th Edition. New York: Free Press.
- Sayer, J; Cassman, KG. 2013. Agricultural innovation to protect the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21), 8345-8348. <https://doi.org/10.1073/pnas.1208054110>

- Sharma, B; Sharma, K; Sharma, P; Gupta, I; Kour, J; Kour, K. 2022. Genetically modified maize. *Genetically Modified Crops and Food Security: Commercial, Ethical and Health Considerations*. <https://doi.org/10.4324/9781003278566-6>
- 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>
- Shilomboleni, H; De Plaen, R. 2019. Scaling up research-for-development innovations in food and agricultural systems. *Development in Practice* 29(6):723-734. <https://doi.org/10.1080/09614524.2019.1590531>
- SIEA (Sistema Integrado de Estadística Agraria, Perú). 2022. Perfil Productivo y Competitivo de los Principales Cultivos del Sector. Sistema Integrado de Estadística Agraria.
- Takahashi, K; Muraoka, R; Otsuka, K. 2020. Technology adoption, impact, and extension in developing countries' agriculture: A review of the recent literature. *Agricultural Economics* 51(1):31-45. <https://doi.org/10.1111/agec.12539>
- Tanumihardjo, SA; McCulley, L; Roh, R; Lopez-Ridaura, S; Palacios-Rojas, N; Gunaratna, NS. 2019. Maize agro-food systems to ensure food and nutrition security in reference to the Sustainable Development Goals. *Global Food Security* 25:100327. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100327>
- USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Estados Unidos). 2023. Foreign Agricultural Service. Data & Analysis. Production, Supply and Distribution – PS&D. Disponible en <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home>
- Van-Huylenbroeck, G; Coelho, JC; Pinto, PA. 1996. Evaluation of land consolidation projects (LCPs): A multidisciplinary approach. *Journal of Rural Studies*, 12(3), 297-310. [https://doi.org/10.1016/0743-0167\(96\)00024-1](https://doi.org/10.1016/0743-0167(96)00024-1)
- Vasquez, CZ. 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. Lima, Perú.

- Vega-Rodríguez, A; Rodríguez-Oramas, C; Sanjuán-Velázquez, E; Hardisson de la Torre, A; Rubio-Armendáriz, C; Carrascosa-Iruzubieta, C. 2022. Myths and realities about genetically modified food: A risk-benefit analysis. *Applied Sciences* 12(6):2861. <https://doi.org/10.3390/app12062861>
- Wangithi, C; Muriithi, BW; Diiro, G; Dubois, T; Mohamed, S; Lattorff, MG; Ngowi, BV; Abdel-Rahman, EM; Adan, M; Kassie, M. 2022. Synergies of integrated pest and pollinator management in avocado farming in East Africa: An ex-ante economic analysis. *Plos one* 17(7), e0271241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271241>
- Weißhuhn, P; Helming, K; Ferretti, J. 2018. Research impact assessment in agriculture—A review of approaches and impact areas. *Research Evaluation*, 27(1), 36-42. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvx034>
- Weinraub, M. 2023. U.S. farmers expect corn harvest could be second-biggest ever. *Commodities*. Reuters.
- Wessler, JHH; Zilberman, D. 2021. Biotechnology, bioeconomy, and sustainable life on land. In *Transitioning to sustainable Life on Land* (Vol. 15, pp. 415-435). MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03897-879-4-15>
- 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. <https://doi.org/10.1108/CAER-06-2017-0126>
- Xiong, H; Dalhaus, T; Wang, P; Huang, J. 2020. Blockchain technology for agriculture: applications and rationale. *frontiers in Blockchain* 3:7. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.00007>
- Yirga, C; Nin-Pratt, A; Zambrano, P; Wood-Sichra, U; Habte, E; Kato, E; Komen, J; Falck-Zepeda, JB; Chambers, JA. 2020. GM maize in Ethiopia: an ex ante economic assessment of TELA, a drought tolerant and insect resistant maize (Vol. 1926). *Intl Food Policy Res Inst*.
- Zayas, I. 2018. El desarrollo tecnológico y la innovación como ente principal de competitividad en las empresas del sector agropecuario en el municipio de Angostura, Sinaloa. *Revista Mexicana de Agronegocios* 42:867-877.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Estadísticos de costos de producción del MAD en Perú

Rubros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv Std	Moda
Semilla	80.60	124.80	105.30	22.55	#N/D
Fertilizantes	438.52	825.76	642.29	194.42	#N/D
Pesticidas específicos	58.24	107.64	78.87	25.69	#N/D
Pesticidas multipropósito	5.46	20.80	12.96	7.68	#N/D
Mano de obra	362.70	526.50	421.63	91.05	#N/D
Maquinaria agrícola y equipo	85.28	158.60	123.76	36.80	#N/D
Otros gastos	15.86	337.22	144.65	169.91	#N/D
Costos indirectos	73.06	77.51	75.88	2.45	#N/D
Rendimiento (kg)	9,000.00	10,000.00	9,500.00	500	#N/D
Precio Promedio	0.22	0.25	0.23	0.02	0.22

Anexo 2. Estadísticos de costos de producción del MAD en Ecuador

Rubros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv Std	Moda
Semilla	20.80	36.00	27.93	7.64	#N/D
Fertilizantes	294.00	392.56	359.19	56.46	#N/D
Pesticidas específicos	31.75	72.65	57.45	22.38	#N/D
Pesticidas multipropósito	16.00	39.20	23.85	13.30	#N/D
Mano de obra	491.00	728.80	585.27	126.32	#N/D
Maquinaria agrícola y equipo	0.00	173.00	107.67	93.95	#N/D
Otros gastos	0.00	96.00	32.00	55.43	0
Costos indirectos	73.06	385.99	240.95	157.71	#N/D
Rendimiento (kg)	4,670.00	6,300.00	5,513.33	816.47	#N/D
Precio Promedio	0.33	0.35	0.34	0.01	#N/D

