

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v5i3.2034>

Ventajas económicas de la biotecnología de recombinación genética en la producción de papa (*Solanum tuberosum*)

Economic advantages of genetic recombination biotechnology in potato (*Solanum tuberosum*) production

Ramón Alberto Diez Matallana

rdiez@lamolina.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-8247-1452>

Universidad Nacional Agraria La Molina (CIEA)
Lima – Perú

Ashley Katherine Celio Lay

20211782@lamolina.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0001-3073-2064>

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima – Perú

Nichol Valeria Chirre Rivas

20201401@lamolina.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0009-6879-5122>

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima – Perú

Lesly Cinthia Pard Gonzales

20200298@lamolina.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0004-2151-7399>

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima – Perú

Joselyn Milagros Gutiérrez Marca

20210802@lamolina.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-6829-088>

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima – Perú

Artículo recibido: 23 de abril de 2024. Aceptado para publicación: 07 de mayo de 2024.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

La papa brinda sustento a muchas personas en el mundo y el Perú. El objetivo del trabajo es evaluar los beneficios para los productores y la sociedad asociados con el uso de la biotecnología, específicamente de las semillas Bt (papa con material genético de *Bacillus thuringiensis*) en la producción de papa blanca en el Perú, resistente a la polilla de la papa (*Pthorimaea operculella*). Se prueba la hipótesis de que las semillas de papa Bt mejorarán la rentabilidad de los productores y el bienestar social empleando modelos de Presupuesto Parcial, Cambio de Excedentes y Coeficiente de Impacto Ambiental en entorno de riesgo con el software @Risk. El resultado muestra las ventajas económicas (BCM de 1.42), sociales (incremento del excedente social en S/97,510 millones o 27,600 millones de US \$) derivados del uso de la semilla de papa Bt y brindará información para una toma de decisiones más eficiente para las partes involucradas. Se recomienda realizar investigaciones sobre el uso de semillas modificadas por edición genética en papa y otros cultivos

Palabras clave: beneficio costo marginal, cambio de excedente, fungicidas, papa cisgénica Bt,

Phthorimaea operculella

Abstract

The potato provides sustenance to many people in the world and Peru. The objective of the work is to evaluate the benefits for producers and society associated with the use of biotechnology, specifically Bt seeds (potato with genetic material from *Bacillus thuringiensis*) in the production of white potatoes, with resistance to the potato tuber moth (*Phthorimaea operculella*). The hypothesis that Bt potato seeds will improve the profitability of producers and social well-being is tested using Partial Budget, Surplus Change and Environmental Impact Coefficient models in a risk environment with the @Risk software. The result shows the economic (BCM of 1.42), social (increase in social surplus in S/97,510 millions or 27,600 millions of US \$) advantages derived from the use of the Bt potato seed and It will provide information for more efficient decision making for the parties involved. Research is recommended on the use of genetically modified seeds in potatoes and other crops.

Keywords: marginal cost benefit, surplus change, fungicides, bt cisgenic potato, phthorimaea operculella

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons . 

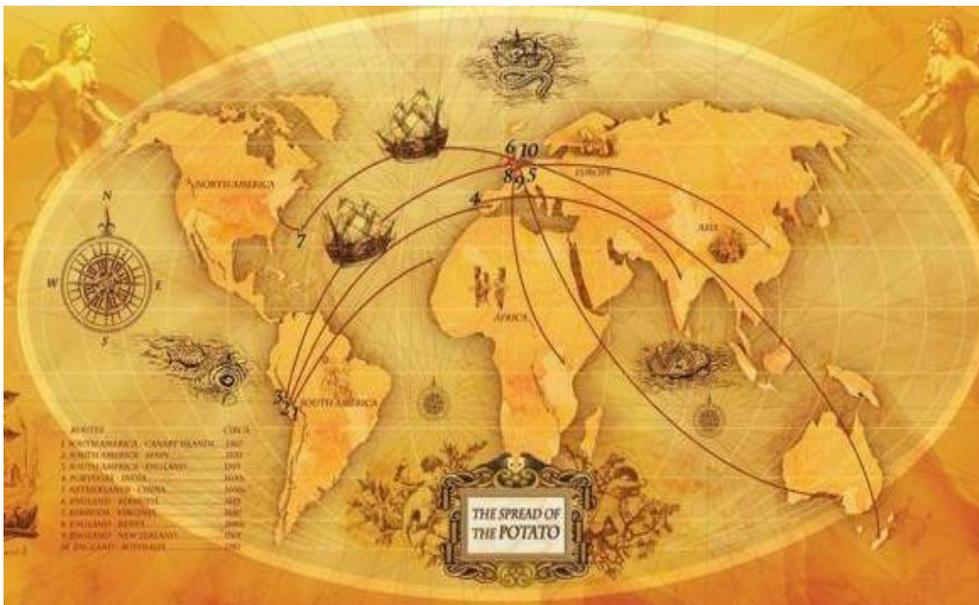
Cómo citar: Diez Matallana, R. A., Celio Lay, A. K., Chirre Rivas, N. V., Pard Gonzales, L. C., & Gutiérrez Marca, J. M. (2024). Ventajas económicas de la biotecnología de recombinación genética en la producción de papa (*Solanum tuberosum*). *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 5 (3), 264 – 280. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i3.2034>

INTRODUCCIÓN

La papa es un alimento importante para el mundo y Perú es su centro de origen junto con Ecuador y Bolivia como muestra la Figura 1 (Devaux et al., 2010).

Figura 1

Movimiento global de la papa desde sus orígenes en los Andes



Fuente: Arguedas (2020)

La biotecnología moderna de recombinación genética posibilita insertar genes de distinto origen en organismos vivos para aumentar la productividad (Walter, 2023). Según Maza et al. (2023), la revolución tecnológica en los países desarrollados ha generado altos niveles de productividad y la reducción sostenida de precios agrícolas a nivel mundial, lo cual se refleja en el mercado interno peruano con precios decrecientes para nuestros productores, favoreciendo a consumidores y perjudicando a los agricultores con tecnología deficiente (Maza et al. 2023). Según Gómez et al. (2021) que cita a Coaquira-Incacari et al. (2019); Bonnet (2018); la papa es el cuarto alimento más consumido en el mundo después del maíz, trigo y arroz. Perú es el duodécimo productor del mundo y el primero de América Latina, pero su rendimiento promedio (13,25 t/h) es inferior al promedio mundial (15,85t/h) y por ello, Anderson et al. (2021) señalan que Perú no es competitivo ni gran exportador. Gómez et al. (2021) citan a Oliver (2017) que señalan la productividad en toneladas por hectárea de Estados Unidos 46,4, Alemania 43,9, Chile 23,7 y Brasil 18,39.

