



## METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN *EX-ANTE* DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL CULTIVO DE PAPA EN PERÚ

### Methodologies for *ex-ante* evaluation of the economic benefits of biotechnology in potato cultivation in Peru

Santos de los Reyes Maza y Silupú<sup>1</sup> ; Raquel-Margot Gómez-Oscorima<sup>2\*</sup> ; Ramón-Alberto Diez-Matallana<sup>3</sup> ; Enrique-N. Fernández-Northcote<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Estadístico Mg. Sc. Economía Agrícola. Consultor estadístico independiente. [santos.maza@gmail.com](mailto:santos.maza@gmail.com).

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, Lima, Perú. [rgo@lamolina.edu.pe](mailto:rgo@lamolina.edu.pe)

<sup>3</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. [rdiez@lamolina.edu.pe](mailto:rdiez@lamolina.edu.pe)

<sup>4</sup> Científico Asociado Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Agraria La Molina. [efernandeznorth@lamolina.edu.pe](mailto:efernandeznorth@lamolina.edu.pe)

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

Recibido: 08/12/2021; Aceptado: 29/01/2023; Publicado: 14/06/2023

### ABSTRACT

Agricultural technologies must be evaluated before their implementation so that decision makers have objective elements to support their judgment. Given the differences in the results if deterministic or probabilistic methods of *ex-ante* evaluation of technologies are used, the aim is to determine which are more efficient in the *ex-ante* evaluation of genetically modified potato seeds resistant to blight or late blight (caused by *Phytophthora infestans*) and potato tuber moth (*Phthorimaea operculella*). Resistance to these biotic agents is achieved with genes from wild potatoes (cisgenic modification) that provide resistance to late blight and with genes from *Bacillus thuringiensis* (transgenic modification) that provide resistance to potato tuber moth. The objective was to compare the deterministic and probabilistic versions of the partial budget and surplus-change methods, applying them to the case of evaluating the economic effects of releasing genetically modified potato seeds resistant to blight and moth. Greater efficiency of probabilistic methodologies is verified, because they show positive and negative probabilities of the benefits of the technology, giving a realistic image

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

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. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v84i1.1958>.

Autor de correspondencia (\*): Raquel-Margot Gómez-Oscorima. Email: [rgo@lamolina.edu.pe](mailto:rgo@lamolina.edu.pe)

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

This is an open access article under the CC BY.

of its expected success, surpassing deterministic methods that only find positive and unique values. Consequently, it is recommended to apply probabilistic methods for their usefulness in government decision making, by showing ranges of success and failure.

**Keywords:** Surplus-change | deterministic evaluation of technologies | probabilistic evaluation of technologies | genetically modified potato | partial budget.

---

## RESUMEN

Las tecnologías agrícolas deben ser evaluadas antes de su implementación para que los tomadores de decisión tengan elementos objetivos para fundamentar su juicio. Dadas las diferencias en los resultados si se emplea métodos determinísticos o probabilísticos de evaluación *ex-ante* de las tecnologías, se busca determinar cuáles son más eficientes en la evaluación *ex-ante* de semillas genéticamente modificadas de papa resistentes a la racha o tizón tardío (causada por *Phytophthora infestans*) y a la polilla de papa (*Phthorimaea operculella*). La resistencia a estos agentes bióticos se logra con genes de papas silvestres (modificación cisgénica) que brindan resistencia a racha y con genes de *Bacillus thuringiensis* (modificación transgénica) que proveen resistencia a la polilla de papa. Se tuvo el objetivo de comparar las versiones determinística y probabilística de los métodos de presupuesto parcial y cambio de excedentes, aplicándolos al caso de la evaluación de los efectos económicos de liberar las semillas modificadas genéticamente de papa resistentes a racha y polilla. Se comprueba mayor eficiencia de las metodologías probabilísticas, porque muestran probabilidades positivas y negativas de los beneficios de la tecnología, dando una imagen realista de su éxito esperado, superando a los métodos determinísticos que sólo encuentran valores positivos y únicos. En consecuencia, se recomienda aplicar los métodos probabilísticos por su utilidad en la toma de decisiones gubernamentales, al mostrar rangos de éxito y de fracaso.

**Palabras clave:** Cambio de excedentes | evaluación determinística de tecnologías | evaluación probabilística de tecnologías | papa genéticamente modificada | presupuesto parcial.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La biotecnología puede ayudar al desarrollo de la agricultura de los países y mejorar el abastecimiento de alimentos (Pixley et al., 2019; Kumar et al., 2020). Sin embargo, en el Perú está vigente la moratoria a transgénicos hasta el año 2035, de acuerdo con la Ley 31111 (Congreso de la República, 2021), que amplió la prohibición al ingreso y producción de organismos vivos modificados establecida en la Ley 29811. Esta norma es especialmente perjudicial en el caso de la papa, alimento básico en el Perú, cuyo consumo está creciendo en este país y en el mundo (Bonnet, 2018), pero en el Perú, según Anderson et al. (2021), el

rendimiento nacional es 13.25 t h<sup>-1</sup>, menor que el promedio mundial de 15.85 t h<sup>-1</sup>. El bajo rendimiento se explica por plagas, enfermedades y clima adverso, que podrían controlarse con semillas genéticamente modificadas, cisgénicas, que emplean genes de parientes silvestres, o transgénicas, que usan genes de *Bacillus thuringiensis*, o con eventos apilados (combinando ambas tecnologías). La racha (tizón tardío o *late blight*), causada por *Phytophthora infestans*, explica 40% de las pérdidas en campo como señalan Guillén y La Rosa (2019), que evaluaron *ex-ante* el impacto de semillas cisgénicas de papa. Según Maza (2020), se cultivan 190.4 millones de hectáreas de transgénicos, 91% de esa superficie en

Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá e India. Los más importantes son la soja, maíz, algodón y canola transgénicos, que incorporan genes de *Bacillus thuringiensis* buscando resistencia a insectos. Pixley et al. (2019); Guiller et al. (2017), asemejan la cisgénesis con la agroecología pues ambas controlan plagas y enfermedades sin agroquímicos. Piramidando tres fuentes de resistencia en la misma variedad de papa se obtiene un cisgénico que reduce 80% las aplicaciones de fungicidas (Haverkort et al., 2016) o 100% (Byarugaba et al., 2021). La producción, costos y rendimientos de papa en Perú son diferentes por región, con gran variabilidad en los resultados económicos (tal como señalan Gómez et al., 2021). Un 42% del área con papa en Perú muestra incidencia alta a muy alta de la ranca, y en los principales departamentos productores, entre 50 y 80% del área sembrada tiene incidencia alta a muy alta (Egúsqüiza y Apaza, 2001). Esta alta incidencia, válida al presente, demanda aplicar fungicidas de 8 a 15 veces pudiendo llegar a 20-30 por campaña (Fernández-Northcote, 2004). El control de la ranca es especialmente oneroso y una buena estrategia de control es altamente rentable para el agricultor, muy beneficioso para su salud y amigable con el medio ambiente (Thiele et al., 1998). La supuesta amenaza de transgénicos a la biodiversidad, a la cultura y la economía de los pequeños productores, ha sido desvirtuada en Perú por investigaciones del Proyecto LAC-Biosafety en Maíz y Papa (Proyecto LAC-Biosafety 2012 a, 2012 b, Ghislain et al., 2014). Por otro lado, Diez et al. (2013); Diez et al. (2018); Guillén y La Rosa (2019), evidencian los beneficios económicos para el productor y el consumidor, de liberar semillas modificadas genéticamente de papa, resistente a polilla y a ranca. Guillén y La Rosa (2019), demuestran también, que la papa cisgénica beneficiaría el ambiente pues reduce el coeficiente de impacto ambiental de este cultivo, al reducir el uso de fungicidas costosos perjudiciales

para el medio ambiente. Además, la semilla cisgénica de papa resistente a ranca, según Guillén y La Rosa (2019), mejoraría los rendimientos. Según la información en Ghislain et al. (2014), la semilla cisgénica no presenta riesgos de flujo de genes a variedades comerciales o nativas. La introducción no intencional del transgén es un evento altamente improbable. Sería ideal, adicionarle resistencia a la polilla de la papa, que afecta seriamente al cultivo de papa en Perú (Cañedo & Cisneros, 2004). El cambio climático, en curso según Álvarez-Bravo et al. (2017), podría traer al Perú la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*), que en Ecuador ha causado pérdidas de hasta 100% de la cosecha. Es de muy difícil control y muy perjudicial para la papa. Una papa cisgénica, de innegables ventajas productivas (Kumar et al., 2020), enriquecida con genes de *Bacillus thuringiensis* (de ahora en adelante *Bt*) es una gran alternativa para proteger rendimientos y reducir costos ambientales y de salud producidos por los agroquímicos (Jiménez & Estrada-Pantoja, 2016).

**Respecto a evaluación de metodologías,** Diez et al. (2013) realizaron un trabajo seminal para Perú, una evaluación *ex-ante* determinística de los impactos de la liberación de semillas genéticamente modificadas empleando presupuesto parcial y el modelo de cambio de excedentes. Empero, esta evaluación no incorpora el riesgo, y no establece las probabilidades de ocurrencia de los resultados. Figueroa et al. (2019); Guillén y La Rosa (2019), superan eso usando modelos probabilísticos para evaluar a nivel *ex-ante*, los impactos de masificar las semillas certificadas o mejoradas, obteniendo una gama de escenarios (sin necesidad de ir incorporando cambios en las variables de entrada en forma iterativa debido a que el *software @Risk* genera automáticamente los escenarios) con gran cantidad de resultados posibles para las variables de salida.

Respecto a la medición de beneficios económicos de la tecnología para el agricultor y la sociedad, Figueroa et al. (2019), con un modelo probabilístico encontraron que una semilla certificada de arroz, arroja un beneficio costo marginal esperado medio, mayor que 1 y un incremento en los excedentes sociales esperados medios.

Queda la duda si se incrementa la robustez del análisis al pasar de modelos determinísticos a modelos probabilísticos. Por ello, el objetivo es comparar la eficiencia analítica de las metodologías determinísticas y probabilísticas aplicadas en una evaluación *ex-ante* (dado que está prohibido sembrar estos cultivos se usan parámetros de variaciones de costos y rendimientos, tomadas de la literatura), para brindar información a los tomadores de decisión respecto a la liberación en Perú de una semilla de papa cisgénica *Bt*, resistente a rancho y a polilla.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Respecto al ámbito de la investigación, se sigue a Maza (2020), que recoge datos de las principales zonas productoras de papa del Perú, por volumen, rendimientos o importancia en el abastecimiento de Lima: Ayacucho, Cajamarca Huánuco, Huancavelica, Junín, Lima y Puno, para establecer la situación de partida. Los métodos determinísticos producen una situación de equilibrio con coordenadas únicas; en tanto que, el método probabilístico, gracias al *software @Risk*, genera un conjunto de escenarios de equilibrio (en este caso 10000), a partir de los datos iniciales fijos y las distribuciones de probabilidad de las variables de entrada (sin necesidad de realizar simulaciones iterativas cambiando los valores de las variables de entrada manualmente como se tendría que hacer en un modelo determinístico), con una serie de posibilidades de beneficio, y el costo total no

es un punto sino un vector de datos, lo mismo ocurre con el precio y los rendimientos por hectárea. El total de ingresos que, en el caso determinístico resulta de multiplicar el valor promedio del precio por el valor promedio del rendimiento, en el caso probabilístico, es el producto de dos vectores, y resulta, un conjunto de datos. La rentabilidad, la diferencia de ingresos menos costos, en este caso, es la resta del vector de ingresos menos el vector de costos. El resultado será una distribución de probabilidad de valores de la rentabilidad empleando un modelo de simulación de Montecarlo. Para Inquilla-Mamani y Rodríguez-Limachi (2019); Gómez et al. (2021), Muñoz y Villafuerte (2015), la simulación de Montecarlo, favorece la toma de decisiones en escenarios riesgosos, pues ofrece una serie de resultados con sus probabilidades de ocurrencia. La Tabla 1 presenta las salidas de la simulación de Montecarlo. El software *@Risk* realiza los cálculos en una operación, evitando el cálculo manual, y presenta gráficos y tablas de comprensión intuitiva. Se considera 10000 iteraciones en una simulación.

### **Evaluación de los beneficios en el corto plazo**

**Modelo determinístico.** El análisis de presupuesto parcial permite evaluar las variaciones en ingresos netos y en beneficios derivados de la adopción de un cambio tecnológico en los procesos productivos. El modelo considera sólo los costos que varían con el cambio tecnológico, por eso se llama “Presupuesto Parcial”. En la versión determinística del modelo, las variables usadas en los cálculos tienen valores conocidos e invariantes, y no considera el riesgo de la situación en la que se encuentran. La probabilidad de ocurrencia, es decir, que los valores predichos de las variables se cumplan, es del 100%, no se capta la incertidumbre ni variabilidad, y se genera una falsa percepción de precisión, limitando su capacidad predictiva (Fernández et

**Tabla 1.** Salidas de la Simulación de Montecarlo

Tipos de salida	Detalle
Tabla de resultados probabilísticos	Muestran probabilidades de variables y posibles resultados.
Gráficos 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.

al., 2018; Savage, 2002). El presupuesto parcial, construido en software Excel, permite calcular incrementos en margen de rentabilidad (fórmula 1), para confirmar la bondad de la tecnología y obtener el índice de beneficio costo marginal, útil para la evaluación de corto plazo (Diez *et al.*, 2018):

$$\text{Beneficio costo marginal} = \frac{\sum \text{Nuevos beneficios}}{\sum \text{Nuevos costos}} \quad (1)$$

Donde: 1) Nuevos beneficios por adoptar la nueva semilla: Suma de ingresos con la nueva semilla y costos abandonados (total de costos con la semilla convencional), 2) Costos por adoptar la nueva semilla: Suma de ingresos abandonados (al dejar la semilla convencional) y costos de emplear la semilla genéticamente modificada.