Anexo 3. Estadísticos de costos de producción del MAD en Bolivia

Rubros	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv Std	Moda
Semilla	35.00	103.04	64.68	34.84	#N/D
Fertilizantes	50.40	67.20	61.60	9.70	67.20
Pesticidas específicos	18.65	31.22	22.84	7.26	18.65
Pesticidas multipropósito	11.20	30.63	24.15	11.22	30.63
Mano de obra	33.60	56.00	41.07	12.93	33.60
Maquinaria agrícola y equipo	191.10	219.10	202.07	14.95	#N/D
Otros gastos	56.00	56.00	56.00	0.00	56
Costos indirectos	34.53	41.63	37.32	3.79	#N/D
Rendimiento (kg)	3,200.00	4,000.00	3,600.00	400	#N/D
Precio Promedio	0.25	0.29	0.27	0.02	#N/D

Anexo 4. Método de cambios de excedentes económicos – Perú

Elasticidades y cambios en rendimiento por uso de biotecnología en Perú

Año	Elasticidad de la Demanda (1)	Elasticidad de la Oferta (2)	Cambio en el rendimiento (3)
2022			
2023	0.798	0.408	0.23
2024	0.798	0.408	0.23
2025	0.798	0.408	0.23
.	.	.	.
.	.	.	.
2036	0.798	0.408	0.23
2037	0.798	0.408	0.23
2038	0.798	0.408	0.23

Cambios equivalentes del rendimiento y costos por uso de biotecnología en Perú

Año	Cambio equivalente del rendimiento (4 = 3/2)	Cambio de costos de insumos (5)	Cambio equivalente de costos 6 = 5 / (1 - 3)
2022			
2023	0.564	-0.022	-0.018
.	.	.	.
.	.	.	.
2038	0.564	-0.022	-0.018

Cambio de costos de insumos, probab. de éxito, adopción, depreciación y K_{max} en Perú

Año	Cambio neto costos de insumos (K potencial) (7 = 4 - 6)	Probabilidad de éxito (8)	Tasa de adopción (9)	Tasa de depreciación (10)	K _{max} 11 = (7*8*9*10)
2022					
2023	0.581	0.75	0.028	1	0.012
2024	0.581	0.75	0.16	1	0.070
2025	0.581	0.75	0.5	1	0.218
2026	0.581	0.75	0.8	1	0.349
.
.
2038	0.581	0.75	0.8	1	0.349

Z, precio y producción por uso de biotecnología en Perú

Año	Z (12 = [11*2/(1+2)])	Precio (US\$/t) (13)	Producción(t) (14)
2022			
2023	0.004	230.00	1,253,136
2024	0.024	230.00	1,253,136
2025	0.074	230.00	1,253,136
2026	0.118	230.00	1,253,136
.	.	.	.
.	.	.	.
2038	0.118	230.00	1,253,136

Cambios en los excedentes económicos en Perú

Año	Cambio Excedente del Productor 15 = (11-12)*13*14* (1.0+0.5*12*1)	Cambio Excedente del Consumidor 16 = 13*14*12* (1.0+0.5*12*1)	Cambio Excedente Social (17 = 15 + 16)
2022			
2023	2,334,503	1,190,597	3,525,100
2024	13,443,590	6,856,231	20,299,821
2025	42,844,890	21,850,894	64,695,784
2026	69,728,771	35,561,673	105,290,445
2027	69,728,771	35,561,673	105,290,445
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
2038	69,728,771	35,561,673	105,290,445

Inversión en investigación, transferencia y beneficios netos en Perú

Año	Costos de investigación (18)	Costos de transferencia (19)	Beneficios netos (20 = 17 - 18 - 19)
2022	3,000,000		-3,000,000
2023		176,750	3,348,350
2024		176,750	20,123,071
2025		176,750	64,519,034
2026		198,206	105,092,239
2027		198,206	105,092,239
2028		106,375	105,184,070
2029		106,375	105,184,070
2030		180,541	105,109,904
2031			105,290,445
2032			105,290,445
2033			105,290,445
2034			105,290,445
2035			105,290,445
2036			105,290,445
2037			105,290,445
2038			105,290,445

Anexo 5. Método de cambios de excedentes económicos – Ecuador

Elasticidades y cambios en rendimiento por uso de biotecnología en Ecuador

Año	Elasticidad de la Demanda (1)	Elasticidad de la Oferta (2)	Cambio en el rendimiento (3)
2022			
2023	0.800	0.408	0.23
2024	0.800	0.408	0.23
2025	0.800	0.408	0.23
.	.	.	.
.	.	.	.
2036	0.800	0.408	0.23
2037	0.800	0.408	0.23
2038	0.800	0.408	0.23

Cambios equivalentes del rendimiento y costos por uso de biotecnología en Ecuador

Año	Cambio equivalente del rendimiento (4 = 3/2)	Cambio de costos de insumos (5)	Cambio equivalente de costos 6 = 5 / (1 - 3)
2022			
2023	0.564	-0.024	-0.019
.	.	.	.
.	.	.	.
2038	0.564	-0.024	-0.019

Cambio de costos de insumos, probab. de éxito, adopción, depreciación y K_{máx} en Ecuador

Año	Cambio neto costos de insumos (K potencial) (7 = 4 - 6)	Probabilidad de éxito (8)	Tasa de adopción (9)	Tasa de depreciación (10)	K _{máx} 11 = (7*8*9*10)
2022					
2023	0.583	0.75	0.028	1	0.012
2024	0.583	0.75	0.16	1	0.070
2025	0.583	0.75	0.5	1	0.219
2026	0.583	0.75	0.8	1	0.350
.
.
2038	0.583	0.75	0.8	1	0.350

Z, precio y producción por uso de biotecnología en Ecuador

Año	Z (12 = [11*2/(1+2)])	Precio (US\$/t) (13)	Producción(t) (14)
2022			
2023	0.004	340.00	1,488,549
2024	0.024	340.00	1,488,549
2025	0.074	340.00	1,488,549
2026	0.118	340.00	1,488,549
.	.	.	.
.	.	.	.
2038	0.118	340.00	1,488,549