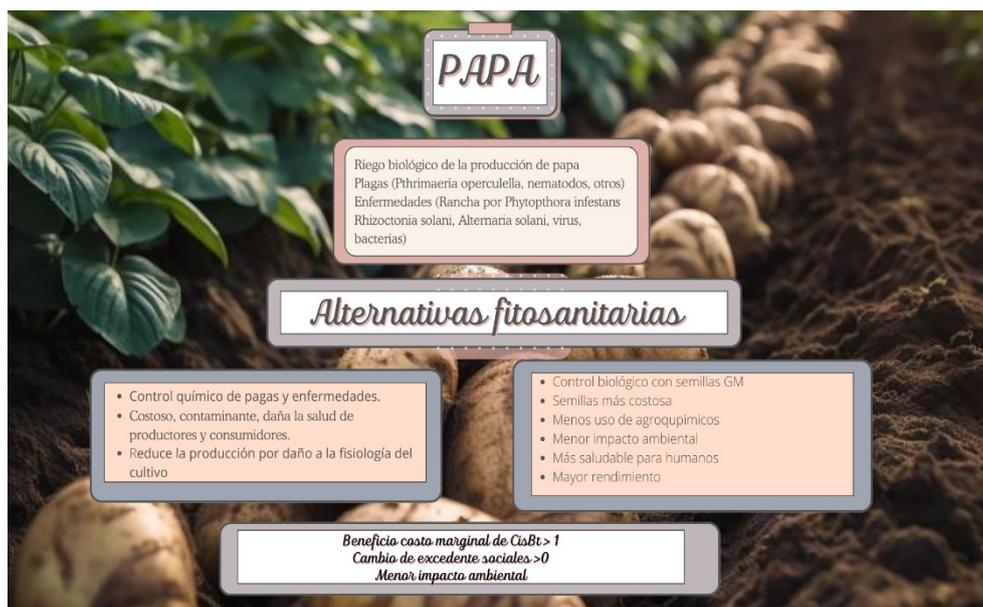
El bajo rendimiento de Perú se debe a las enfermedades, plagas y el clima, que podrían enfrentarse con semillas genéticamente modificadas con ADN de especies diferentes o parientes silvestres. La ranca causada por el oomyceto *Phytophthora infestans*, explica 40% de las pérdidas en campo (Guillén y La Rosa, 2019). Maza et al. (2023) señalan que la papa cisgénica aglutina tres fuentes de resistencia y reduce 80% las aplicaciones de fungicidas según Haverkort et al., (2016) o 100% según Byarugaba et al. (2021) y la proteína cry del *Bacillus thuringiensis* otorga resistencia a la polilla de papa. Respecto a la posible resistencia a las proteínas Bt, Mohamed et al. (2023) combinaron material genético de *Bacillus thuringiensis* (Bt) local y de *B. subtilis* subsp. cepa subtilis (Bs1), cepa *Bacillus licheniformis* (Bl) o *B. subtilis* subsp. spizizenii (Bs2) incrementando la efectividad del control, logrando alta

mortalidad larvaria de *Pthorimaiea operculella* lo cual indica un gran potencial de beneficios derivados de esta tecnología.

La papa blanca es vital en el sector agrario pues da sustento a los agricultores, da empleo, preserva la biodiversidad, mantiene tradiciones culturales y aporta a la seguridad alimentaria peruana por ello es un componente esencial del paisaje agrícola del país, pero, enfrenta desafíos que afectan su rendimiento (Chacón, 2020) Algunos factores que ocasionan pérdidas de productividad son las lluvias que pueden ser intensas e inesperadas o ausentarse totalmente (sequía) afectando negativamente la producción de papa pues se altera los ciclos de crecimiento de los cultivos y aumenta la vulnerabilidad de las plantas a enfermedades y estrés hídrico, el aumento de la temperatura y la humedad generan ambiente propicio para la rancha (tizón tardío, late blight en inglés, lancha en Ecuador) pues favorece la proliferación de la *Phytophthora infestans* que destruye a veces la totalidad de la producción de papa (Chacón, 2020) La educación y el acceso a técnicas agrícolas avanzadas son clave para mejorar la productividad (Sergieieva et al., 2023). El no acceso a mercados rentables y la falta de infraestructura de almacenamiento y transporte afectan su incentivo para producir en grandes cantidades (CEPAL, 1985). La rancha, polilla de papa y otros agentes bióticos son amenazas biológicas comunes en los campos de papa y dañan las plantas y tubérculos, reduciendo el rendimiento. Las prácticas de manejo inadecuadas permiten la proliferación de estas plagas (Guiller et al., 2017). La elección incorrecta de semillas de papa, falta de rotación de cultivos y uso excesivo de agroquímicos, disminuyen la productividad a largo plazo según la página web de la Food Agricultural Organization (FAO). Para abordar estos desafíos y mejorar la productividad de la papa en Perú, es fundamental invertir en educación agrícola, tecnología sostenible, prácticas de manejo adecuadas y acceso a mercados más amplios y justo para los agricultores locales. Sin embargo, estas acciones tomarían un tiempo prolongado, en tanto que, el uso de semillas genéticamente modificadas (GM) de papa ofrece beneficios inmediatos para la agricultura de Perú y el mundo pues, según Guillén y La Rosa (2019), la papa cisgénica resiste a la rancha y según Maza et al. (2023) las papas cisgénicas Bt resisten también a lepidópteros como la polilla de papa (*Pthorimaiea operculella*).