Recordemos que: Ingresos = Precio promedio x cantidad promedio de kilos producida por hectárea. 2) Costos = suma de costos promedios por rubro =  $cs+cp+cf+cmo+cmaq+cind+oc$ . Donde:  $Cs$ =Costo de semilla,  $Cp$ =Costo de plaguicidas,  $Cf$ =Costo fertilizantes,  $Cmo$ =Costo de mano de obra,  $Cmaq$ =Costo mecanización agrícola,  $Cind$ =Costos indirectos,  $OC$ =Otros costos. Si el índice Beneficio - Costo Marginal es mayor que uno la innovación es útil para el agricultor. Si es uno es neutral. Si es menor que uno, da pérdidas al agricultor. Es marginal porque mide el cambio sólo en un área pequeña del proceso productivo.

**Presupuesto parcial determinístico**

En la Tabla 2, se describe las variables utilizadas y la lógica formal del análisis económico empleado por Maza (2020).

**Modelo probabilístico.** Según Figueroa (2019); Guillén y La Rosa (2019); Maza (2020), el método probabilístico considera el riesgo en la simulación, y el comportamiento aleatorio de las variables. Con los mismos valores de las variables, se obtienen diferentes resultados o escenarios, generando un enfoque más realista. El software @Risk en sus últimas versiones permite generar 100 mil escenarios por simulación y 100 simulaciones simultáneamente sin necesidad de incorporar valores adicionales de las variables de entrada en forma iterativa. Mallea (2016), señala cuándo usar el método probabilístico: i) si la aversión al

**Tabla 2.** Elementos del modelo de presupuesto

Entradas	Salidas
Gastos en maquinaria	Índice de Beneficio-costo marginal
Mano de obra	
Gasto en semilla	
Gasto en pesticidas	
Gasto en fertilizantes	
Gastos administrativos	Incremento de margen de rentabilidad
Gastos financieros	
Rendimiento del cultivo (ha)	
Precio en chacra	

riesgo de los involucrados es importante (señalada por Trujillo et al., 2012), ii) si la información incierta de diversas fuentes es combinada (evaluación *ex-ante* emplea información de corte transversal, histórica y datos de entrevistas como hacen Diez et al., 2013; Diez et al., 2018), iii) si se debe gastar dinero para captar mayor información (si el presupuesto es limitado es indeseable), y iv) si las pérdidas son significativas y asimétricas en torno a la decisión óptima (caso de la agricultura campesina). Todos estos supuestos se cumplen al evaluar tecnologías controversiales como las de combinar material genético en laboratorio para producir semillas de productos emblemáticos como la papa.

Cabe señalar que el modelo en su versión probabilística toma en cuenta todas las variables empleadas en el modelo en su versión determinística (es el mismo modelo), sólo que, en éste algunas variables están expresadas como distribución de probabilidad (las llamadas variables de entrada).

### Presupuesto parcial probabilístico

En la Tabla 3, se describe las variables utilizadas y la lógica formal del análisis económico empleado por Maza (2020).

### Índice de beneficio-costo marginal (determinístico vs. probabilístico)

Se obtendrá el índice, primero en términos determinísticos considerando los valores promedios de costos, beneficios y variaciones de rendimientos y costos. Luego, en términos probabilísticos considerando las distribuciones de probabilidad apropiadas para las variables de entrada. Los nuevos beneficios son, la suma de ingresos obtenidos de la semilla genéticamente modificada más los costos abandonados al dejar la semilla convencional. Los nuevos costos son la suma de los costos de producción de la semilla genéticamente modificada más los ingresos abandonados al dejar la semilla convencional. En el modelo determinístico se toman valores promedios de costos e ingresos, lo cual genera un resultado único de la evaluación. En el modelo probabilístico se obtiene el índice de Beneficio Costo Marginal, aplicando el software *@Risk*. Se trabaja con los valores esperados del rendimiento y precio del cultivo, y de costos de producción (semillas, pesticidas, fertilizantes, y otros), reflejando el riesgo agrícola (Gómez et al., 2021). Dado que la actividad agrícola está sujeta a riesgos, con variabilidad de rendimientos (por agentes bióticos y abióticos: clima, calidad y disposición de agua, etcétera),

**Tabla 3.** Elementos del modelo de presupuesto en entorno probabilístico

Variables determinísticas	Variables probabilísticas		
	Variables de entrada (Risk input variables)	Variables de salida (Risk output variables)	
Gastos en maquinaria			
Mano de Obra Adherentes Herbicidas	Gasto en semilla Risk Uniform (721.70;4830.22)	Mano de obra en cosecha Risk Uniform (701.60;2446.48)	Índice de Beneficio-costo marginal
Gastos administrativos	Gasto en pesticidas Risk Uniform (73.64;1320.06)	Rendimiento t h <sup>-1</sup> Risk Triang (11.25;12,45,15,85)	
Gastos financieros	Gasto en fertilizantes Risk Uniform (480; 3461,58)	Precio en chacra en S/ por kg Risk Triang (0,31,0,82;1,05)	

variabilidad en precios del producto, de las semillas y de otros insumos, con estos datos se construye el presupuesto parcial y se obtiene el coeficiente de beneficio – costo marginal en ambiente probabilístico.

**Cambio de excedentes determinístico vs probabilístico (@Risk)**

El modelo de cambio de excedentes económicos permite evaluar tecnologías antes o después de ser implementadas, y estima los beneficios sociales de la tecnología a través del tiempo y su distribución entre productores y consumidores. Brinda indicadores de rentabilidad social de las inversiones en investigación y desarrollo de las tecnologías: valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y cambios en excedentes de productores y consumidores. Fue usado por Diez et al. (2013) en entorno determinístico, y por Diez et al. (2018); Figueroa et al. (2019); Guillén y La Rosa (2019), en entorno probabilístico, para evaluar la rentabilidad de la liberación de semillas modificadas genéticamente. Se usa las fórmulas y variables para los cambios del productor nacional y del consumidor, empleadas por Figueroa et al. (2019) y Maza (2020). Se considera un horizonte de 16 años, más 1 año de inversión en investigación para desarrollar y probar la semilla modificada y

transferencia de la semilla durante 7 años. Las elasticidades de demanda y oferta, y la tasa de adopción se toman de Maza (2020). La tasa social de descuento es 8% (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2021). La probabilidad de éxito de innovaciones tecnológicas es 75% (Maza, 2020). Se toma la evolución de la tasa de adopción de Rogers empleada por Diez et al. (2013), Maza (2020) y otros investigadores, que sigue una evolución progresiva, primero los más arriesgados innovadores (2,8% de la población, luego se incorporan los primeros seguidores y crecen hasta llegar al 80%, porque se espera que los más innovadores adopten otras alternativas tecnológicas. Las variables del modelo de cambio de excedentes en su versión determinística se listan en la Tabla 4.