Cambios en los excedentes económicos en Ecuador

Año	Cambio Excedente del Productor 15 = (11-12)*13*14* (1.0+0.5*12*1)	Cambio Excedente del Consumidor 16 = 13*14*12* (1.0+0.5*12*1)	Cambio Excedente Social (17 = 15 + 16)
2022			
2023	4,110,621	2,096,417	6,207,037
2024	23,672,132	12,072,787	35,744,919
2025	75,447,387	38,478,167	113,925,554
2026	122,793,900	62,624,889	185,418,788
2027	122,793,900	62,624,889	185,418,788
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
2038	122,793,900	62,624,889	185,418,788

Inversión en investigación, transferencia y beneficios netos en Ecuador

Año	Costos de investigación (18)	Costos de transferencia (19)	Beneficios netos (20 = 17 - 18 - 19)
2022	3,000,000		-3,000,000
2023		176,750	6,030,287
2024		176,750	35,568,169
2025		176,750	113,748,804
2026		198,206	185,220,582
2027		198,206	185,220,582
2028		106,375	185,312,413
2029		106,375	185,312,413
2030		180,541	185,238,247
2031			185,418,788
2032			185,418,788
2033			185,418,788
2034			185,418,788
2035			185,418,788
2036			185,418,788
2037			185,418,788
2038			185,418,788

Anexo 6. Método de cambios de excedentes económicos – Bolivia

Elasticidades y cambios en rendimiento por uso de biotecnología en Bolivia

Año	Elasticidad de la Demanda (1)	Elasticidad de la Oferta (2)	Cambio en el rendimiento (3)
2022			
2023	4,195	0.620	0.37
2024	4,195	0.620	0.37
2025	4,195	0.620	0.37
.	.	.	.
.	.	.	.
2036	4,195	0.620	0.37
2037	4,195	0.620	0.37
2038	4,195	0.620	0.37

Cambios equivalentes del rendimiento y costos por uso de biotecnología en Bolivia

Año	Cambio equivalente del rendimiento (4 = 3/2)	Cambio de costos de insumos (5)	Cambio equivalente de costos 6 = 5 / (1 - 3)
2022			
2023	0.371	-0.002	-0.002
.	.	.	.
.	.	.	.
2038	0.371	-0.002	-0.002

Cambio de costos de insumos, probab. de éxito, adopción, depreciación y K_{máx} en Bolivia

Año	Cambio neto costos de insumos (K potencial) (7 = 4 - 6)	Probabilidad de éxito (8)	Tasa de adopción (9)	Tasa de depreciación (10)	K _{máx} 11 = (7*8*9*10)
2022					
2023	0.373	0.75	0.028	1	0.008
2024	0.373	0.75	0.16	1	0.045
2025	0.373	0.75	0.5	1	0.140
2026	0.373	0.75	0.8	1	0.224
.
.
2038	0.373	0.75	0.8	1	0.224

Z, precio y producción por uso de biotecnología en Bolivia

Año	Z (12 = [11*2/(1+2)])	Precio (US\$/t) (13)	Producción(t) (14)
2022			
2023	0.001	270.15	810,058
2024	0.006	270.15	810,058
2025	0.018	270.15	810,058
2026	0.029	270.15	810,058
.	.	.	.
.	.	.	.
2038	0.029	270.15	810,058

Cambios en los excedentes económicos en Bolivia

Año	Cambio Excedente del Productor 15 = (11-12)*13*14* (1.0+0.5*12*1)	Cambio Excedente del Consumidor 16 = 13*14*12* (1.0+0.5*12*1)	Cambio Excedente Social (17 = 15 + 16)
2022			
2023	1,495,558	221,036	1,716,594
2024	8,631,043	1,275,625	9,906,668
2025	27,656,156	4,087,441	31,743,597
2026	45,215,703	6,682,654	51,898,357
2027	45,215,703	6,682,654	51,898,357
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
2038	45,215,703	6,682,654	51,898,357

Inversión en investigación, transferencia y beneficios netos en Bolivia

Año	Costos de investigación (18)	Costos de transferencia (19)	Beneficios netos (20 = 17 - 18 - 19)
2022	3,000,000		-3,000,000
2023		176,750	1,539,844
2024		176,750	9,729,918
2025		176,750	31,566,847
2026		198,206	51,700,151
2027		198,206	51,700,151
2028		106,375	51,791,982
2029		106,375	51,791,982
2030		180,541	51,717,816
2031			51,898,357
2032			51,898,357
2033			51,898,357
2034			51,898,357
2035			51,898,357
2036			51,898,357
2037			51,898,357
2038			51,898,357