Figura 2

Alternativas de control fitosanitario en la producción de papa



En síntesis, las semillas cisgénicas Bt reducen la necesidad de fungicidas y pesticidas, disminuyen la exposición a fitosanitarios químicos y reducen los costos agrícolas, a la par de mejorar los rendimientos permiten un mejor desarrollo de las plantas, contribuyen a un entorno agrícola más sostenible al disminuir la contaminación del suelo, agua y aire, brindan seguridad alimentaria pues ayudan a garantizar un suministro estable de alimentos al reducir las pérdidas debido a plagas, contribuyendo a la seguridad alimentaria. Aunque son benéficas, las semillas genéticamente modificadas han sido prohibidas en Perú y Ecuador. En Estados Unidos, la papa Innate es un ejemplo destacado de avance en la investigación genética de la división Simplot Plant Sciences de J. R. Simplot Company, que prefirieron la edición genética pues los métodos convencionales de mejora de la papa son lentos y complicados pues el cultivo es muy heterocigoto. Así lograron una papa que resiste el tizón tardío y minimiza la formación de la enzima asparagina que se transforma en acrilamida, una sustancia potencialmente carcinogénica, al freírse en compañía de azúcares reductores presentes en la papa. La papa Innate es apta para el cultivo y consumo humano (Richael, 2020). Estos desarrollos resaltan el potencial de la biotecnología en la creación de cultivos más seguros y nutritivos para la población (Fisher, 2021). Maltseva et al. (2021) señalan esfuerzos de investigación para probar la viabilidad productiva de un trigo harinero cisgénico. En Canadá, ciertas variedades de papa cisgénica han sido aprobadas por la Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (CFIA, 2012). Widaningsih et al. (2023) evaluaron diversos somaclones de papa irradiada con rayos gamma como alternativa a las semillas de papa convencional. Al respecto, Muringai et al. (2020) evaluaron la aceptación por los consumidores de papa modificada genéticamente, encontrando que prefieren la papa editada genéticamente sobre las variedades transgénicas y de todos modos prefieren que las papas modificadas genéticamente sean más baratas.

En Noruega (Forbes et al., 2023) se está evaluando la liberación de semilla cisgénica de papa para enfrentar en forma menos onerosa la enfermedad del tizón tardío o rancho, dado que se emplea muchos fungicidas costosos para controlar esta enfermedad, los cuales se obvian con la semilla cisgénica. En 2013, Bangladesh aprobó la primera papa cisgénica Bt del mundo para su cultivo comercial, conocida como Bt Brinjal, diseñada para resistir el taladro del fruto. Krause et al. (2020) encontraron que la liberación de semilla cisgénica de papa no tenía consecuencias negativas sobre las comunidades microbianas del suelo. Las políticas relacionadas con organismos genéticamente modificados pueden cambiar con el tiempo, y la adopción de semillas Bt de papa varía en función de las preocupaciones sobre seguridad alimentaria, medio ambiente y opiniones públicas en cada país (Shelton et al., 2018). En Perú, Guillén y La Rosa (2019) encontraron que el margen de rentabilidad aumentaría 32.83% al pasar de semilla convencional a semilla cisgénica. Un obstáculo importante es la reducida disposición a pagar de los agricultores por semillas modificadas genéticamente (Abbey et al., 2024) El objetivo general es cuantificar los beneficios económicos y sociales derivados del empleo de semillas cisgénicas Bt de papa.

METODOLOGÍA

Hipótesis general

Las semillas de papa cisgénica Bt brindarán mayor rentabilidad al productor así como mayores excedentes a consumidores y productores.

Ámbito

El trabajo se centrará en las mayores regiones productoras de papa blanca en el Perú: Ayacucho, Cajamarca, Huánuco, Huancavelica, Junín y Puno. La producción de papa impulsa la economía regional y local; en las zonas productoras generan empleo, así mismo se destinan al autoconsumo, agroexportación y otros.

Tipo de investigación

El diseño del estudio es explicativo, específicamente es no experimental longitudinal, apela a la observación de las variables en su forma natural, sin manipulación de las mismas. Es de tipo longitudinal, porque las variables se estudian en diversas etapas de tiempo (Hernández et al., 2014).

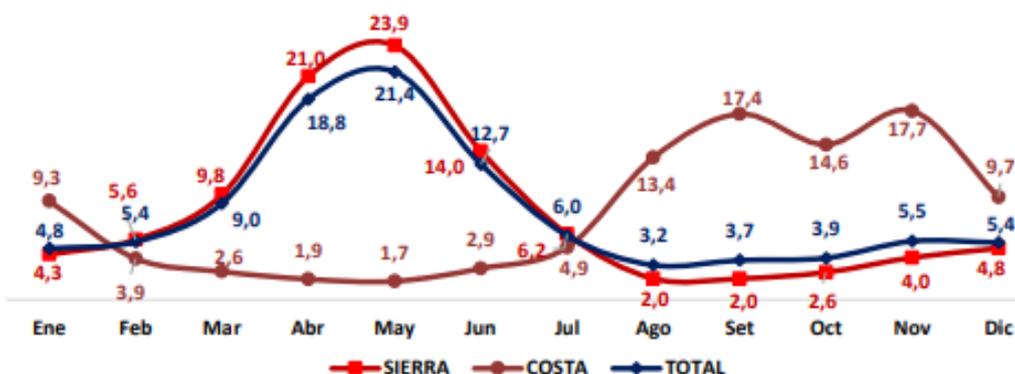
Datos y variables

Producto a mejorar: El Perú es el primer productor de papa en América Latina, con un volumen de producción de 6 millones de toneladas métricas registradas el año 2022, producidas por 711 mil familias en 19 regiones, siendo las de mayor producción Puno, Huánuco, Cusco, Cajamarca, Huancavelica y Junín. Cubre ampliamente las necesidades de los casi 33 millones de habitantes en el país. La papa es un cultivo competitivo del trigo y arroz en la dieta alimentaria y aporta 25% del PBI agropecuario. La rentabilidad es la obtención de un beneficio económico sobre los costos de producción en que incurre la unidad productiva (Parkin et al., 2010). La rentabilidad privada se calcula con base en los ingresos y costos monetarios.