En la Tabla 5 se presentan los elementos del modelo de cambio de excedentes en su versión probabilística. Se categorizan las variables determinísticas y probabilísticas (variables de entrada).

La evaluación *ex-ante* (antes de la liberación y siembra de la semilla nueva) de largo plazo de impactos económicos de liberar una semilla cisgénica *Bt* de papa, se efectúa con el método de cambio de

**Tabla 4.** Elementos del modelo de cambio de excedentes en su versión determinística

Variables del modelo	Indicadores de eficiencia de la semilla	
Elasticidad de oferta de papa.	<i>Eficiencia de la inversión gubernamental</i>	<i>Eficiencia social de la inversión en semilla GM</i>
Elasticidad demanda de papa.		
Tasa de depreciación		
Cambio promedio en rendimientos		
Cambio promedio en costo de insumos	Valor Actual Neto Tasa Interna de retorno	Cambio de excedentes: De consumidores De la sociedad De productores
Probabilidad de éxito		
Tasa de adopción		
Cantidad producida		
Precio promedio al consumidor		
Costo de investigación y transferencia de la semilla GM		

**Tabla 5.** Elementos del modelo de cambio de excedentes en su versión probabilística

Variables determinísticas	Variables probabilísticas	
	Variables de entrada	Variables de salida
Elasticidad de oferta de papa.	Cambio en rendimientos	
Elasticidad demanda de papa	riskUniform	<i>Eficiencia de la inversión Gubernamental</i>
Tasa de depreciación	(0;100%)	<i>Eficiencia social de la inversión en semilla GM</i>
	Cambio en costo de insumos	
Tasa de adopción	Precio al consumidor	Valor Actual Neto
Probabilidad de éxito	Costo investigación y transferencia	Tasa Interna de retorno
Cantidad Producida	semilla GM	Cambio de excedentes: De consumidores De la sociedad De productores

excedentes económicos, en *software Excel* para la evaluación determinística. Para la probabilística se agrega el *software @Risk* al *Excel*. Se toman los criterios de Figueroa *et al.* (2019) y Maza (2020). Se asume un costo de inversión inicial (Proceso 1) tomando como referencia a Schiek *et al.* (2016), de US\$ 353500, durante tres años, dado que se hará 2 modificaciones genéticas: Incorporación de genes de papas silvestres para resistencia a rancho y gen *Bt* de resistencia a polilla, resultando un monto de US\$ 1060500. Los costos de transferencia de tecnología y proceso regulatorio para la autorización de la liberación al ambiente durante 5 años son de US\$ 1002453, que corresponden a dos años de evaluación experimental en varias localidades (Proceso 2) US\$396412; y dos años para la elaboración de un Dossier (Proceso 3) para el proceso regulatorio (US\$425500) y su autorización (Proceso 4) a un costo de US\$180541. Según Maza (2020), no hay comercio exterior significativo. Se considera la cantidad producida en Perú el año 2018: 5,12 millones de toneladas. En base a información obtenida en la literatura, en la Tabla 6 se muestra las variaciones de las variables afectadas por usar papa cisgénica *Bt*: 1) rendimientos, 2) gasto en semilla, 3) gasto en plaguicidas y 4) gasto en fungicidas.

**Tabla 6.** Variación esperada de variables fundamentales en el cultivo de papa usando semilla cisgénica *Bt* resistente a rancho y polilla

Variaciones	Mínimo	Máximo	Media
Incremento de rendimientos	0%	100%	50%
Gasto en semilla	10%	70%	40%
Reducción de insecticidas	0%	100%	50%
Reducción de fungicidas	50%	100%	75%

Fuente: Maza (2020).

### 3. RESULTADOS

#### Situaciones con semilla convencional y con semilla cisgénica *Bt* con el método determinístico

En la Tabla 7 se muestra los resultados promedio obtenidos por Maza (2020) por hectárea de papa: 1) Con semilla convencional las variables promedio son: rendimiento 20,23 t h<sup>-1</sup>, ingreso S/16589,23, costo S/10407,08, margen bruto S/6182,15; 2) Con papa cisgénica *Bt*, costo S/10703,79, rendimiento 30,3 t h<sup>-1</sup>, ingreso S/24883,85. El margen del productor medio crece a S/14180,06, 129,37% más que con papa convencional.

**Tabla 7.** Costos de producción promedio por hectárea de papa en el Perú

Rubros	Convencional	Cisgénica Bt**	Variaciones (%)
Semilla	2431.42	3403.98	40.00
Costos que no cambian *	6899.46	6899.46	0.00
Insecticidas	525.19	262.59	-50.00
Fungicidas	551.06	137.76	-75.00
Costos totales	10407.08	10703.79	2.85
Rendimiento	20230.77	30346.15	50.00
Precio promedio	0.82	0.82	0.00
Ingresos	16589.23	24883.85	50.00
Margen bruto	6182.15	14180.06	129.37

\*Fertilizantes, adherentes, herbicidas, mano de obra, mecanización, otros costos (Maza, 2020)

\*\* Valor estimado esperado, recordemos que no se siembra semilla genéticamente modificada en el país, por la Ley 29811 y su ampliatoria, la Ley 31111, que prohíbe el ingreso y producción de organismos vivos modificados, por esa razón, se toma variaciones en costos y rendimientos de la literatura (Maza, 2020).

### Situaciones con semilla convencional y con semilla cisgénica Bt con el método probabilístico

En la tabla 8 se compara los costos de producción por hectárea de papa convencional y papa cisgénica Bt.

Al emplear distribuciones de probabilidad en vez de promedios se generan resultados diferentes que con el método determinístico. El rendimiento promedio esperado con semilla convencional es 23.33 t h<sup>-1</sup>, con costo de producción promedio esperado

de S/ 12386.14 ha<sup>-1</sup>, con precio en chacra promedio esperado de S/ 0.95 kg<sup>-1</sup>, el ingreso promedio esperado por hectárea es S/22166.67 y el margen bruto esperado medio es S/ 9780.53.

