

**Evaluación productiva y económica del  
banano orgánico Cavendish bajo distintas  
dosis de fertilización con nitrógeno y potasio  
en Machala, Ecuador**

**Krysthel Alexandra Aguilar Pesantes**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2019

ZAMORANO  
CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

# **Evaluación productiva y económica del banano orgánico Cavendish bajo distintas dosis de fertilización con nitrógeno y potasio en Machala, Ecuador**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniera en Administración de Agronegocios en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Krysthel Alexandra Aguilar Pesantes**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2019

## **Evaluación productiva y económica del banano orgánico Cavendish bajo distintas dosis de fertilización con nitrógeno y potasio en Machala, Ecuador**

**Krysthel Alexandra Aguilar Pesantes**

**Resumen.** El banano es uno de los cultivos con mayor superficie y es uno de los sectores que genera el mayor producto interno bruto (PIB) para Ecuador, siendo la principal fuente de ingresos para Machala, en la provincia de El Oro. La producción orgánica de este cultivo influye positivamente sobre el margen bruto. Los mayores costos de producción se asocian a la mano de obra y fertilizantes permitidos en la agricultura orgánica. El objetivo de la investigación es evaluar las distintas dosis de los fertilizantes orgánicos de nitrógeno y potasio para determinar la combinación que genere un óptimo económico y analizar el margen neto. El estudio se llevó a cabo en dos partes, un análisis productivo, aplicando la metodología de superficie de respuesta, y uno económico mediante un análisis marginal. La combinación que genera los máximos rendimientos productivos es de 130.43 kg/ha de nitrógeno y 120.75 kg/ha de potasio en el segundo ciclo productivo. La combinación que representa el óptimo económico es de 89.20 kg/ha de nitrógeno y 120.75 kg/ha de potasio en el segundo ciclo. La producción de banano genera un margen neto de USD 6,984 por hectárea.

**Palabras clave:** Análisis marginal, combinación óptima, margen neto, senda de expansión, superficie de respuesta.

**Abstract.** Banana is one of the crops with the largest area and is one of the sectors that generates the largest gross domestic product (GDP) for Ecuador, being the main source of income for Machala, in the province of El Oro. Organic production of this crop has a positive influence over the gross margin. The highest costs of production are related to the workforce and fertilizers permitted in organic agriculture. The objective of the research is to evaluate the different doses of organic nitrogen and potassium fertilizers to determine the combination that generates the economic optimum and analyze the net profit. The study was carried out in two parts, a productive analysis, applying the response surface methodology, and an economic one through a marginal analysis. The combination that generates the maximum production yields is 130.43 kg/ha of nitrogen and 120.75 kg/ha of potassium in the second productive cycle. The combination that represents the economic optimum is 89.20 kg/ha of nitrogen and 120.75 kg/ha of potassium in the second cycle. Banana production generates a net farm income of USD 6,984 per hectare.

**Key words:** Expansion path, marginal analysis, net profit margin, optimal combination, response surface methodology.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>24</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>25</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>26</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>28</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Elementos disponibles en el suelo para la planta, en kilogramos por hectárea, en la hacienda bananera Don Alejo, Machala, Ecuador, 2018. ....	4
2. Nutrientes aplicados durante la fase vegetativa del banano, en kilogramos por hectárea, en Machala, Ecuador, 2018. ....	4
3. Descripción de tratamientos (TRT) de combinaciones de fertilización de nitrógeno y potasio, en kilogramos por hectárea por ciclo productivo en Machala, Ecuador, 2018. ....	5
4. Descripción del nitrógeno y potasio total disponible, en kilogramos por hectárea por ciclo productivo, que incluye el contenido inicial del suelo, los nutrientes provistos durante la fase vegetativa de banano y las dosis de fertilizantes aplicadas en Machala, Ecuador, 2018. ....	6
5. Análisis de varianza de la regresión de la función cuadrática de rendimiento de banano sobre la fertilización de nitrógeno y potasio por hectárea en Machala, Ecuador, 2018. ....	14
6. Análisis de varianza de la regresión spline lineal de rendimiento de banano sobre la fertilización de nitrógeno y potasio por hectárea en Machala, Ecuador, 2018. ....	14
7. Coeficientes de la regresión spline lineal de rendimiento de banano sobre la fertilización de nitrógeno y potasio por hectárea en Machala, Ecuador, 2018. ....	15
8. Prueba White aplicada a la regresión spline lineal de rendimiento de banano sobre fertilizante de nitrógeno y potasio por hectárea en Machala, Ecuador, 2018. ....	16
9. Coeficientes de la regresión spline lineal de rendimiento de banano sobre fertilizante de nitrógeno y por hectárea errores estándares robustos en Machala, Ecuador, 2018. ....	16
10. Rendimientos con las combinaciones de dosis de fertilización con nitrógeno y potasio, en kilogramos por hectárea por ciclo productivo, sujeto a distintas limitantes presupuestarias en Machala, Ecuador, 2018. ....	19
11. Presupuesto completo para la producción de una hectárea anual de banano orgánico variedad Cavendish en Machala, Ecuador, 2018. ....	22
12. Continuación de presupuesto completo para la producción de una hectárea anual de banano orgánico variedad Cavendish en Machala, Ecuador, 2018. ....	23