Anexo 7. Costos de producción de MAD por hectárea en Cañete, Perú

Perú - Cañete		Costos de producción de MAD actualizados al 2023		
Rendimiento	9,500 kg/ha	Época de cosecha	Todo el año	
Variedad	Híbrido Agrícola XB-8010	Año de actualización	2023	
	Unidad de Medida	Cantidad Ha	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (2023) (US\$/Ha.)
I. Insumos				871.62
1.1.Semilla				80.60
Semilla Certificada XB-8010	Bolsa 25 kg	25	3.22	80.60
1.2.Fertilizantes				662.58
Urea	kg-50= 6 bolsas	6	53.09	318.55
Fosfato Diamonico	kg-50= 5bolsas	5	29.35	146.77
Cloruro de potasio	kg-50=3bolsas	3	57.43	172.30
Abono foliar (Pawer Biofol)	Litros	4	6.24	24.96
1.3.Agroquímicos				128.44
Lorsban 480 EC	Kilo	1	16.38	16.38
Laser EC	Litros	1.5	7.28	10.92
Cipermax super	Litros	1	20.80	20.80
Decis	Litros	1	31.20	31.20
Kumulus	Kilos	2	8.32	16.64
Maicero	Litros	1	8.84	8.84
Super wet	Litros	2	5.98	11.96
Granolate	Kilos	10	1.17	11.70
II. Maquinaria agrícola y equipo				127.40
2.1.Preparación de terreno				127.40
Rayado de machaco	Tractor/ha	1	18.2	18.20
Barbecho,Gradeo y Rayado	Tractor/ha	1	36.4	36.40
Abonamiento (Sgdo. Abono y cultivo)	Tractor/ha	1	36.4	36.40
Desgrane	Tractor/ha	1	36.4	36.40
III Mano de obra				526.50
3.1.Preparación del terreno				58.50
Limpieza y quema de brozas	Jornal	1	11.7	11.70
Levante de acequias y cortaderas	Jornal	1	11.7	11.70
Machaco	Jornal	2	11.7	23.40
Despaje, botada y quema	Jornal	1	11.7	11.70
3.2.Siembra				58.50
Siembra de lampa	Jornal	4	11.7	46.80
Resiembra	Jornal	1	11.7	11.70
3.3.Labores Culturales				222.30
Tomeo de acequias	Jornal	1	11.7	11.70
Riego de ensaño	Jornal	1	11.7	11.70
Riegos de mantenimiento	Jornal	4	11.7	46.80
Limpieza de canal	Jornal	1	11.7	11.70
Mezcla y reparto de abono	Jornal	2	11.7	23.40
Tratamiento fitosanitario	Jornal	4	11.7	46.80
Aplicación de insecticidas granulado	Jornal	2	11.7	23.40
Abonamiento (primer abono)	Jornal	4	11.7	46.80
3.4.Cosecha				187.20
Tumbada	Jornal	4	11.7	46.80
Guardiana	Jornal	8	11.7	93.60
Desgrane	Jornal	4	11.7	46.80
IV Agua				15.86
Agua	ha	0.5	31.72	15.86
COSTOS DIRECTOS				1,541.38
COSTOS INDIRECTOS				77.07
Asistencia técnica	2%			30.83
Gastos administrativos	3%			46.24
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (S/.)				1,618.45

Anexo 8. Costos de producción de MAD por hectárea en Huaura, Perú

Perú - Huaura		Costos de producción de MAD actualizados al 2023 (US\$)		
Rendimiento	9,000 kg/ha	Época de cosecha	Todo el año	
Variedad	Hibrido Agrícola XB-8010	Año de actualización	2023	
	Unidad de Medida	Cantidad Ha	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (2023) (US\$/Ha.)
I. Insumos				1,021.41
1.1. Semilla				124.80
Semilla Certificada Hibrido Agrícola	Bolsa 25 kg	1.5	83.20	124.80
1.2. Fertilizantes				825.76
Urea	kg-50=10 bolsas	10	53.09	530.92
Fosfato Diamónico	kg-50= 6bolsas	6	29.35	176.12
Sulfato de potasio	kg-50=3 bolsas	3	39.57	118.72
1.3. Agroquímicos				70.85
Acephate	Sobre-100g	1	4.16	4.16
Atrazina (Scarfax)	Litros	0.5	9.10	4.55
Cipermetrina	Litros	1	22.36	22.36
Adherente - Acidificante (BB5)	Litros	1	8.06	8.06
Metomyl (Rambo)	100 gr	4	3.90	15.60
Metamidophos (Metafax)	Litros	2	8.06	16.12
II. Maquinaria agrícola y equipo				85.28
2.1. Preparación de terreno				85.28
Aradura y gradeo	Hrs/maq	4	13	52.00
Surcado	Hrs/maq	1	13	13.00
Cultivadora	Hrs/maq	1	13	13.00
Desgrane	Fanegas	0.5	14.56	7.28
III. Mano de obra				362.70
3.1. Preparación del terreno				35.10
Pica, junta y quema	Jornal	1	11.7	11.70
Riego de machaco	Jornal	2	11.7	23.40
3.2. Siembra				46.80
Desinfección y siembra	Jornal	4	11.7	46.80
3.3. Labores Culturales				175.50
Torneo	Jornal	1	11.7	11.70
Abonamiento	Jornal	4	11.7	46.80
Aplicación de pesticidas	Jornal	4	11.7	46.80
Deshierbo	Jornal	2	11.7	23.40
Riegos	Jornal	4	11.7	46.80
3.4. Cosecha				105.30
Tumbado	Jornal	3	11.7	35.10
Despanque y desgrane	Jornal	3	11.7	35.10
Guardiania	Jornal	3	11.7	35.10
IV. Agua				36.40
Agua	m3	6000	0.0026	15.6
Polietileno	Unidad	160	0.13	20.8
V. Transporte				44.46
Semilla	Bolsa 25kg	1	0.26	0.26
Fertilizantes	Saco 50kg	10	0.26	2.6
Flete cosecha	TM	8	5.2	41.6
COSTOS DIRECTOS				1,550.25
COSTOS INDIRECTOS				77.51
Asistencia técnica	2%			31.01
Gastos administrativos	3%			46.51
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (S/.)				1,627.76