La modificación genética propuesta: La semilla Bt es una semilla modificada genéticamente que contiene un gen de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) que produce una proteína tóxica para ciertas plagas de insectos. Díez et al. (2018) evaluaron la rentabilidad de la innovación genética en maíz amarillo duro y papa blanca en Perú, y encontraron que la semilla genéticamente modificada requiere menor aplicación de insecticidas, lo que reduce los costos de producción. En general, la semilla Bt de papa es una alternativa rentable y sostenible para los agricultores que buscan reducir el uso de insecticidas y aumentar la productividad de sus cultivos. Según Schneider et al. (2023), la cisgénesis implica insertar material genético en un organismo receptor procedente de un donante sexualmente compatible. En el caso de la papa cisgénica se toma genes de papa silvestre y se insertan en una papa comercial. Al respecto, Guillén y La Rosa (2019) establecieron que la producción de papa blanca con semilla canchán cisgénica resistente a racha en Huasahuasi sería más rentable que con la semilla convencional, con un impacto social positivo de US\$ 20 millones anuales.

Gráfico 1

Distribución mensual de las cosechas de papa (%)



Fuente: Midagri (2018)

En los últimos 19 años la superficie cosechada de papa en Perú ha crecido (MINAGRI 2021). El máximo número de hectáreas cosechadas se dio el año 2021, llegando a las 331 mil hectáreas debido al crecimiento en la sierra. La productividad nacional de papa creció al 1.03% anual, siendo más pronunciado en Arequipa (2.4%) y menos significativo en Ica. En sierra, el crecimiento de la

productividad ha superado la media nacional. En el año 2020, el rendimiento promedio fue de 16.5 t/h. Los factores climáticos en la sierra han influido en que las siembras se realicen a altitudes más elevadas en comparación con años anteriores. Las importaciones de papa precocida han experimentado un significativo aumento, pasando de 104 toneladas en 1950 a 32,279 toneladas en 2021, con un valor de 33 millones de dólares. Las exportaciones de papa ascendieron apenas a 664 toneladas. La figura 1 muestra la variación estacional de la producción de papa por región. El 97,4% de la producción proviene de la sierra, y el restante 2,6% proviene de la costa cuya producción coincide con la finalización de la cosecha en la sierra y está mayormente dirigida hacia Lima Metropolitana, que alberga un tercio de la población peruana. En cuanto a las condiciones óptimas para el cultivo de papa en la sierra, los valles interandinos con sistemas de riego por gravedad han demostrado ser especialmente productivos, como destacó el estudio de Maza et al. (2023). Estas áreas han facilitado un entorno propicio para el desarrollo de este cultivo.

La producción de papa en Perú ha tenido un crecimiento constante en las últimas dos décadas, beneficiando a los agricultores familiares y a la economía del país en su conjunto. La sierra y la costa han desempeñado roles complementarios como muestra la Figura 3, aprovechando sus respectivas ventajas para garantizar un suministro constante de este alimento esencial para la población peruana. La Tabla 1 presenta costos de producción de papa en las regiones de Junín, Cajamarca, Puno, Ayacucho, Huánuco y Huancavelica. Como se ve, hay variaciones en los costos de producción, que responden a las particularidades y condiciones específicas de cada región.

Tabla 1

Costos de producción hectárea de papa según regiones (en dólares)

Rubros	Junín	Cajamarca	Puno	Ayacucho	Huánuco	Huancavelica
Semilla	1,800.001	3,140.02	2,437.35	2,796.82	1,667.01	721.62
Fertilizantes	3,290.00	700.14	755.87	1,171.13	2,574.67	775.62
Insecticidas	660.00	178.44	246.06	936.18	918.34	73.64
Fungicidas	960.00	308.14	194.39	384.75	1,623.29	0.00
Herbicidas	240.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Adherentes	150.00	55.09	74.60	94.94	269.77	0.00
Mano de obra	2,360.00	1,112.61	1,768.87	1,197.49	2,131.15	1,433.43
Mecanización	1,300.00	1,004.11	837.00	1,064.72	1,049.00	981.43
Otros gastos	3,160.00	911.06	1,743.99	2,116.37	1,873.93	824.71
Costo total	13,920.00	7,574.40	8,507.00	10,375.15	13,662.00	4,909.00
Rendimiento	20,000.00	30,000.00	35,000.00	43,000.00	35,000.00	25,000.00
Precio en chacra	1.50	1.67	0.98	1.00	0.88	0.80

Fuente: Midagri (2023)

Métodos. Se usa el presupuesto parcial y el modelo de cambio de excedentes, ambos en entorno probabilístico, el cual según Maza et al. (2023) tiene la ventaja de integrar el riesgo en la simulación al analizar el comportamiento de variables aleatorias, permitiendo la previsión de diversos escenarios. Mallea (2016) sugiere su aplicación donde el riesgo es crucial y permite combinar información de diversas fuentes, obviando la inversión en el logro de más datos.

La simulación de Montecarlo. Técnica computarizada que ofrece a los responsables de un proyecto de inversión, público ó privado, una gama de resultados posibles con sus respectivas probabilidades de ocurrencia (Maza et al., 2023). De acuerdo a US EPA (2020), la ventaja es que realiza los cálculos en una sola operación y presenta los resultados en tablas y gráficos.

Tabla 2

Salidas generadas en la Simulación de Montecarlo

Tipo de salida	Detalle
Tablas de resultados probabilísticos	Muestran probabilidades de variables y posibles resultados.
Gráfico de resultados	Gráficos que muestran la probabilidad de ocurrencia de los diversos valores de las variables
Análisis de sensibilidad	Establece qué variables de entrada tienen mayor influencia sobre los resultados (variables de salida).
Análisis de escenarios	Determina los valores exactos que arroja cada resultado.
Correlación de variables de entrada	Modela las relaciones entre las variables de entrada

Fuente: Maza et al. (2023)

Presupuesto parcial probabilístico

El presupuesto permite la evaluación de ingresos netos, beneficios generados adaptada al cambio tecnológico impactando a procesos productivos. Se llama presupuesto parcial ya que se basa en el uso de datos que varían directamente al cambio tecnológico.