El rendimiento promedio esperado con papa cisgénica Bt es 35 t h<sup>-1</sup> con costo de producción esperado de S/11365.29 h<sup>-1</sup>, con precio en chacra de S/0.95 kg<sup>-1</sup>, ingreso esperado de S/ 33250 y margen bruto de S/ 21884.71.

**Tabla 8.** Costos de producción \*\*\* por hectárea de papa convencional y papa cisgénica Bt

Rubros	Convencional	Cisgénica Bt**	Variaciones
Semilla	2776.04	3886.46	40.00%
Costos que no cambian *	6899.46	6899.46	0.00%
Insecticidas	696.90	348.45	-50.00%
Fungicidas	923.69	230.92	-75.00%
Costo total de producción	11296.09	11365.29	0.61%
Rendimiento	23333.33	35000.00	50.00%
Precio promedio	0.95	0.95	0.00%
Ingresos	22166.67	33250.00	50.00%
Margen bruto	10870.58	21884.71	101.32%

\*Son los costos determinísticos: Fertilizantes, adherentes, herbicidas, mano de obra, mecanización, otros costos (Maza, 2020).

\*\* Valor estimado esperado, no se siembra semilla genéticamente modificada en el país, por la Ley 29811 y su ampliatoria, la Ley 31111, que prohíbe el ingreso y producción de organismos vivos modificados, por esa razón, se toma variaciones en costos y rendimientos de la literatura (Maza, 2020).

\*\*\* Se considera 10000 escenarios.

El incremento de rendimiento con semilla cisgénica respecto a la convencional es 26.94% y el incremento del margen bruto es de 101.32%.

Los resultados de la evaluación *ex-ante* a corto plazo de la semilla cisgénica *Bt* de papa, obteniendo los índices de beneficio – costo marginal y los cambios de margen bruto, con los métodos determinístico y probabilístico se comparan en la Tabla 9.

Luego, se compara la amplitud de los indicadores obtenidos con los métodos determinístico y probabilístico en la Tabla 10.

La metodología probabilística encuentra 100% de escenarios positivos, la determinística asume, sin ningún sustento real, que los escenarios son 100% positivos. La probabilística muestra una gama de valores para los indicadores de resultados, la determinística nos brinda un solo valor.

**Tabla 9.** Índice de beneficio–costo marginal y cambio del margen bruto

Concepto	Ítem	Probabilístico	Determinístico
Costos	Ingreso abandonado Convencional	22166.67	16589.23
	Costos con la semilla GM	11365.29	10703.79
	Total de costos	33531.96	27293.02
Beneficios	Costos abandonados Convencional	11296.09	10407.08
	Ingresos con la semilla GM	33250.00	24883.85
	Total de Beneficios	44546.09	35290.93
Coeficiente Beneficio Costo Marginal		1.04 Mínimo	No se obtiene
		1.32 Medio	1.29
		1.47 Máximo	No se obtiene
		1047.94 Mínimo	No se obtiene
Incremento del margen bruto S/		11014.13 Medio	7997.91
		34666.49 Máximo	No se obtiene

**Tabla 10.** Amplitud de los indicadores de beneficio – costo marginal y cambio de margen de rentabilidad según las evaluaciones determinística y probabilística

Conceptos		Probabilístico	Determinístico
Valores hallados del Beneficio Costo Marginal	Valores calculados	Muchos	Único
	Escenarios negativos	Se halla 0%	No obtiene
	Escenarios positivos	Se halla 100%	Asume 100%
	Mínimo	1.04	No obtiene
	Medio	1.32	1.29
	Máximo	1.47	No se obtiene
Valores hallados del cambio de margen de rentabilidad	Gráfico de distribución de probabilidad	Sí se obtiene	No se obtiene
	Valores calculados	Muchos	Único
	Mínimo	1047.94	No se obtiene
	Medio	11014.13	11041.13
	Máximo	34666.49	No se obtiene
	Escenarios negativos	Se halla 0%	No se obtiene
	Escenarios positivos	Se halla 100%	No se obtiene
	Gráfico de distribución de probabilidad	Sí se obtiene	No se obtiene

### 2.1.1. Comparación de resultados determinísticos y probabilísticos de largo plazo

La evaluación de largo plazo, muestra que hay grandes beneficios para la sociedad, medidos en los cambios de excedentes de consumidor, de productor y de la sociedad, así como del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) de la inversión pública en investigación y difusión de semilla de papa cisgénica *Bt*, desde un mínimo, negativo de -4968 millones de soles, hasta un máximo de 148552 millones de soles, con un valor promedio de 42891 millones de soles. Se ve una cantidad mínima de escenarios negativos (0.6%).

Entre los valores determinísticos no hay ni valores negativos ni la dispersión de resultados, pues sólo hay un valor promedio, lo cual da una información sesgada.

El usar una semilla cisgénica *Bt* de papa, con mayor rendimiento y resistencia a racha y polilla, tendrá beneficios económicos para la sociedad, evidentes en el VAN y la TIR. En la tabla 10, se ve que el método probabilístico genera muchos posibles valores, y que el determinístico sólo genera valores únicos, no tiene distribución de probabilidad ni valores mínimos ni máximo.

Como ambos usan la misma data básica, los índices tendrán la misma dirección, es decir, los valores medios de éstos señalarán que la tecnología es buena o que es mala. La diferencia estriba en que, el análisis probabilístico señala las probabilidades de que la tecnología nueva tenga malos o buenos resultados.

La Tabla 11 muestra que la semilla cisgénica *Bt* es más rentable que la convencional. Pero el método determinístico no muestra en qué porcentaje de escenarios podría ser menos rentable. Sólo arroja un valor promedio de resultados en base a valores promedios de precios, rendimientos y costos.

El método determinístico brinda un único valor numérico positivo para los indicadores de eficiencia de la inversión gubernamental (VAN y TIR) y el método probabilístico provee una amplia variedad de resultados, asemejándose a la compleja realidad agrícola, y en especial, del cultivo de papa.

Respecto al Valor Actual Neto (VAN), el método probabilístico, arroja 0.6% de escenarios desfavorables para el VAN, incorporando el riesgo de la actividad agrícola.

Respecto a la Tasa Interna de Retorno (TIR), el método probabilístico encuentra cero escenarios negativos, brindando información robusta, segura, al decisor. En cambio, el método determinístico asume 100% de escenarios positivos. El método probabilístico arroja un valor mínimo de 65.1%, muy superior a la tasa actual de descuento social de 8% (MEF, 2021). El valor medio esperado según el método probabilístico resulta 8483%, superior al 8439% de la estimación determinística. Cabe señalar que sea determinístico o probabilístico hay coincidencia en que la inversión en esta semilla es redituable para el Estado.