Figuras	Página
1. Señalización de los tratamientos que formaron parte del muestreo no probabilístico con cuatro repeticiones del tiempo tomado por la mano de obra para la aplicación de fertilización, Machala, Ecuador, 2018.....	7
2. Rendimientos a diferentes dosis de fertilizante de potasio sujeto a incrementos en la dosis de fertilizante de nitrógeno en el experimento de campo en Machala, Ecuador, 2018. ....	13
3. Rendimientos a diferentes dosis de fertilizante de nitrógeno sujeto a incrementos en la dosis de fertilizante de potasio en el experimento de campo en Machala, Ecuador, 2018.....	13
4. Superficie de respuesta de rendimientos según la función de producción dependiente de dosis de fertilización de nitrógeno y dosis de fertilización de potasio en kilogramos por hectárea en Machala, Ecuador, 2018. ....	17
5. Isocuantas y senda de expansión en la producción (kg/ha) de banano orgánico Cavendish en Machala, Ecuador, 2018. ....	20

Anexos	Página
1. Distribución de los 14 tratamientos de fertilización con nitrógeno y fertilización con potasio en un arreglo factorial de bloques al azar en campo en Machala, Ecuador, 2018.....	28
2. Informe de análisis de suelos de las unidades experimentales evaluadas en Machala, Ecuador, 2018. ....	29
3. Ficha técnica del abono orgánico Fertil emitida por la empresa AgriBio, Perú, 2017. ....	30
4. Certificación orgánica del fertilizante Allganic Makro 60 Potassium de SQM North America Corp, USA, 2017. ....	31

## 1. INTRODUCCIÓN

La demanda de frutas y frutos comestibles a nivel mundial está en constante crecimiento; por consiguiente, existe competencia entre los mercados internacionales por ganar la mayor preferencia de los consumidores. El banano es una de las frutas tropicales de mayor consumo por su contenido energético. Más del 81% de las exportaciones de este fruto se les atribuyen a 10 países, en su mayoría latinoamericanos y del Caribe debido a la naturaleza del cultivo (Fresh Plaza, 2016).

En Ecuador, el banano ha formado parte del rubro de exportación desde hace 70 años. Actualmente, es el primer producto agrícola de mayor aporte económico para el país seguido del café y cacao (Ministerio de Comercio Exterior, 2017). El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) tiene registradas 162,039 hectáreas existentes de banano, de las cuales el 12% pertenece al banano orgánico y el 88% restante se le atribuye al banano convencional. En la última Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) realizada en el país, se reporta que el banano tiene un rendimiento medio anual de 39.75 ton/ha (INEC, 2017). En la provincia de El Oro, el cultivo del banano es la principal fuente de ingresos del sector por lo cual se justifica su rápida incursión en la producción orgánica. De hecho, el gobierno es el principal impulsor de la producción orgánica de este cultivo facilitando el ingreso de producto al mercado europeo (Ministerio de Comercio Exterior, 2017).

En Machala, también conocida como la capital bananera del mundo, la mayor parte del área agrícola pertenece al cultivo del banano convencional, sin embargo, la producción orgánica de este fruto ha influenciado positivamente sobre el ingreso bruto, así como el constante uso de la mano de obra de la zona. Por la naturaleza de producción de este fruto, sus altos precios en el mercado extranjero radican en la calidad de fruto debido a técnicas utilizadas por los agricultores; así como, la incorporación de abonos orgánicos y ausencia del uso de químicos. Estas prácticas a su vez están arraigadas al cuidado del medio ambiente, acentuando un especial cuidado a los suelos manteniendo una producción sostenible, constante y sana (González, 2018). Los pequeños y medianos productores forman asociaciones obteniendo certificaciones internacionales que benefician a la exportación de un comercio justo.