Tabla 3

Elementos del modelo de presupuesto

Variables determinísticas		Variables probabilísticas	
Gasto de maquinaria	Variables de entrada	Variable de salida	
Mano de obra	Gasto de semilla	Mano de obra en cosecha	Índice de beneficio-costo marginal
Gastos administrativos	Gasto de pesticidas	Rendimiento del cultivo (Ha)	Incremento de margen de rentabilidad
Gastos financieros	Gasto de fertilizantes	Precio de chacra	

Fuente: Maza et al. (2023)

Índice de Beneficio – Costo Marginal

El índice de beneficio-costo marginal se obtiene de una matriz realizada en una hoja Excel, en términos probabilísticos aplicando el software @Risk (Maza et al., 2023). Dado que la actividad agrícola está sujeta a riesgos, con alta variabilidad de rendimientos (explicable por agentes bióticos y abióticos: clima, disposición de agua, etcétera), hay alta variabilidad en precios del producto, de las semillas y otros insumos, por lo cual se construye el presupuesto parcial y se obtiene el coeficiente de beneficio – costo marginal en ambiente probabilístico, aplicando software de simulación que se acopla a la hoja de cálculo Excel (Maza et al., 2023).

Cambio de excedente determinístico o probabilístico (@Risk)

Este modelo evalúa tecnologías implementadas un antes o después, además de estimar beneficios sociales nueva tecnología a través del tiempo y distribución entre productores y consumidores. Obteniendo indicadores de rentabilidad social de inversiones de investigación y desarrollo de tecnologías. Se emplea el modelo de excedentes económicos de Alston et al., (1995), citado por Falck-Zepeda (2010), Figueroa et al. (2019), en entorno probabilístico, para evaluar la rentabilidad social por la semilla cisgénica de papa blanca.

Elementos del modelo

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

$$\Delta PS = (K - Z)P_0 Q_0 (1 + 0.5Zn)$$

$$\Delta TS = \Delta PS + \Delta CS$$

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

$$Z = \frac{K_e}{(e+n)}$$

Considerando el presupuesto por hectárea de producción de papa blanca en el sector agrícola, simulamos ingresos por venta teniendo en cuenta los valores esperados de precio y rendimiento por hectárea.

Se obtiene el margen bruto de beneficios por hectárea, restando del ingreso los costos totales.

Las variables de entrada son: precios, rendimientos, fertilizantes, pesticidas, semillas, maquinaria, que generan múltiples escenarios usando la simulación de Montecarlo (Figuroa et al., 2019) que genera resultados probabilísticos.

A partir de las variables de entrada se obtendrán variables de salida: 1) el margen bruto de rentabilidad por hectárea y 2) el Beneficio Costo Marginal.

Presupuesto parcial

El análisis del presupuesto parcial en agricultura se enfoca en comparar los costos y beneficios de diferentes métodos de producción.

En este caso, se compararon los resultados con las semillas cisgénicas Bt y con las semillas convencionales en la producción de papa.

El aumento del 2% en los costos al usar semillas cisgénicas Bt tiene un impacto prácticamente insignificante en el presupuesto total de producción, lo que significa que la diferencia en costos no afecta significativamente la inversión del agricultor.

En contraste, se observa una diferencia significativa en los beneficios. El uso de semillas cisgénicas Bt resulta en beneficios más del doble en comparación con las semillas convencionales. Esta disparidad demuestra la superioridad en productividad y rentabilidad de las semillas cisgénicas Bt.

En conclusión, la ligera diferencia en costos de las semillas cisgénicas Bt se ve sobradamente compensada por los considerables beneficios económicos.

La adopción de semillas cisgénicas se presenta como una opción altamente favorable para los agricultores, impulsando la sustentabilidad y el desarrollo en el sector agrícola.

Tabla 4

Costo de producción por hectárea de papa convencional y cisgénica Bt

Rubros	Costo de producción de papa		
	Convencional	Cisgénica Bt	Variaciones esperadas
Semilla	1,930.82	2,703.15	40%
Fertilizantes	1,995.03	1,995.07	0%
Insecticidas	504.91	252.46	-50%
Fungicidas	811.65	202.91	-75%
Herbicidas	120.00	120.00	0%
Adherentes	134.88	67.44	-50%
Mano de obra	1,736.30	1,736.30	0%
Mecanización	1,068.50	1,068.50	0%
Otros gastos	1,992.36	1,992.36	0%
Costo total	10,294.49	10,537.43	2%
Rendimiento	31,500.00	47,250.00	50%
Precio en chacra	1.24	1.24	0%
Ingreso total	38,902.50	58,353.75	50%
Margen bruto	26,608.02	47,816.32	67%

Mejora de rentabilidad del productor (BCM y cambio de margen)

La Tabla 4 proporciona una comparación detallada entre los costos de insumos, costos operativos y la productividad asociados con el cultivo de papa convencional y el cultivo de papa cisgénica, ambos con un precio de venta de 1.07. Al analizar estos datos, es evidente que el cultivo de papa cisgénica genera ingresos significativamente mayores en comparación con su contraparte convencional. Se observa que los ingresos generados por el cultivo de papa cisgénica superan los costos de insumos y operativos, lo que resulta en un mayor margen bruto del productor, quien no solo cubre los costos de producción, sino que también obtiene beneficios adicionales. Por lo tanto, el cultivo de papa cisgénica sería una opción altamente rentable para el agricultor. Esta diferencia en rentabilidad demuestra la viabilidad económica y la ventaja financiera de optar por la tecnología cisgénica en la producción de papa.

Los ingresos adicionales generados por este tipo de cultivo no solo mejoran la situación económica del productor, sino que también pueden contribuir al desarrollo sostenible de la industria agrícola, promoviendo la adopción de prácticas innovadoras y rentables en la agricultura. En resumen, la papa cisgénica Bt aumenta significativamente la rentabilidad y establece un camino hacia un futuro agrícola más próspero y sostenible.

Procedimiento de evaluación de cambio de bienestar

Esta evaluación económica emplea el modelo de cambio de excedentes de Alston et al. (1985) permite a los tomadores de decisión de las políticas públicas informarse sobre los impactos sociales de las semillas que evalúan utilizar y así, asignar recursos de manera efectiva y sostenible, contribuyendo así al desarrollo económico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados para el productor: BCM y Cambio de Margen del productor

Se identifica como beneficios de la semilla cisgénica Bt: 1) Los ingresos por usar la semilla cisgénica, el cual asciende a un promedio de S/. 58,353.75 y 2) Los costos abandonados porque ya no se usa la semilla actual que ascienden a un promedio de S/.10,294.49.

El beneficio total de la semilla cisgénica asciende a S/. 68,648.24. Los costos de emplear la semilla cisgénica son: 1) Los ingresos actuales con la semilla convencional ascienden a S/. 38,902.50 que se abandonan porque se deja de usar esta semilla, y 2) Los costos por usar la semilla cisgénica que ascienden a S/. 10,537.43.