## 4. DISCUSIÓN

Ambos métodos dan un resultado, en el mismo sentido, de la calidad de la innovación evaluada, pues no se da el caso que una descalifique y que la otra la apruebe. Se alinea con los resultados de Diez et al. (2013); Figueroa et al. (2019); Guillén y La Rosa (2019), que coinciden en que las semillas genéticamente modificadas para enfrentar factores limitantes como la racha y la polilla son económicamente rentables para la sociedad. La diferencia radica en que, el método determinístico da valores únicos, con información limitada para los tomadores de decisión, mientras que, el probabilístico arroja una gama de

**Tabla 11.** Cambios de excedentes, VAN y TIR según la evaluación determinística y la probabilística

Concepto	Resultados	Probabilística	Determinística
<b>Valores de Cambio de excedente de consumidor (millones de soles)</b>	Escenarios negativos	0.60%	No se obtiene
	Escenarios positivos	99.40%	100%
	Mínimo	-1635	No se obtiene
	Medio	14114	13701
	Máximo	48885	No se obtiene
	Gráfico de distribución de probabilidad	Sí se obtiene	No se obtiene
<b>Valores de Cambio de excedente de productor (millones de soles)</b>	Escenarios negativos	0.60%	No se obtiene
	Escenarios positivos	99.40%	Asume 100%
	Mínimo	-3333	No se obtiene
	Medio	28777	27934
	Máximo	99668	No se obtiene
	Gráfico de distribución de probabilidad	Sí se obtiene	No se obtiene
<b>Valores hallados del Excedente Social (millones de S/)</b>	Escenarios negativos	0.60%	No se obtiene
	Escenarios positivos	99.40	Asume 100%
	Mínimo	-4968	No se obtiene
	Medio	42891	41635
	Máximo	148552	No se obtiene
	Gráfico de distribución de probabilidad	Si se obtiene	No se obtiene
<b>Valores hallados del Valor Actual Neto (millones de S/)</b>	Escenarios negativos	0.60%	No se obtiene
	Escenarios positivos	99.40%	No se obtiene
	Mínimo	-4976	No se obtiene
	Medio	42883	41626
	Máximo	148544	No se obtiene
	Gráfico de distribución de probabilidad	Sí se obtiene	No se obtiene
<b>Valores hallados de la Tasa Interna de Retorno</b>	Escenarios negativos	0.00%	No se obtiene
	Escenarios positivos	100.00%	Asume 100%
	Mínimo	65.1%	No se obtiene
	Medio	8483%	8439%
	Máximo	26889%	No se obtiene
	Gráfico de distribución de probabilidad	Sí se obtiene	No se obtiene

resultados junto con la distribución de probabilidad de los resultados esperados. Los promedios son los valores usados en la estimación determinística, que se hace en base a valores puntuales. La estimación probabilística recoge la diversidad de los datos, presente en la realidad, y brinda

una gama de escenarios, con la ayuda del *software @Risk*, que ya se ha señalado que no demanda intervención manual iterativa del operador, recogiendo la variabilidad presente en la realidad. Es lo que señalan Figueroa et al. (2019); Guillén y La Rosa (2019). Con la evaluación determinística se

ven impactos positivos en el beneficio costo marginal, los márgenes del productor, y en los excedentes del consumidor, productor y social; pero se da una imagen limitada respecto a la metodología probabilística, que señala los escenarios desfavorables: en el caso de papa blanca cisgénica *Bt*, una probabilidad del 0.6% de que el escenario sea desfavorable para el consumidor, productor y la sociedad, lo cual supone que no en todos los escenarios se obtendrán ganancias fijas, reflejando la variabilidad de las condiciones de producción presentes en el agro peruano y en el cultivo de la papa. La inversión en el desarrollo de la papa cisgénica *Bt* será recuperada por el estado pues resulta un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) muy superior a la tasa de descuento social actualmente fijada por el Ministerio de Economía y Finanzas en 8% (Maza, 2020).

## 5. CONCLUSIONES

Para la evaluación de corto plazo, la metodología probabilística es más eficiente que la determinística porque provee una gama de escenarios de los indicadores de beneficio costo marginal y de cambio de margen, útil para la toma de decisiones del productor. Para la evaluación de largo plazo de cambio de excedentes, valor actual neto y tasa interna de retorno de la inversión gubernamental en nuevas tecnologías, el modelo probabilístico genera información valiosa para la toma de decisión por las autoridades gubernamentales sobre inversión pública en la biotecnología. Se debe hacer estudios similares en otros cultivos, para afinar estos métodos y asentarlos en la administración pública, y sirvan para elaborar lineamientos de política para los cultivos más importantes de la población para consumo interno, papa, arroz, maíz amiláceo, etc. y para cultivos generadores de divisas.

## Agradecimientos:

A la economista Carolay Zully Vásquez Quispe por el tratamiento de la data en @Risk, Serial number: 8128923, Activation ID: DNE-8128923-8E1376-0A6. Product ID: 1100-I-1004-R. Product Name: DecisionTools Suite 8 Industrial – Student

## Contribución de autores

- (1) Santos Maza y Silupú: Adquisición, análisis e interpretación de datos, redacción básica.
- (2) Raquel M. Gómez Oscorima: Redacción y revisión crítica, edición final.
- (3) Ramón Alberto Diez Matallana: Concepción y diseño del estudio, análisis general.
- (4) Enrique-N. Fernández-Northcote: Aporte de literatura y aprobación definitiva.

## Conflicto de interés

Los autores no tienen ningún compromiso con instituciones o personas que lleven a algún sesgo en la realización de esta investigación.