El cultivo de banano orgánico registra antecedentes de no incurrir en costos relacionados a plaguicidas, herbicidas ni otros insumos químicos debido a su producción con mezcla de nutrientes vegetales y animales como compost y demás productos que cuentan con certificación orgánica (Capa, Alaña, & Benítez, 2016). Muchas son las casas comerciales de la región que ofertan insumos agrícolas a base de compuestos orgánicos para el cultivo y su aplicación va guiada a maximizar la productividad. De hecho, se han realizado varias

investigaciones a lo que respecta el requerimiento nutricional del banano (Combatt, Martínez, & Barrera (2004), IPNI (2008) y Furcal-Beriguete & Barquero-Badilla (2014)). Ante buenas condiciones de suelos, el nitrógeno es el elemento crítico y de mayor importancia, a pesar de que la necesidad de potasio es mayor, esto es debido al alto potencial de pérdida de NO<sub>3</sub> del suelo por lixiviación (CIA/UCR, 2001). A lo largo de los años, múltiples investigaciones han determinado y evaluado el efecto de las principales nutrientes, nitrógeno y potasio, en la producción del banano. El nitrógeno aplicado en el cultivo es en dosis entre 100 y 600 kg/ha anual, sin embargo, para Latinoamérica la media ronda los 300 kg/ha/año. El potasio es el elemento con mayor pérdida en la fruta, por lo que el requerimiento del banano tiende a ser mayor. La cantidad de potasio varía entre 100 a 1200 kg/ha/año. Para la aplicación de los fertilizantes es recomendable que el nitrógeno y potasio se distribuyan juntos o se mezclen fraccionados con un mismo número de aplicaciones al año (IPNI, 2008).

La absorción de nutrientes difiere acorde a la fase en la que se encuentra la planta y el cultivar de la misma (Martínez, Cayón, & Torres, 2014). Durante la fase vegetativa, hasta los 116 días después de siembra, los macro elementos se distribuyen principalmente en el cormo, pseudotallo y hojas. En la fase vegetativa ocurre lo que se le llama la diferenciación floral. La fase reproductiva dura alrededor de 60 días después de que la etapa vegetativa finalice, este es conocido como el estadio de floración debido a que inicia el desarrollo del racimo. A partir de este punto adquiere una mayor importancia la fertilización. A lo largo de la fase productiva, la curva de absorción de los nutrientes está en su punto más alto por el llenado de fruto, el cual demanda un alto contenido de nitrógeno y potasio (Martínez & Cayón, 2011). Terminado el proceso de formación del racimo se realiza la cosecha del banano a los 9 meses llevando consigo los elementos extraídos.

El cultivo del banano orgánico posee un mercado muy demandado en países europeos, principalmente, lo que conlleva a que, en Machala se realice una investigación del efecto productivo y económico del cultivo. Así como en estudios anteriores, las variables a evaluar serán las aplicaciones de fertilizantes de nitrógeno y potasio por su mayor importancia nutricional para el cultivo. Este experimento permitirá dar recomendaciones a productores del área para maximizar ganancias y dará paso a futuras investigaciones en el sector bananero de la provincia utilizando otras variables ampliando conocimientos para la optimización de recursos.

La presente investigación se enfoca a los medianos productores de banano orgánico en El Retiro, Machala, zona que cuenta con una altitud de 6.5 msnm, precipitación media anual de 427 mm, temperatura media de 24.8°C y cuenta con una humedad del 75% (SNI, 2015). Se pretende evaluar combinaciones de distintas dosis de fertilizantes orgánicos de nitrógeno y potasio para determinar su cantidad óptima para la maximización de ganancias por lo que se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar la superficie de respuesta del rendimiento de banano orgánico en las distintas combinaciones de fertilización con nitrógeno y potasio.
- Evaluar el óptimo económico de las cantidades de nitrógeno y potasio en la fertilización con y sin limitantes presupuestarias.
- Analizar el margen neto obtenido en el óptimo económico.