Entonces, los costos totales por adoptar la semilla cisgénica ascienden a S/49,439.93. El índice Beneficio Costo Marginal que arroja la simulación es de 1.42, es decir, con 1 sol de inversión adicional en semilla cisgénica Bt el agricultor tendrá 42 centavos de ingreso adicional.

Tabla 5

Índice de beneficio-costo marginal

Concepto		Valor (\$)		
Beneficios				
Ingresos nuevos (semilla cisgénica Bt)		58,353.75		
Costos abandonados (semilla convencional)		10,294.49		
Total beneficios		68,648.24		
Costos				
Ingresos abandonados (semilla convencional)		38,902.50		
Costos nuevos (semilla cisgénica Bt)		10,537.43		
Total de costos		49,439.93		
Estadísticos resultados del @Risk	Mínimo	Medio	Máximo	Desv.St
Índice beneficio - Costo Marginal	0.5909	1.4201	3.1332	0.4085
Incremento del margen de producción (\$)		19,208.30		
Incremento del margen de producción (%)		67.14%		

Respecto al valor de los beneficios económicos del cambio de semilla convencional a una semilla cisgénica, la rentabilidad de la inversión del productor de papa con semilla certificada es evidente por el Índice de Beneficio Costo Marginal que se muestra en la Tabla 5 y que llega en promedio a 1.42 con un mínimo de 0.59 y un máximo de 3.13, con escenarios positivos en un 97.3% de los casos, es decir, que por cada sol invertido en la nueva semilla hay un retorno marginal de 29 centavos de sol.

Evaluación del cambio en bienestar: Cambio de excedentes

Al proyectar los parámetros básicos mediante el uso del software @Risk, se lleva a cabo la simulación de Montecarlo, lo que permite obtener los excedentes del productor, del consumidor, el excedente social y los beneficios netos asociados al cultivo de la semilla cisgénica de papa blanca.

Se destacan los beneficios significativos para los consumidores. En una perspectiva a largo plazo, se pronostica que la introducción y aceptación generalizada de la semilla cisgénica de papa blanca generará impactos sustanciales en los excedentes sociales.

Se proyecta un crecimiento considerable del excedente social hasta alcanzar un incremento de 97510 millones de soles (26 mil millones de US\$). Este incremento de excedente se distribuirá entre los

productores (S/65 mil millones equivalente a US\$17331 millones) y los consumidores (S/32 mil millones ó US\$8532 millones).

Se puede concluir que la liberación de la semilla cisgénica Bt de papa resulta en beneficios económicos significativos para los productores, y contribuye de manera positiva al bienestar económico de los consumidores, fortaleciendo así el excedente social total. Un beneficio económico significativo surge al cambiar la semilla convencional por la semilla cisgénica.

Según la tabla 6, este cambio se traduce en un valor de 97,496 millones de soles con una tasa de descuento de 8%. Esta cifra refleja no solo el potencial económico sino también la mejora en la eficiencia y productividad que resulta de la adopción de tecnologías avanzadas.

Tabla 6

Resultados del modelo de cambio de excedente con semilla cisgénica Bt

Impactos económicos	Valores (Millones S/)
Valor Actual Neto (TSD 8%)	97,496
Tasa Interna de Retorno	76439.61%
Cambio de Excedente de Consumidor	32,088
Cambio de Excedente del Productor	65,422
Cambio de Excedente Social	97,510

El índice de Beneficio Costo Marginal calculado con el software @Risk arroja un valor de 1.42, cercano al valor obtenido por Maza et al. (2023), de 1.31, confirma la eficiencia y rentabilidad de reemplazar con semilla de papa cisgénica Bt a la semilla convencional de papa. El cambio de excedentes en la tabla 6, usando la simulación de Montecarlo, en una proyección a 16 años, muestra en el caso del consumidor un cambio favorable, de 32 mil millones de soles y el excedente del productor crece en 65 mil millones, sumando un incremento del excedente social de 97 mil millones de soles, con una Tasa Interna de Retorno de 76439 % cercano a lo encontrado por Maza et al. (2023).

CONCLUSIÓN

El Margen Bruto de los productores crecería 67% al pasar de semilla convencional de papa a semilla cisgénica Bt, con un Beneficio Costo Marginal de 1.42, es decir, invirtiendo 1 sol en semilla cisgénica el agricultor obtendrá 42 centavos de ingreso adicional. Si se observa las ganancias para la sociedad, se confirma las ventajas económicas de liberar semillas cisgénicas de papa resistente a rancho e insectos pues el excedente social crecería en 97 mil millones de soles (26 mil millones de dólares al tipo de cambio de 3.72 soles por US dólar el día 27 de marzo de 2024), con un incremento del excedente del consumidor de 32 mil millones (8600 millones de dólares) y del productor de 65 mil millones (17470 millones de dólares). La inversión gubernamental en esta semilla arroja un VAN de 97 mil millones de soles (26 mil millones de dólares) y una Tasa Interna de Retorno de 76 mil por ciento. Dada la importancia de la biotecnología moderna sería conveniente evaluar ex ante los beneficios económicos de liberar alternativas genéticamente modificadas de otros cultivos.

REFERENCIAS

Abbey, M., Smith, A.G., Yue, C., Marson, C., Lai, Y., Stowers, C. (2024). Measuring specialty crop grower willingness to pay for genetic modification and genetic editing. *Agribusiness* (Accepted/in press). DOI: 10.1002/agr.21911

Alston, J., Norton, G., & Pardey, P. (1995). *Science under Scarcity: Principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting*. Cornell University Press, Ithaca, NY. 585 pp. <https://www.cambridge.org/core/journals/american-journal-of-alternative-agriculture/article/abs/science-under-scarcity-principles-and-practice-for-agricultural-research-evaluation-and-priority-setting-julian-m-alston-george-w-norton-and-philip-g-pardey-1995-cornell-university-press-po-box-250-ithaca-ny-14851-3995-hardcover-xxxiii-585-pp/B0BFA46B069B60C9391D28AD070AE0A1#article-tab>