## Referencias bibliográficas

- Álvarez-Bravo, A., Salazar-García, S., Ruiz-Corral, J., & Medina-García, G. (2017). Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate ‘Hass’ en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Pub. Esp. 19:4035-4048. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8nspe19/2007-0934-remexca-8-spe19-4035.pdf>
- 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-pobox-250-ithaca-ny-14851-3995-hardcover-xxxiii-585-p/0BFA46B069B60C9391D28AD070AE0A1
- 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. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v82i1.1737>
  - Bonnet, D. (2018). “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. <https://doi.org/10.15446/achsc.v46n1.75552>
  - Byarugaba, A.A., Baguma, G., Jemba, D.M., Faith, A.K., Wasukira, A., Magembe, E., Njoroge, A., Barekye, A., & Ghislain, M. (2021). Comparative phenotypic and agronomic assessment of transgenic potato with 3R-gene stack with complete resistance to Late Blight disease. *Biology*, 10(10), 952. <https://doi.org/10.3390/biology10100952>
  - Cañedo, V., & Cisneros, F. (2004). Clones de papa transformados con la toxina de *Bacillus thuringiensis* (Berliner) contra la polilla de la papa, *Phthorimaea operculella* (Zeller). I. Transformación de clones de papa y verificación de la presencia del gen cryIA(b). *Revista Peruana de Entomología*, 44:83-93. <https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/entomologia/v44/pdf/a14v44.pdf>
  - Congreso de la República (2021, enero 6). Ley N° 31111. Ley que modifica la Ley 29811, Ley que establece la moratoria al ingreso y producción de organismos vivos modificados al territorio nacional por un periodo de 15 años, a fin de establecer la moratoria hasta el 31 de diciembre de 2035. Normas legales. El Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/ley-que-modifica-la-ley-29811-ley-que-establece-la-moratoria-ley-n-31111-1917468-1>
  - Diez, R., Gómez, R., & Varona, A. (2013). Análisis de metodologías de evaluación antes y después de cambios tecnológicos: el caso de la liberación de los organismos genéticamente modificados en Perú. *Fórum empresarial*, 18(1):27-56. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-analisisDeMetodologiasDeEvaluacionAnteSYDespuesDeC-6230304%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-analisisDeMetodologiasDeEvaluacionAnteSYDespuesDeC-6230304%20(4).pdf)
  - Diez Matallana, R., Gómez Oscurima, R., & Linares Salas, 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. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/5818>
  - Egúsqüiza, R., & Apaza, W. (2001). La ranca de la papa (*Phytophthora infestans*) en el Perú. Perfil de país. En E.N. Fernández-Northcote, (ed). 2002. Memorias del Taller Internacional Complementando la Resistencia al Tizón (*Phytophthora infestans*) en los Andes, Febrero 13-16, 2001, Cochabamba, Bolivia, GILB, Taller Latinoamérica I. Lima, Perú. <https://es.calameo.com/read/0040497390dfec545187b>
  - Fernández, W., Villalobos, S., & King, R. (2018). Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto. *Revista ingeniería de construcción*, 33(1), 5-14. <https://>

- [dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000100005](https://doi.org/10.4067/S0718-50732018000100005)
- Fernández-Northcote, E. (2004). New strategies to control late blight in Huánuco, Perú. GILB Newsletter, May,2004–No.22,c/o International Potato Center, Lima 12, Peru. <http://gilb.cip.cgiar.org>
  - 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. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v80i2.1459>
  - Ghislain, M., Montenegro, J., Juarez, H., & Herrera, M. (2014). Ex-post analysis of landraces sympatric to a commercial variety in the center of origin of the potato failed to detect gene Flow. *Transgenic Research*, 24: 519-528. <https://doi.org/10.1007/s11248-014-9854-4>
  - Giller, K., Andersson J., Sumberg J., & Thompson J. (2017). A golden age for agronomy? In *Agronomy for Development*, ed. J Sumberg, pp. 150–60. London: Earthscan. <https://steps-centre.org/publication/agronomy-development-politics-knowledge-agricultural-research/>
  - Gómez, R., Diez, R., Anderson, M., & López, P. (2021). Riesgo en la agricultura: el caso de la papa (*Solanum tuberosum*) en Ayacucho y Lima. *Anales Científicos*. 81(2): 279-287. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v82i2.1790>
  - 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. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v80i2.1457>
  - Haverkort, A., Boonekamp, P., Hutten, R., Jacobsen, E., Lotz, L., Kessel, G., Vossen, G., & Visser, R. 2016. Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: Scientific and societal advances in the DuRPh. *Project. Potato Research* 59:35–66. <https://doi.org/10.1007/s11540-015-9312-6>
  - Inquilla-Mamani, J., & Rodríguez-Limachi, O. (2019). Análisis de riesgo mediante el método de simulación de Montecarlo aplicado a la inversión pública en el sector educativo peruano: el caso del departamento de Puno. *Praxis*, 15(2), 163-176. <http://dx.doi.org/10.21676/23897856.2858>
  - Jiménez, C. y Pantoja-Estrada, L. (2016). Riesgos en la salud de agricultores por uso y manejo de plaguicidas, microcuena “La Pila”. *Universidad y Salud*, 18(3):417-431. <http://dx.doi.org/10.22267/rus.161803.48>
  - Kumar, K., Gambhir, G., Dass, A., Tripathi, A.K., Singh, A., Jha, A.K., Yadava, P., Choudhary, M. & Rakshit, S. Genetically modified crops: current status and future prospects. *Planta*. 251(4):91. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03372-8>
  - Mallea, J. (2016). *Evaluación del uso de modelos probabilísticos en la estimación de las trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero en Chile*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil]. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/138659/Evaluacion-del-uso-de-modelos-probabilisticos-en-la-estimacion-de-las-trayectorias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  - Maza, S. (2020). Metodologías de valoración ex – ante del impacto de la biotecnología en el sector agrario peruano. [Tesis de Maestría en Economía Agrícola], <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4640/maza-y-silupu-santos-de-los-reyes>.

- pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Muñoz, D., & Villafuerte, D. (2015). Análisis de la entrada en simulación estocástica. *Información Tecnológica*, 26(1): 13-22. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000100003>
  - MEF (Ministerio de Economía y Finanzas). (2021). Anexo n° 11: Parámetros de evaluación social. [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/anexos/anexo11\\_directiva\\_001\\_2019EF6301.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva_001_2019EF6301.pdf)
  - Pixley, K. V., Falck-Zepeda, J. B., Giller, K. E., Glenna, L. L., Gould, F., Mallory-Smith, C. A., Stelly, D. and Stewart, C. N. (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>
  - Proyecto LAC-Biosafety. 2012 a. Conferencia Regional LAC Biosafety. Curso Pre-Conferencia “Fortalecimiento de Capacidades para tomadores de decisiones en bioseguridad. CIAT-Proyecto LAC Biosafety, Cartagena de Indias, Colombia. Junio 5-6, 2012. [http://pe.biosafetyclearinghouse.net/lacbio\\_cartagena.shtml](http://pe.biosafetyclearinghouse.net/lacbio_cartagena.shtml)
  - Proyecto LAC-Biosafety. 2012 b. Publicaciones e Informes Finales. Comunicación y Percepción Pública. Instituto de Biotecnología, área de genómica y bioinformática, LAC-Biosafety. [http://www.lamolina.edu.pe/institutos/ibt/portal/genomica\\_biosafety.html](http://www.lamolina.edu.pe/institutos/ibt/portal/genomica_biosafety.html)
  - Savage, S. (2002). The flaw of averages. *Harvard Business Review*, 80(11): 20-21. <https://hbr.org/2002/11/the-flaw-of-averages>
  - Schiek, B., Hareau, G., Baguma, Y., Ghislain, M., Shotkoski, F., Douches, D. 2016. Demystification of GM crop costs: releasing late blight resistant potato varieties as public goods in developing countries. *International Journal of Biotechnology*, 14 (2):112–131. DOI:10.1504/IJBT.2016.077942
  - Thiele, G, Navia, O., & Fernández-Northcote, E.N. (1998). Análisis económico de la estrategia de control químico del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) para cultivares de papa susceptibles en Cochabamba, Bolivia. *Fitopatología*, 33 (3): 176-181. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=140254>
  - Trujillo, J. C., Escobar, J. L., & Iglesias, W. J. (2012). Medición de las actitudes hacia el riesgo en los pequeños productores de piña de Santander, Colombia. *Cuadernos de desarrollo rural*, 9 (69):239-255. <http://www.scielo.org.co/pdf/cudr/v9n69/v9n69a12.pdf>