Anexo 9. Costos de producción de MAD por hectárea en Ica, Perú

Perú - Ica		Costos de producción de MAD actualizados al 2023 (US\$)		
Rendimiento	10,000 kg/ha	Época de cosecha	Todo el año	
Variedad	Híbrido Dekalb 7508	Año de actualización	2023	
	Unidad de Medida	Cantidad Ha	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (2023) (US\$/Ha.)
I. Insumos				625.20
1.1.Semilla				110.50
Semilla Certificada Híbrido Agrícola	Kg	25	4.42	110.50
1.2.Fertilizantes				438.52
Guano de inverna	Tm	2	33.80	67.60
Urea	Kg	306	0.39	119.34
Fosfato Diamónico	Kg	218	0.57	124.70
Cloruro de potasio	Kg	200	0.63	126.88
1.3.Agroquímicos				76.18
Vencetho	Gramos	1	6.76	6.76
Lannate 90PS	Kg	1	41.08	41.08
Dipterex granulado	Kg	10	2.29	22.88
Kaytar Act. SL	Litros	1	5.46	5.46
II. Maquinaria agrícola y equipo				158.60
2.1.Preparación de terreno				158.60
Grado y planchado en seco	Hrs/maq	2	23.4	46.80
Rayado de machado	Hrs/maq	1	20.8	20.80
Arado en húmedo	Hrs/maq	2	22.1	44.20
Grado y planchado	Hrs/maq	2	23.4	46.80
III Mano de obra				375.70
3.1.Preparación del terreno				36.40
Tomeo y riego de machaco	Jornal	2	18.2	36.40
3.2.Siembra				63.70
Siembra	Jornal	1	54.6	54.60
Resiembra	Jornal	1	9.1	9.10
3.3.Labores Culturales				275.60
Primer deshierbo	Jornal	1	36.4	36.40
Desahije	Jornal	1	9.1	9.10
Primer abonamiento	Jornal	1	9.1	9.10
Cultivo y deshierbo	Jornal	2	18.2	36.40
Segundo abonamiento	Jornal	1	36.4	36.40
Cambio de surco y aporque	Jornal	1	20.8	20.80
Riego	Jornal	1	54.6	54.60
Control fitosanitario	Jornal	1	72.8	72.80
IV. Agua				311.22
Agua	m3	9500	0.03276	311.22
V. Transporte				26.00
Semilla	Varios/ha	5	5.2	26
COSTOS DIRECTOS				1,496.72
COSTOS INDIRECTOS				73.06
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (S/.)				1,569.78

Anexo 10. Costos de producción de MAD por hectárea en Guayas, Ecuador

Ecuador - Guayas		Costos de producción de MAD actualizados al 2023 (US\$)		
Rendimiento	4,670 kg/ha	Período vegetativo	4 - 5 meses	
Nivel tecnológico	Tradicional	Año de actualización	2023	
	Unidad de Medida	Cantidad Ha	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (2023) (US\$/Ha.)
I. Insumos				368.75
1.1.Semilla				27.00
Funda maíz 551 (suprema)	Funda	1	27.00	27.00
1.2.Fertilizantes				294.00
Yaramilla/sacos	Saco	3	33.00	99.00
UreaKristalon (Abono Foliar)	Saco	3	5.00	15.00
Urea/sacos	Saco	6	30.00	180.00
1.3.Agroquímicos				47.75
Glifosato	Frasco	3	3.25	9.75
Killer	Frasco	2	5.00	10.00
Atrazina/sobre	Sobre	2	8.00	16.00
Lannate (Metonil Insecticida)/sobre	Sobre	3	4.00	12.00
II. Mano de obra				728.80
3.1.Preparación del terreno				100.00
Preparación del suelo	Jornal	10	10	100.00
3.2.Siembra				100.00
Siembra	Jornal	10	10	100.00
3.3.Labores Culturales				528.80
Deshierba	Jornal	4	10	40.00
Abonamiento	Jornal	3	10	30.00
Tratamiento de la semilla	Jornal	2	10	20.00
Fertilización	Jornal	8	10	80.00
Control de insectos	Jornal	6	10	60.00
Mantenimiento de la cosecha	Jornal	1	20.8	20.80
Cuidado de la cosecha	Jornal	2	10	20.00
Cosecha	Jornal	15	10	150.00
Secada	qq	120	0.9	108.00
III. Transporte				96.00
Desgrana y transporte	qq	120	0.8	96
COSTOS DIRECTOS				1,193.55
COSTOS INDIRECTOS				73.06
Financiamiento	11%			133.68
Imprevistos	3%			35.81
Merma	qq	120	0.69	82.80
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (S/.)				1,266.61

Anexo 11. Costos de producción de MAD por hectárea en Los Ríos, Ecuador

Ecuador - Los Ríos		Costos de producción de MAD actualizados al 2023 (US\$)		
Rendimiento	6,300 kg/ha	Período vegetativo	4 - 5 meses	
Nivel tecnológico	Convencional	Año de actualización	2023	
	Unidad de Medida	Cantidad Ha	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (2023) (US\$/Ha.)
I. Insumos				534.15
1.1.Semilla				36.00
Semilla certificada	Kg	15	2.40	36.00
1.2.Fertilizantes				391.00
Súper fosfato triple	Kg	100	0.94	94.00
Muriato de potasio	Kg	100	0.73	73.00
Urea	Kg	350	0.64	224.00
1.3.Agroquímicos				107.15
Atrazina	Kg	4	9.80	39.20
Prowl	Lt	3	16.00	48.00
Glifosato	Lt	1	6.50	6.50
Thiodicarb	Lt	0.2	13.60	2.72
Lorsban	Lt	0.65	16.50	10.73
II. Maquinaria agrícola y equipo				173.00
2.1.Siembra				45.00
Sembradora labranza mínima	pase	1	45	45.00
2.2.Cosecha y post-cosecha				128.00
Desgrane	qq	160	0.3	48.00
Transporte	qq	160	0.5	80.00
III. Mano de obra				491.00
3.1.Preparación del terreno				26.00
Análisis de suelo	muestra	1	26	26.00
3.2.Siembra				75.00
Siembra	Jornal	5	15	75.00
3.3.Labores Culturales				390.00
Fertilización a la siembra	Jornal	1	15	15.00
Fertilización al desarrollo de la planta	Jornal	1	15	15.00
Control químico de malezas	Jornal	4	15	60.00
Deshierba manual	Jornal	4	15	60.00
Control de plagas - aspersión	Jornal	3	15	45.00
Control de plagas - cebo	Jornal	3	15	45.00
Cosecha	Jornal	10	15	150.00
COSTOS DIRECTOS				1,198.15
COSTOS INDIRECTOS				385.99
Administración	8%			95.85
Arrendamiento tierra	\$/ha/ciclo	1	120	120.00
Interés de capital	11%			134.19
Imprevistos	3%			35.94
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (S/.)				1,584.13