Anderson, M., Gómez, R., Diez, R., & Linares, A. (2021). Competitividad de Perú y Sudamérica en la producción de arroz (*Oryza sativa*) y papa (*Solanum tuberosum*). *Anales Científicos*, 82(1),11-21. DOI:10.21704/ac.v82i1.1737

Arguedas, D. (2020, June 5). El increíble viaje de la papa andina, el tubérculo que transformó el mundo. *Biodiversidad en América Latina*. <https://www.biodiversidadla.org/Documentos/El-increible-viaje-de-la-papa-andina-el-tuberculo-que-transformo-el-mundo>

Bonnett, D. (2019). " Resurgencia" y recolonización de la papa. Del mundo andino al escenario alimentario mundial, siglos XVI-XX. *Anuario Colombiano de Historia Social y de la Cultura*, 46(1), 27-57. DOI:10.15446/achsc.v46n1.75552

CEPAL (1985). *Cepal.org*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/72090915-febc-452b-8c21-65cdd79d03ac/content>

Coaquira-Incacari, R., Julca, A., Coaquira-Lastarria, R. & Mendoza, J. (2019). Caracterización de las unidades productoras de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la provincia de Jauja, Junín, Perú. *IDESIA*, 37 (4): 101-108. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v37n4/0718-3429-idesia-37-04-101.pdf>

Chacón, L. (Viernes 29 de Mayo 2020). Día Nacional de la Papa: ¿por qué es tan importante este producto? SPDA Actualidad Ambiental. <https://www.actualidadambiental.pe/dia-nacional-de-la-papa-por-que-es-tan-importante-este-producto/#:~:text=Valor%20nutritivo,todo%2C%20en%20las%20papas%20nativas.>

Devaux, A.; Ordinola, M.; Hibon, A.; Flores, R. (eds.). 2010. *El sector papa en la región andina: Diagnóstico y elementos para una visión estratégica* (Bolivia, Ecuador y Perú). Lima (Perú). Centro Internacional de la Papa (CIP). ISBN 978-92-9060-384-9. 385 p. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/73217/73193.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Falck - Zepeda, J. 2010. Sesión 3: Descripción de Métodos Rápidos, International Food Policy Research Institute. Taller realizado en Cali dentro del Proyecto LAC Biosafety Fortalecimiento de capacidades para tomadores de decisiones en bioseguridad.

Figueroa, L., Diez, R., Gómez, R., & Linares, A. (2019). Beneficios económicos de la semilla certificada en la producción de arroz (*Oryza sativa*) en Perú. *Anales Científicos*, 80(2). 437 – 451. DOI:10.21704/ac.v80i2.1459

Fisher, A., & Regulatory Manager, J. R. (n.d.). 5001 Campus Drive College Park, MD 20740. *Fda.gov*. Retrieved November 8, 2023, from <https://www.fda.gov/media/154203/download>

Forbes, E., Wulff-Vester, A.K., Hvoslef-Eide, T. (2023). Will genetically modified late blight resistant potatoes be the first GM crops to be approved for commercial growing in Norway?. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1137598. DOI: 10.3389/fpls.2023.1137598

Frías, I. F. (2020). Rentabilidad y riesgos en la producción de papa blanca comercial y nativa en el distrito Huasahuasi, Tarma, Junín. [Tesis de licenciatura en Economía y Finanzas. Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e0ce24ad-db50-48b9-9831-107bb962f6bf/content>

Guillén, L.; La Rosa, M. 2019. El impacto económico de la regulación ambiental en la producción de papa en Barranca, Lima. *Anales Científicos* 80 (2):409-420. DOI: 10.21704/ac.v80i2.1457

Krause, S.M.B., Näther, A., Ortiz Cortes, V., Mullins, E., Kessel, G., Lotz, L.A.P., Tebbe, C.C. (2020). No Tangible Effects of Field-Grown Cisgenic Potatoes on Soil Microbial Communities. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 603145. DOI: 10.3389/fbioe.2020.603145

Maltseva, E., Iskakova, G., Ismagul, A., Chirkin, A., Naizabayeva, D., Ismagulova, G., Malakhova, N., Aitkhozhina, N., Eliby, S., Skiba, Y. (2021). A cisgenic approach in the transformation of bread wheat cv. saratovskaya 29 with class I chitinase gene. *Open Biotechnology Journal*, 15(1):29–35. DOI: 10.2174/1874070702115010029

Maza, S., Gómez-Oscorima, R., Diez-Matallana, R., Fernández-Northcote, E.N. (2022) Metodologías de evaluación ex - ante de los beneficios económicos de la biotecnología en el cultivo de papa en Perú. *Anales Científicos*. 84(1):1 - 19. DOI:10.21704/ac.v84i1.1958.

Muringai, V., Fan, X., Goddard, E. (2020). Canadian consumer acceptance of gene-edited versus genetically modified potatoes: A choice experiment approach. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 68(1):47–63. DOI: 10.1111/cjag.12221

Mohamed, S.A.-H., Kh, A.-E.-A.S., Moawad, S.S., Attallah, A.G.(2023). Genetic improvement of some microorganisms to increase the effect of bio-control on the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1):12. DOI: 10.1186/s41938-023-00648-5

Oliver, J. (2017). Rendimiento de dos variables de papa (*Solanum tuberosum* L.) con la aplicación de tierra negra y fertilizantes inorgánicos. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(2): 56 - 69. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182017000200008

Richael, C.M. (2020). Development of the Genetically Modified Innate® Potato. *Plant Breeding Reviews*: 57–78. DOI: 10.1002/9781119717003.ch3

Schneider, K., Barreiro-Hurle, J., Vossen, J., Schouten, H., Kessel, G., Andreasson, E., Kieu, N.P., Strassemeyer, J., Hristov, J., Rodriguez-Cerezo, E. (2023). Insights on cisgenic plants with durable disease resistance under the European Green Deal. *Trends in Biotechnology*, 41(8), pp. 1027–1040. DOI: 10.1016/j.tibtech.2023.02.005

Sergieieva, K. (2023, June 14). Tecnología Agrícola: Innovación en el cultivo de cosechas. *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/es/blog/tecnologias-en-la-agricultura/>