## 2. METODOLOGÍA

El estudio sobre las interacciones entre diferentes niveles de aplicación de fertilizantes de nitrógeno y potasio en el banano (*Musa* AAA cv. Valery) bajo un sistema de producción orgánico se llevó a cabo en dos partes, un análisis productivo y uno económico. El análisis utilizado para la evaluación productiva fue una superficie de respuesta de rendimientos y para la evaluación económica se realizó un análisis marginal para encontrar la combinación óptima que genere un mayor retorno de ingresos en relación a los costos. Las utilidades se evaluaron mediante la variable de margen bruto. Se empleó un presupuesto completo en la combinación óptima para medianos productores de banano orgánico. Además, basándose en los resultados obtenidos, se determinó el rango específico de las dosis de fertilización de nitrógeno y potasio.

### **Metodología de superficie de respuesta (MSR).**

La aplicación de la superficie de respuesta estimada es para identificar la combinación óptima productiva de los fertilizantes de nitrógeno y potasio en el campo. Los resultados obtenidos de rendimientos en cosecha fueron extrapolados a kilogramos por hectárea para la obtención de los coeficientes de regresión que forman la función de producción. La función de producción permitió mapear la superficie de respuesta de rendimientos para la evaluación productiva de las combinaciones de fertilizantes.

La MSR es definida como una “colección de técnicas estadísticas y matemáticas útiles para el desarrollo, mejora, y optimización de procesos” y su representación gráfica de la superficie es en relieve siendo el punto más alto la maximización de la variable evaluada. (Myers, 2016). Este método, como lo afirma Haines (2004), se enfoca en que el modelado de una o más respuestas se ajusten a las variables explicativas planteadas. Para este estudio, la elección y aplicación del diseño apropiado permitirá encontrar la combinación óptima de las variables de control, en este caso, los niveles de fertilizante de nitrógeno y potasio, que produzcan los valores máximos, refiriéndose al rendimiento del cultivo (Khuri, 2017).

La superficie de respuesta de rendimientos se determinó mediante el planteamiento de una función de producción de un modelo spline lineal para encontrar las combinaciones de los fertilizantes que generan los distintos rendimientos. La función de producción se generó mediante la obtención de los coeficientes de regresión, asociados al modelo spline lineal, en el rendimiento del banano orgánico ante las combinaciones de los diferentes niveles de fertilización con nitrógeno (N) y potasio ( $K_2O$ ).

La gráfica resultante de superficie de respuesta de rendimiento fue elaborada con el programa de Microsoft Excel (versión 2016).

**Establecimiento del experimento de campo.** El experimento se llevó a cabo en la hacienda bananera Don Alejo, ubicada en la parroquia rural de El Retiro, en la provincia de El Oro, Ecuador. Esta zona registra temperaturas promedio de 24.8°C, precipitación media anual de 427 mm y una altura de 6.5 msnm (SNI, 2015). La finca bananera cuenta con un sistema de siembra quincuncial obteniendo densidades de siembra de 1,850 plantas por hectárea con un distanciamiento de 2.16 m entre la planta del centro y una de las esquinas y 2.5 m entre las plantas que forman la base del triángulo isósceles. Entre las labores culturales realizadas se hizo un raleo de 300 plantas por hectárea durante el primer ciclo de producción quedando una densidad de 1,550 plantas por hectárea. En la actualidad, la hacienda posee un rendimiento promedio anual de 34.58 ton/ha de banano orgánico para exportación realizando seis aplicaciones anuales de fertilizantes a base de compuestos orgánicos.

En los Cuadros 1 y 2 se muestran las cantidades de fertilizantes y elementos disponibles en el suelo antes de iniciar con el estudio. Previo a la siembra, se realizó un análisis de suelo que determinó que la cantidad de elementos disponibles en el suelo para la planta eran de 1.35 kg/ha de nitrógeno (N), 14.61 kg/ha de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y 15.83 kg/ha de potasio (K<sub>2</sub>O). Las cantidades de elementos presentes en el suelo son catalogadas como bajas. En la fase vegetativa del banano durante el segundo ciclo se realizó una única aplicación de 6 kg/ha de nitrógeno (N) y 28 kg/ha de potasio (K<sub>2</sub>O).

Cuadro 1. Elementos disponibles en el suelo para la planta, en kilogramos por hectárea, en la hacienda bananera Don Alejo, Machala, Ecuador, 2018.