Anexo 12. Costos de producción de MAD por hectárea en Manabí, Ecuador

Ecuador - Manabí		Costos de producción de MAD actualizados al 2023 (US\$)		
Rendimiento	5,570 kg/ha	Período vegetativo	4 - 5 meses	
Nivel tecnológico	Semi-tecnificado	Año de actualización	2023	
	Unidad de Medida	Cantidad Ha	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (2023) (US\$/Ha.)
I. Insumos				502.35
1.1.Semilla				20.80
Semilla certificada	Kg	16	1.30	20.80
1.2.Fertilizantes				392.56
Fosfato de amonio	Saco 50 kg	2	47.50	95.00
Muriato de potasio	Saco 50 kg	2	36.78	73.56
Urea	Saco 50 kg	7	32.00	224.00
1.3.Agroquímicos				88.99
Atrazina	Kg	1.5	10.89	16.34
Lufenuron	Lt	0.3	13.50	4.05
Bentazom	Lt	1.5	6.00	9.00
Pendimentalin	Lt	3	10.20	30.60
Glifosato	Lt	1.5	6.50	9.75
Thiodicarb	Lt	0.6	14.00	8.40
Lorsban	Lt	0.7	15.50	10.85
II. Maquinaria agrícola y equipo				150.00
2.1.Preparación del terreno				75.00
Arado	pase	1	25	25.00
Rastra	pase	2	25	50.00
2.2.Siembra				45.00
Sembradora	pase	1	45	45.00
2.2.Cosecha y post-cosecha				30.00
Desgrane	qq	100	0.3	30.00
III. Mano de obra				536.00
3.1.Preparación del terreno				26.00
Análisis de suelo	muestra	1	26	26.00
3.2.Siembra				15.00
Siembra	Jornal	1	15	15.00
3.3.Labores Culturales				495.00
Siembra	Jornal	8	15	120.00
Resiembra	Jornal	1	15	15.00
Aplicación de fertilizantes	Jornal	10	15	150.00
Aplicación de herbicida	Jornal	3	15	45.00
Aplicación de pesticida	Jornal	3	15	45.00
Control químico de malezas	Jornal	3	15	45.00
Cosecha manual	Jornal	5	15	75.00
COSTOS DIRECTOS				1,188.35
COSTOS INDIRECTOS				263.81
Administración	8%			95.07
Interés de capital	11%			133.09
Imprevistos	3%			35.65
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (S/.)				1,452.16

Anexo 13. Costos de producción de MAD por hectárea en Santa Cruz, Bolivia

Bolivia - Santa Cruz		Costos de producción de MAD actualizados al 2023 (US\$)		
Rendimiento	4,000 kg/ha	Período vegetativo	5 meses	
Nivel tecnológico	Mecanizado	Año de actualización	2023	
	Unidad de Medida	Cantidad Ha	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (2023) (US\$/Ha.)
I. Insumos				207.48
1.1.Semilla				35.00
Semilla	Kg	20	1.75	35.00
1.2.Fertilizantes				67.20
Urea	qq	2	33.60	67.20
1.3.Agroquímicos				49.28
Herbicida Atrazina 50% SL	Litros	2.5	5.60	14.00
Herbicida Nicosulfuron 75WG	Kg	0.04	415.72	16.63
Insecticida Clorpirifos 48%	Litros	1	14.00	14.00
Insecticida Lufenuron 5%	Litros	0.2	23.26	4.65
1.4.Materiales				56.00
Bolsas	Pieza	100	0.56	56.00
II. Maquinaria agrícola y equipo				196.00
2.1.Preparación de terreno				196.00
Rome-plow	Pases-Tractor	1	29.26	29.26
Rastra convencional	Pases-Tractor	1	19.6	19.60
Siembra	Pases-Tractor	1	19.6	19.60
Aporque	Pases-Tractor	1	16.8	16.80
Aplicación de insecticidas	Ha-Tractor	1	17.5	17.50
Aplicación de herbicidas	Ha-Tractor	1	21	21.00
Cosecha mecanizada	Ha-Tractor	1	29.4	29.40
Acarreo interno hasta silo	Ha-Tractor	1	42.84	42.84
III Mano de obra				33.60
3.3.Labores Culturales				16.80
Labores Culturales	Jornal	1	16.8	16.80
3.4.Control fitosanitario				16.80
Control fitosanitario	Jornal	1	16.8	16.80
COSTOS DIRECTOS				437.08
COSTOS INDIRECTOS				34.53
Costos financieros (1.58% C.D.X5meses)	2%			34.53
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (S/.)				471.61

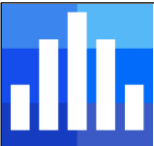







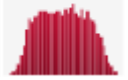
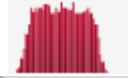
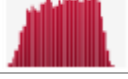



Anexo 14. Costos de producción de MAD por hectárea en Chuquisaca, Bolivia

Bolivia - Chuquisaca		Costos de producción de MAD actualizados al 2023 (US\$)		
Rendimiento	3,600 kg/ha	Período vegetativo	5 meses	
Nivel tecnológico	Tradicional	Año de actualización	2023	
	Unidad de Medida	Cantidad Ha	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (2023) (US\$/Ha.)
I. Insumos				228.48
1.1.Semilla				56.00
Semilla	Kg	20	2.80	56.00
1.2.Fertilizantes				67.20
Urea	qq	2	33.60	67.20
1.3.Agroquímicos				49.28
Herbicida Atrazina 50% SL	Litros	2.5	5.60	14.00
Herbicida Nicosulfuron 75WG	Kg	0.04	415.72	16.63
Insecticida Clorpirifos 48%	Litros	1	14.00	14.00
Insecticida Lufenuron 5%	Litros	0.2	23.26	4.65
1.4.Materiales				56.00
Bolsas	Pieza	100	0.56	56.00
II. Maquinaria agrícola y equipo				191.10
2.1.Preparación de terreno				191.10
Rome-plow	Pases-Tractor	1	29.26	29.26
Rastra convencional	Pases-Tractor	1	21	21.00
Siembra	Pases-Tractor	1	14	14.00
Aporque	Pases-Tractor	1	21	21.00
Aplicación de insecticidas	Ha-Tractor	1	16.8	16.80
Aplicación de herbicidas	Ha-Tractor	1	16.8	16.80
Cosecha mecanizada	Ha-Tractor	1	29.4	29.40
Acarreo interno hasta silo	Ha-Tractor	1	42.84	42.84
III Mano de obra				33.60
3.3.Labores Culturales				16.80
Labores Culturales	Jornal	1	16.8	16.80
3.4.Control fitosanitario				16.80
Control fitosanitario	Jornal	1	16.8	16.80
COSTOS DIRECTOS				453.18
COSTOS INDIRECTOS				35.80
Costos financieros (1.58% C.D.X5meses)		2%		35.80
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (S/.)				488.98