Shelton, A.M., Hossain, M.J., Paranjape, V., Azad, A.K., Rahman, M.L., Khan, A.S.M.M.R., Prodhan, M.Z.H., Rashid, M.A., Majumder, R., Hossain, M.A., Hussain, S.S., Huesing, J.E. y McCandless, L. (2018) Bt Eggplant Project in Bangladesh: History, Present Status, and Future Direction. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 6:106. doi: 10.3389/fbioe.2018.00106

US EPA. 2020. Use of Monte Carlo Simulation in Risk Assessments. Region 3: Technical Guidance Manual, Risk Assessment. Recuperado de: <https://www.epa.gov/risk/use-monte-carlosimulation-risk-assessments>

Walter, P. A. (2023). Divergencias sobre la Inocuidad del Paquete Tecnológico para la producción de Semillas Genéticamente Modificados. *Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação*, 5(1). <https://doi.org/10.33871/26747170.2023.5.1.7760>

Widaningsih, N.A., Roostika, I., Utami, D.W., Maharijaya, A., Kusmana, Jaenudin, U., Sobir. (2023). Genetic Diversity and Population Structure Analysis of Potato Somaclones, *HAYATI Journal of Biosciences*, 30(6):1008–1016. DOI: 10.4308/hjb.30.6.1008-1016

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

ANEXOS

Anexo 1

Evolución de las variables de producción de papa con la semilla cisgénica Bt

Tabla 1

Elasticidad y cambios en costos por la nueva tecnología

Año	Elasticidad de demanda (1)	Elasticidad de oferta (2)	Cambio de rendimiento (3)	Cambio equivalente del rendimiento (4)	Cambio en el costo de insumos (5)
2022					
2023	0.42	0.206	50.00%	2.427	0.024
...
2038	0.42	0.206	50.00%	2.427	0.024

Tabla 2

Equivalente y cambios netos en costos, probabilidad de éxito, tasa de adaptación y tasa de depreciación, Kmax y variación de precios por la nueva tecnología

Año	Cambio equivalente de costos (6)	Cambio neto de costos de insumos (7)	Probabilidad de éxito (8)	Tasa de adaptación (9)	Tasa de depreciación (10)	Kmax (11)	Variación de precios (12)
2022							
2023	-0.295	2.722	0.75	0.5	1	1.021	0.336
2024	-0.295	2.722	0.75	0.8	1	1.633	0.537
...
2038	-0.295	2.722	0.75	0.8	1	1.633	0.537

Tabla 3

Precio esperado, cantidad producida, cambio de excedente de productor, consumidor y social por la nueva tecnología

Año	Precio esperado (13)	Cantidad producida (14)	Cambio de excedente de productor (15)	Cambio de excedente de consumidor (16)	Cambio de excedente social (17)
2022					
2023	1235	5,121,110.00	4,637,238,370.04	2,274,455,010.07	6,911,693,380.11
2024	1235	5,121,110.00	7,712,932,053.91	3,783,009,531.20	11,495,941,585.11
...
2038	1235	5,121,110.00	7,712,932,053.91	3,783,009,531.20	11,495,941,585.11

Tabla 4

Inversión en desarrollo, costos de transferencia a productores y beneficios netos por la nueva tecnología

Año	Inversión en desarrollo (18)	Costos de transferencia a productores (19)	Beneficios netos (20)
2022	9,047,499,86		-9,047,499.86
2023		1,809,500.00	6,909,883,880.11
2024		1,809,500.00	11,494,132,085.11
2025			11,494,132,085.11
...			...
2038			11,494,132,085.11

Gráfico 1

Informe @Risk Salida: Coeficiente beneficio-costo marginal

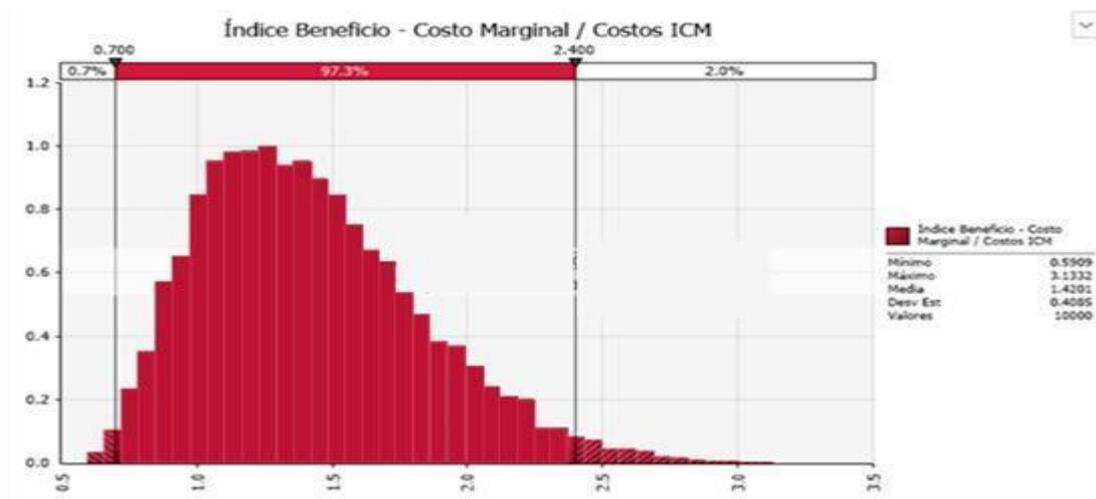


Tabla 5

Valores estadísticos de las variables

Rubro	Mínimo	Máximo	Promedio	Moda	Categoría
Semilla	721.62	3,140.02	2,093.80	-	Probabilística
Fertilizante	700.14	3,290.00	1,544.57	-	Determinística
Insecticidas	73.64	936.18	502.11	-	Probabilística
Fungicidas	0.00	1,623.29	578.43	-	Probabilística
Herbicidas	0.00	240.00	40.00	0.00	Determinística
Adherentes	0.00	269.77	107.40	-	Determinística
Mano de obra	1,112.61	2,360.00	1,667.26	-	Determinística
Mecanización	837.00	1,300.00	1,039.38	-	Determinística
Otros gastos.	824.71	3,160.00	1,771.68	-	Determinística
Costo total	4,909.00	13,920.00	9,824.59	-	Sumatoria
Rendimiento	20,000.00	43,000.00	31,333.33	35,000.00	Probabilística
Precio en chacra	0.80	1.67	1.14	-	Probabilística