<b>Elementos disponibles para la planta (kg/ha)</b>		
<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
1.35	14.61	15.83

Cuadro 2. Nutrientes aplicados durante la fase vegetativa del banano, en kilogramos por hectárea, en Machala, Ecuador, 2018.

<b>Nutrientes aplicados durante la fase vegetativa (kg/ha)</b>		
<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
6	0	28

El tratamiento aplicado fue de nitrógeno (N), en dosis de 0, 133, 266 y 400 kg/ha/año y potasio (K<sub>2</sub>O) en dosis de 0, 125, 250, 375 y 500 kg/ha/año. Se evaluaron las fases reproductivas y productivas correspondientes al estado de floración y cosecha, respectivamente, durante un ciclo de producción de banano. Para las etapas del cultivo evaluadas se realizaron cuatro aplicaciones de fertilizantes con dosis equivalentes a 0, 40.92, 81.85 y 123.04 kg/ha/ciclo productivo de nitrógeno (N), y 0, 38.46, 76.92, 115.38 y 153.85 kg/ha/ciclo productivo de potasio (K<sub>2</sub>O); estos se detallan en el Cuadro 3. Las dosis de fertilización utilizadas para el nitrógeno y potasio fueron propuestas en referencia con el Instituto Internacional de Nutrición Vegetal, IPNI por sus siglas en inglés, en el Manual de nutrición y fertilización del banano elaborado por López & Espinosa (1995).

Cuadro 3. Descripción de tratamientos (TRT) de combinaciones de fertilización de nitrógeno y potasio, en kilogramos por hectárea por ciclo productivo en Machala, Ecuador, 2018.

TRT	Dosis de Fertilización (kg/ha/ciclo)		
	N	P2O5	K2O
1	0	0	0
2	0	0	38.46
3	0	0	76.92
4	0	0	115.38
5	0	0	153.85
6	40.92	9.82	38.46
7	40.92	9.82	76.92
8	40.92	9.82	115.38
9	40.92	9.82	153.85
10	81.85	19.64	76.92
11	81.85	19.64	115.38
12	81.85	19.64	153.85
13	123.08	29.54	115.38
14	123.08	29.54	153.85

El diseño utilizado en campo fue un arreglo factorial de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, donde los factores a evaluar fueron el nitrógeno y potasio, con niveles variables de cada uno. Las distintas combinaciones de los factores resultaron en un total de 14 tratamientos, con cuatro repeticiones, esto generó un total de 56 unidades experimentales en campo. Se aplicó Fertil (12.5-3-1) como fuente de nitrógeno y Allganic Makro Potassium (0-0-60) como fuente de potasio. La aplicación de fósforo fue proporcional a la aplicación del Fertil. Cada unidad experimental tuvo 16 plantas de las cuales, las cuatro centrales fueron muestreadas para evitar el efecto borde. Cada unidad experimental requirió de un área de 86.4 m<sup>2</sup>, siendo el total de área a utilizada para el experimento de 5,000 m<sup>2</sup>.

El experimento de campo inició en el mes de agosto del 2018, en cultivo de banano orgánico previamente implantado con una edad aproximada de un año desde su siembra. La cosecha y recolección de datos se realizó durante el mes de diciembre del año 2018, seis meses y medio después de la última cosecha del primer ciclo. El objeto del presente estudio es el banano variedad Cavendish Valery que se caracteriza por su tolerancia a climas tropicales, subtropicales y semiáridos, además de ser la variedad dominante en las zonas bananeras de la región.

Como parte del estudio se registraron las cantidades aplicadas de los fertilizantes mencionados, riego, y mano de obra utilizada para las prácticas culturales como desmane, deshije, deshoje, enfundado y la aplicación de los fertilizantes. Todas las prácticas culturales realizadas en el cultivo fueron constantes para todos los tratamientos, a excepción

de las cantidades de fertilizantes aplicadas. La totalidad de los recursos que forman parte de los costos de producción del cultivo son incluidos en el presupuesto detallado final.