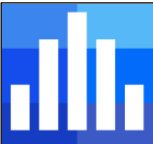





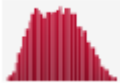



Anexo 15. Costos de producción de MAD por hectárea en Tarija, Bolivia

Bolivia - Tarija		Costos de producción de MAD actualizados al 2023 (US\$)		
Rendimiento	3,200 kg/ha	Período vegetativo	5 meses	
Nivel tecnológico	Mecanizado	Año de actualización	2023	
	Unidad de Medida	Cantidad Ha	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (2023) (US\$/Ha.)
I. Insumos				251.86
1.1.Semilla				103.04
Semilla	Kg	46	2.24	103.04
1.2.Fertilizantes				50.40
Urea	qq	1.5	33.60	50.40
1.3.Agroquímicos				42.42
Pesticidas	74qq	1	22.40	22.40
Lorsban	Litros	0.75	11.76	8.82
2-4-D	Litros	1	11.20	11.20
1.4.Materiales				56.00
Bolsas	Pieza	100	0.56	56.00
II. Maquinaria agrícola y equipo				219.10
2.1.Preparación de terreno				219.10
Rastra	Tractor-ha-hrs	1	16.8	16.80
Siembra	Tractor-ha-hrs	3	16.8	50.40
Aporque	Tractor-ha-hrs	1	14	14.00
Aplicación de insecticidas	Tractor-ha-hrs	3	14	42.00
Cosecha mecanizada	Tractor-ha-hrs	3	16.8	50.40
Beneficiado	Bolsas	65	0.7	45.50
III Mano de obra				56.00
3.3.Labores Culturales				14.00
Labores Culturales	Jornal	1	14	14.00
3.4.Control fitosanitario				42.00
Control fitosanitario	Jornal	3	14	42.00
COSTOS DIRECTOS				526.96
COSTOS INDIRECTOS				41.63
Costos financieros (1.58% C.D.X5meses)	2%			41.63
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (S/.)				568.59

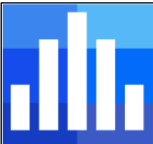






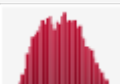
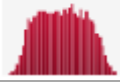
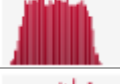


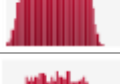

Anexo 16. Reporte de estadísticos de resumen de Perú

 Resumen de Entradas y Salidas - Perú							
Reporte:		Reporte de estadísticos de resumen					
Generado por:		Carolay Vasquez					
Fecha:		martes, 16 de enero de 2024					
<i>Estadísticos de resumen - Entradas</i>							
Entrada	Gráficos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. est.	5%	95%
Semilla / CONVENCIONAL		80.602	124.796	102.700	12.760	82.809	122.586
Reducción de gasto en insecticidas esperado		40.001%	89.997%	65.000%	14.434%	42.500%	87.499%
Incremento en gasto de semillas esperado		10.001%	30.000%	20.000%	5.774%	10.999%	28.999%
Pesticidas Especificos / CONVENCIONAL		58.244	107.639	82.940	14.261	60.709	105.166
Incremento en rendimiento esperado		16.001%	29.999%	23.000%	4.042%	16.699%	29.299%
Rendimiento / CONVENCIONAL		9,000.01	9,999.96	9,500.00	288.69	9,049.98	9,949.95
<i>Estadísticos de resumen - Salidas</i>							
Salida	Gráficos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. est.	5%	95%
Incremento del Margen de Producción		341.81	743.31	535.92	90.99	395.37	680.18
Ratio beneficio costo marginal - Perú		1.09	1.19	1.14	0.02	1.11	1.18
Valor Actual Neto - Perú (TSD 8%)		480,224,968	978,112,115	728,683,583	129,677,310	530,151,073	932,329,474
Tasa Interna de Retorno - Perú		266%	395%	335%	33%	281%	385%
Cambio de Excedentes del Consumidor - Perú		163,533,593	331,694,152	247,450,079	43,798,297	180,396,052	316,231,141
Cambio de Excedentes del Productor - Perú		320,654,104	650,380,691	485,196,233	85,879,013	353,717,749	620,061,061
Cambio de Excedentes Social - Perú		484,187,697	982,074,844	732,646,312	129,677,310	534,113,801	936,292,203

Anexo 17. Reporte de estadísticos de resumen de Ecuador

 Resumen de Entradas y Salidas - Ecuador							
Reporte:		Reporte de estadísticos de resumen					
Generado por:		Carolay Vasquez					
Fecha:		martes, 16 de enero de 2024					
<i>Estadísticos de resumen - Entradas</i>							
Entrada	Gráficos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. est.	5%	95%
Semilla / CONVENCIONAL		20.801	36.000	28.400	4.388	21.559	35.239
Reducción de gasto en insecticidas esperado		40.005%	90.000%	65.000%	14.434%	42.497%	87.499%
Incremento en gasto de semillas esperado		10.001%	29.999%	20.000%	5.774%	11.000%	28.999%
Pesticidas específicos / CONVENCIONAL		31.751	72.649	52.200	11.807	33.793	70.601
Incremento en rendimiento esperado		16.001%	30.000%	23.000%	4.042%	16.699%	29.300%
Rendimiento / CONVENCIONAL		4,670.08	6,299.97	5,485.00	470.56	4,751.42	6,218.45
<i>Estadísticos de resumen - Salidas</i>							
Salida	Gráficos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. est.	5%	95%
Incremento del Margen de Producción		267.33	687.16	460.00	84.83	329.93	603.35
Ratio beneficio costo marginal - Ecuador		1.09	1.20	1.15	0.02	1.11	1.18
Valor Actual Neto (TSD 12%) - Ecuador		650,175,063	1,283,000,000	959,053,123	169,872,136	698,059,793	1,225,715,782
Tasa Interna de Retorno - Ecuador		373.36%	557.27%	468.08%	49.22%	388.91%	541.98%
Cambio de Excedentes del Consumidor - Ecuador		220,891,790	434,766,570	325,214,843	57,374,033	237,064,778	415,279,715
Cambio de Excedentes del Productor - Ecuador		433,121,157	852,483,470	637,676,163	112,498,103	464,832,898	814,273,950
Cambio de Excedentes Social - Ecuador		654,012,946	1,287,000,000	962,891,006	169,872,136	701,897,677	1,229,553,665