**Anexo 1:** Resultados del modelo de cambio de excedentes

Año	Elasticidad de la Demanda	Elasticidad de la Oferta	Cambio Rendimiento	Cambios Equivalente Rendimiento	Cambios Costos Insumos
2020					
2021	0.42	0.206	0.5	2.4272	0.0063
2022	0.42	0.206	0.5	2.4272	0.0063
2023	0.42	0.206	0.5	2.4272	0.0063
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
2036	0.42	0.206	0.5	2.4272	0.0063

  

Año	Cambio Equivalente Costos	Cambio Neto Costos Insumos (K potencial)	Probabilidad de éxito	Tasa de adopción	Tasa de depreciación
2020					
2021	0.0042	2.4230	0.75	0.028	1
2022	0.0042	2.4230	0.75	0.16	1
2023	0.0042	2.4230	0.75	0.5	1
2024	0.0042	2.4230	0.75	0.8	1
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
2036	0.0042	2.4230	0.75	0.8	1

  

Año	Kmax	Z	Precio S/xT	Tasa externa de crecimiento	Cantidad (T)
2020					
2021	0.051	0.017	790	0	5121110
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
2036	1.454	0.478	790	0	5121110

  

Año	Cambio Excedente Productor	Cambio Excedente Consumidor	Cambio Excedente Social	Inversión Investigación y Procesos	Beneficios Netos
2020				2573896	-2573896
2021	138597944	67978991	206576935	1375115	205201820.3
2022	805070687	394868004	1199938691	1375115	1198563576
2023	2621149602	1285611472	3906761074	1375115	3905385959
2024	4342503418	2129894534	6472397952	771021	6471626930
2025	4342503418	2129894534	6472397952	771021	6471626930
2026	4342503418	2129894534	6472397952	827598	6471570354
2027	4342503418	2129894534	6472397952	827598	6471570354
2028	4342503418	2129894534	6472397952	702304	6471695647
2029	4342503418	2129894534	6472397952		6472397952
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
2036	4342503418	2129894534	6472397952		6472397952

## Anexo 2: Resumen de entradas del modelo en @Risk (1ª parte)



### Entradas

Reporte:

Reporte de estadísticos de resumen

Generado por:

User1

Fecha:

lunes, 4 de abril de 2022

Estadísticos de resumen									
Entrada	Celda	Gráficos	Función	Mínimo	Máximo	Media	Desv. est.	5%	95%
Semilla Convencional	Data-Probab!D46		RiskUniform(D27;E27)	721.65	4,830.22	2,776.04	1,186.18	926.68	4,624.87
Incremento Rendimientos / Esperado	Data-Probab!L46		RiskUniform(J46;K46;RiskName("Incremento Rendimientos / Esperado"))	8.96226E-06	100.000%	50.000%	28.869%	4.999%	94.996%
Incremento de gasto en semilla / Esperado	Data-Probab!L47		RiskUniform(J47;K47;RiskName("Incremento de gasto en semilla / Esperado"))	10.002%	69.997%	40.000%	17.321%	12.995%	66.996%
Insecticidas / Convencional	Data-Probab!D48		RiskUniform(D29;E29)	73.72	1,320.14	696.90	359.86	135.88	1,257.77
Reducción de Insecticidas / Esperado	Data-Probab!L48		RiskUniform(J48;K48;RiskName("Reducción de Insecticidas / Esperado"))	4.80841E-05	99.997%	50.000%	28.869%	5.000%	94.994%
Fungicidas / Convencional	Data-Probab!D49		RiskUniform(D30;E30)	0.0531	1,847.34	923.69	533.32	92.31	1,754.94
Reduccion de Fungicidas / Esperado	Data-Probab!L49		RiskUniform(J49;K49;RiskName("Reduccion de Fungicidas / Esperado"))	50.001%	99.999%	75.000%	14.434%	52.499%	97.498%
Rendimiento / Convencional	Data-Probab!D59		RiskTriang(D40;H40;E40)	10,111.52	39,773.89	23,333.33	6,236.43	13,871.41	34,521.92
Precio Promedio / Convencional	Data-Probab!D60		RiskTriang(D41;H41;E41)	0.50306	1.64628	0.95000	0.25085	0.60717	1.41624

### Anexo 3: Resumen de entradas del modelo en @Risk (2ª parte)



**Salidas**

Reporte:

Reporte de estadísticos de resumen

Generado por:

User1

Fecha:

lunes, 4 de abril de 2022

Estadísticos de resumen									
Salida	Celda	Gráficos	Función	Mínimo	Máximo	Media	Desv. est.	5%	95%
Incremento del Margen Bruto de Producción	Data-Probab! H62		RiskOutput("Incremento del Margen Bruto de Producción")	1,316.19	29,447.09	11,008.54	4,304.86	5,216.73	19,191.20
Coefficiente Beneficio-Costo Marginal	Data-Probab! E69		RiskOutput("Coeficiente Beneficio-Costo Marginal")	1.05748	1.46473	1.32013	0.05944	1.21170	1.40565
Valor Actual Neto (TSD 8%)	Exc-Probab! AA6		RiskOutput("Valor Actual Neto (TSD 8%)")	38537120618	44714477881	41653410147	949,472,330.42	40014703472	43156591716
Valor Actual Neto (TSD 20%)	Exc-Probab! AA8		RiskOutput("Valor Actual Neto (TSD 20%)")	18738616573	21734410600	20250125534	460,462,332.20	19455369871	20979076077
Tasa Interna de Retorno	Exc-Probab! AA10		RiskOutput("Tasa Interna de Retorno")	7,884.52%	8,987.21%	8,443.45%	169.52%	8,150.43%	8,711.32%
Cambio del Excedente de Consumidor	Exc-Probab! AA12		RiskOutput("Cambio del Excedente de Consumidor")	12684308931	14717113397	13709797178	312,446,166.24	13170542266	14204454372
Cambio del Excedente de Productor	Exc-Probab! AA14		RiskOutput("Cambio del Excedente de Productor")	25861212383	30005765179	27952013664	637,026,164.18	26852561902	28960538040
Cambio del Excedente Social	Exc-Probab! AA16		RiskOutput("Cambio del Excedente Social")	38545521313	44722878576	41661810843	949,472,330.42	40023104168	43164992412