**Combinaciones de fertilización de nitrógeno y potasio.** Las combinaciones de fertilización (Cuadro 4) consisten en establecer cambios a diferentes niveles de nitrógeno y potasio. Las bases de fertilización se designaron con respecto al requerimiento nutricional del cultivo de banano orgánico Cavendish Valery a unas dosis de 300 kg/ha de nitrógeno, 120 kg/ha de fósforo y 400 kg/ha de potasio para la obtención de 35 toneladas de banano (Umaña, Pachecho, & Bertsch, 2002). Estas dosis tomadas como base de requerimiento nutricional del cultivo son equivalentes a 92.3 kg/ha de nitrógeno, 36.9 kg/ha de fósforo y 123.1 kg/ha de potasio por ciclo productivo. Los cambios proporcionales en la dosis del nitrógeno recomendadas por Bertsch fueron de 100%, 56% y 11% menos, y 33% más sobre la base, el mismo comportamiento es observado para el caso del fósforo debido a que su aplicación será proporcional y equivalente al 1% de lo utilizado de nitrógeno. En el caso del potasio, los cambios proporcionales fueron de 100%, 69%, 38% y 6% menos, y un 25% más sobre la base. Para la regresión se utilizó el nitrógeno y potasio total disponible, que incluye los elementos iniciales del suelo, los nutrientes provistos durante la etapa vegetativa y las dosis de fertilizantes aplicadas.

Cuadro 4. Descripción del nitrógeno y potasio total disponible, en kilogramos por hectárea por ciclo productivo, que incluye el contenido inicial del suelo, los nutrientes provistos durante la fase vegetativa de banano y las dosis de fertilizantes aplicadas en Machala, Ecuador, 2018.

TRT	Dosis de Fertilización (kg/ha/ciclo)		
	N	P2O5	K2O
1	7.35	14.61	43.83
2	7.35	14.61	82.29
3	7.35	14.61	120.75
4	7.35	14.61	159.21
5	7.35	14.61	197.68
6	48.27	24.43	82.29
7	48.27	24.43	120.75
8	48.27	24.43	159.21
9	48.27	24.43	197.68
10	89.20	34.25	120.75
11	89.20	34.25	159.21
12	89.20	34.25	197.68
13	130.43	44.15	159.21
14	130.43	44.15	197.68

**Variables medidas.** Las variables que se midieron fueron el tiempo de mano de obra que se necesitó para realizar las aplicaciones de los fertilizantes y el rendimiento de cada parcela experimental. El rendimiento fue medido en todas las unidades experimentales a tiempo de cosecha y selección de banano orgánico para exportación.

El costo de la mano de obra requerida para la producción fue constante para todas las prácticas culturales, a excepción de la aplicación de los fertilizantes. La determinación de los costos asignados a la mano de obra en fertilización se basó en el tiempo tomado para realizar las mezclas y aplicarlas en cada unidad experimental por separado. Para la obtención de los datos del tiempo de aplicación de fertilizantes se asignó un muestreo no probabilístico de siete tratamientos con cuatro repeticiones de cada uno (Figura 1), siendo 28 las unidades experimentales muestreadas. Los tratamientos muestreados se detallan a continuación:

[(0,0); (0,38.46); (0,76.92); (0,153.85); (40.92,38.46); (81.85,76.92); (81.85,153.85); (123.08,115.38)]