Anexo 18. Reporte de estadísticos de resumen de Bolivia

 Resumen de Entradas - Bolivia							
Reporte:		Reporte de estadísticos de resumen					
Generado por:		Carolay Vasquez					
Fecha:		martes, 16 de enero de 2024					
<i>Estadísticos de resumen</i>							
Entrada	Gráficos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. est.	5%	95%
Semilla / CONVENCIONAL		35.001	103.039	69.020	19.642	38.398	99.636
Reducción de gasto en insecticidas esperado		40.001%	90.000%	65.000%	14.434%	42.496%	87.497%
Incremento en gasto de semillas esperado		10.001%	29.999%	20.000%	5.774%	10.998%	28.999%
Pesticidas específicos / CONVENCIONAL		18.652	31.175	22.841	2.962	18.970	28.407
Incremento en rendimiento esperado		16.001%	29.999%	23.000%	4.042%	16.699%	29.300%
Rendimiento / CONVENCIONAL		3,200.06	3,999.98	3,600.00	230.95	3,239.92	3,960.00
<i>Estadísticos de resumen</i>							
Salida	Gráficos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. est.	5%	95%
Incremento del Margen de Producción		125.41	334.03	224.73	42.76	158.60	296.31
Ratio beneficio costo marginal - Bolivia		1.09	1.21	1.15	0.03	1.11	1.20
Valor Actual Neto - Bolivia (TSD 11%)		171,130,653	403,710,987	285,072,627	54,128,864	202,371,711	370,568,457
Tasa Interna de Retorno - Bolivia		171%	270%	22,436%	23%	187%	258%
Cambio de Excedentes del Consumidor - Bolivia		22,533,391	52,481,430	37,205,047	6,969,864	26,556,123	48,213,856
Cambio de Excedentes del Productor - Bolivia		152,463,830	355,096,125	251,734,148	47,159,000	179,682,155	326,221,168
Cambio de Excedentes Social - Bolivia		174,992,220	407,577,555	288,939,194	54,128,864	206,238,278	374,435,024

Anexo 19. Matriz de consistencia

Preguntas de investigación	Objetivos de la investigación	Hipótesis de la investigación	Variables de estudio		Metodología
<p>PG. ¿Cuál será el impacto socioeconómico y ambiental esperado de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina?</p> <p>PE1. A corto plazo, ¿cuál será el impacto esperado en la rentabilidad agrícola a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina?</p> <p>PE2. A largo plazo, ¿cuál será el impacto esperado en el bienestar social a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina?</p> <p>PE3. A largo plazo, ¿cuál será el impacto esperado en la calidad ambiental a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina?</p>	<p>OG. Determinar el impacto socioeconómico y ambiental esperado a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina.</p> <p>OE1. Determinar, a corto plazo, el impacto esperado en la rentabilidad agrícola a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina.</p> <p>OE2. Analizar, a largo plazo, el impacto esperado en el bienestar social a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina.</p> <p>OE3. Evaluar, a largo plazo, el impacto esperado en la calidad ambiental a partir de la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina.</p>	<p>HG. La adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro en los países de la Comunidad Andina tendrá un impacto socioeconómico y ambiental positivo.</p> <p>HE1. A corto plazo, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro tendrá un impacto positivo en la rentabilidad agrícola en los países de la Comunidad Andina.</p> <p>HE2. A largo plazo, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro tendrá un impacto positivo en el bienestar social en los países de la Comunidad Andina.</p> <p>HE3. A largo plazo, la adopción de biotecnología en el cultivo de maíz amarillo duro tendrá un impacto positivo en la calidad ambiental a en los países de la Comunidad Andina.</p>	<p>Variables dependientes</p> <p>Incremento de margen de utilidad productivo</p> <p>Ratio de beneficio-costos</p> <p>Variación del excedente del consumidor</p> <p>Variación del excedente del productor</p> <p>Variación del excedente social</p> <p>Coefficiente de Impacto Ambiental</p>	<p>Variables independientes</p> <p>Costos productivos del cultivo</p> <p>Incremento de rendimiento del cultivo</p> <p>Incremento en gasto en semilla</p> <p>Precio en chacra del maíz</p> <p>Tasa de adopción de la nueva semilla</p> <p>Probabilidad de éxito de la adopción de la nueva semilla</p> <p>Variación del costo de producción esperado</p> <p>Variación de precios del cultivo</p> <p>Elasticidad oferta del cultivo</p> <p>Elasticidad demanda del cultivo</p> <p>Superficie cosechada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Superficie tratada con agroquímicos - Cantidad de agroquímicos activos (ha) - Aplicaciones de las dosis de ingrediente activo (N/año) 	<p>Tipo de investigación: La investigación es de carácter no experimental, explicativo, ya que la investigación tiene como fin obtener una relación de causalidad entre la aplicación de biotecnología, los beneficios socioeconómicos y ambientales en los países de la Comunidad Andina.</p> <p>Fuentes de información: El estudio utilizará fuentes de información secundaria. Se colectará información secundaria mediante datos publicados por los Ministerios de Agricultura de los países de Perú, Ecuador y Bolivia. Así como información provista por instituciones internacionales y estudios académicos que tratan datos sobre la biotecnología en cultivos.</p>