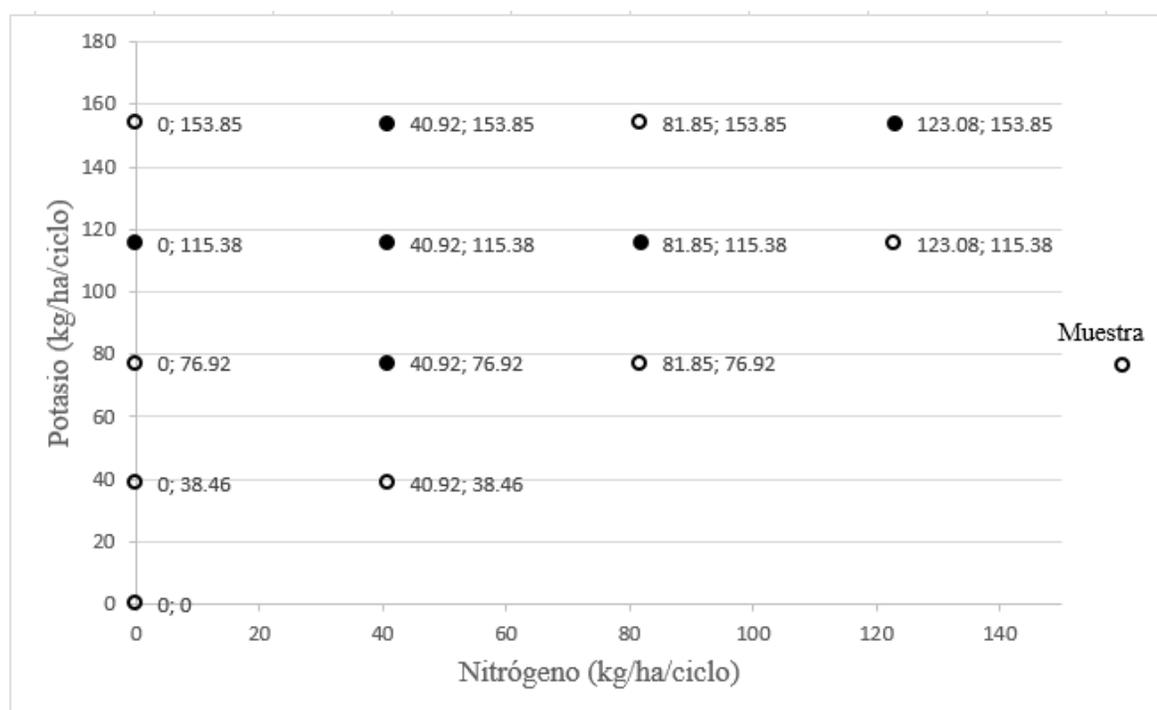


Figura 1. Señalización de los tratamientos que formaron parte del muestreo no probabilístico con cuatro repeticiones del tiempo tomado por la mano de obra para la aplicación de fertilización, Machala, Ecuador, 2018.

**Cosecha y rendimientos.** La cosecha del banano se realiza 12 o 13 semanas después de que la bellota es enfundada. Por motivo de estudio, la cosecha se realizó en el segundo ciclo productivo del cultivo y no se tomaron datos de rendimiento de las orillas de cada unidad experimental para evitar el efecto borde.

La cosecha sirvió para determinar la variable de respuesta, rendimiento productivo del banano orgánico en kilogramos por hectárea por ciclo. Para la obtención de la variable de respuesta se cosecharon racimos de las cuatro plantas centrales de cada unidad experimental. Los racimos fueron pesados, medidos a diferentes niveles de dedos y se seleccionaron las manos que cumplían con las especificaciones cualitativas y cuantitativas dadas para exportación.

**Función de producción.** La función de producción es la base para determinar la superficie de respuesta para la evaluación productiva del banano orgánico. La variable dependiente de la regresión fue el rendimiento de fruto para exportación expresado en kilogramos por hectárea. Las variables independientes fueron los niveles de fertilización de nitrógeno y potasio, expresadas en kilogramos por hectárea.

El programa “Software for Statistics and Data Science” (STATA Versión 14 y la herramienta de Regresión de Análisis de Datos de Excel fueron utilizados para el análisis de los rendimientos obtenidos de los 14 tratamientos. Estas herramientas determinaron los coeficientes de regresión, y la significancia de cada variable mediante la aplicación de la prueba de valor P ( $Pr > 0.05$ ).

Para la función de producción se usó el modelo spline lineal. La función de spline lineal permite generar una respuesta de rendimiento continua por partes, convirtiendo una linealidad pura a una suave curva debido a los cortes o nudos que posee en la representación de su modelo (Greene, 2002). El modelo matemático del spline lineal que se utilizó es presentado a continuación en la Ecuación 1:

$$Y = \beta_0 + \beta_1(N) + \beta_2(K) \quad [1]$$

Donde:

Y: rendimiento del banano orgánico en kilogramos por hectárea en función de las dosis de fertilizantes de nitrógeno y potasio.

N: dosis de fertilizante de nitrógeno (N) en kilogramos por hectárea.

K: dosis de fertilizante de potasio ( $K_2O$ ) en kilogramos por hectárea.

Para el análisis de la regresión se utilizó la prueba White para examinar si hay heterocedasticidad. Esta prueba trabaja bajo el supuesto del que, si el Chi cuadrado calculado es menor que el Chi cuadrado tabular, no hay heterocedasticidad.

### **Análisis marginal.**

El análisis marginal determinó la combinación que maximiza el retorno después de fertilización para un mediano productor de banano orgánico en condiciones comerciales. Para este análisis se tomó en cuenta la superficie de respuesta de rendimientos, el precio de exportación del banano a nivel de finca y otros costos asociados a los fertilizantes. Esta función identifica la combinación que genera el mayor retorno posible a los demás costos después, fertilización. El precio utilizado es el que posee la caja de banano orgánico para exportación en el portón de la finca, con un peso de 19 kg de fruta restando el costo del transporte desde la finca al destino de acopio.

El análisis marginal tiene como soporte al principio económico de determinar hasta qué punto el productor puede continuar invirtiendo en un insumo para obtener el máximo margen neto, cuando el retorno de una unidad adicional en el insumo sea igual a su costo (Evans, 2017). Adaptado al estudio, si invertir en la aplicación de una unidad adicional de fertilizante de nitrógeno o una unidad adicional de fertilizante de potasio por hectárea va a generar un retorno igual a sus costos. Este análisis es basado en la función del margen bruto que incluye la ecuación de la función de producción propuesta en la superficie de respuesta de la evaluación productiva, el precio de exportación y los costos marginales de los fertilizantes de nitrógeno y potasio.

**Perfil del agricultor.** El estudio se realizó en un lote de un mediano productor de banano orgánico. Este productor se caracteriza por tener una disponibilidad de 30 a 50 hectáreas, acorde al Programa Nacional del Banano y Proyecto SICA-BIRF/MAG-Ecuador (2014), y debido al sistema de producción orgánico, la mano de obra es indispensable para realizar todas las actividades agrícolas. Por otro lado, el perfil del productor grande de banano comprende una disponibilidad de terreno mayor a 50 hectáreas y, de igual manera, dispone de mano de obra para las labores agrícolas del cultivo.

**Precio de campo.** El precio a utilizar se tomará en referencia al precio de exportación de la caja de banano orgánico, con un peso de 19 kg de fruta, en el portón de la finca. Para este estudio, se utilizará el precio del kilogramo de banano orgánico en portón, cosechado y empacado, restando los costos de transporte al centro de acopio.

**Costo de producción.** El costo de producción que se utilizó para la evaluación de este estudio fue el costo marginal de fertilización de nitrógeno y potasio. El costo de la fertilización estará asociado a las dosis que se aplicarán de cada fertilizante, nitrógeno (Fertil) y potasio (Allganic Makro Potassium), utilizando el precio unitario de estos más el costo de la mano de obra promedio por realizar las aplicaciones de las distintas cantidades. Los costos de fertilización serán estimados en referencia a medianos productores de banano orgánico, la diferenciación será las políticas de descuento que aplique la casa comercial por la cantidad usual comprada por cada productor.

El precio de los fertilizantes utilizados fue cotizado en los puntos de venta autorizados de la zona, tales como, las empresas fabricantes Boschetti S.A. y SQM Ecuador S.A. para Fertil y Allganic Makro Potassium, respectivamente. El costo de mano de obra se obtuvo con el tiempo dedicado para la actividad de fertilización en el campo.

**Función de margen bruto.** La función de margen bruto pretende encontrar la combinación de las dosis de fertilizante de nitrógeno y potasio que maximice el retorno sin incluir los demás costos de producción, los cuales serán tomados en cuenta para la evaluación del presupuesto total. El retorno se obtuvo de la resta entre los ingresos totales y los costos promedios incurridos en fertilización. El modelo de la función de margen bruto a utilizar es representado en la Ecuación 2:

$$MB = [P * (Y)] - [C_N(N) + C_K(K)] \quad [2]$$

Donde:

MB: margen bruto que es el retorno posible después de fertilización a los demás costos por el rendimiento del banano orgánico en función de las dosis de fertilización con nitrógeno y potasio.

Y: rendimiento del banano orgánico en kilogramos por hectárea.

N: dosis de fertilizante de nitrógeno (kg N/ha).

K: dosis de fertilizante de potasio (kg K<sub>2</sub>O/ha).

C<sub>N</sub>: costo marginal de fertilizante de nitrógeno.

C<sub>K</sub>: costo marginal de fertilizante de potasio.

**Senda de expansión.** La senda de expansión ha sido evaluada para obtener las combinaciones, de las cuales, su superficie de respuesta de rendimiento minimiza el costo en un determinado nivel de producción.

Cada nivel de producción está formado por distintas combinaciones de insumos, nitrógeno y potasio. Aquellas combinaciones de insumos que generan los mismos rendimientos de banano, son conocidas como isocuantas. Las isocuantas en conjunto con las limitantes presupuestarias, determinan la combinación de mínimo costo en un mismo nivel de producción. Este punto se encuentra por medio de la tasa marginal de sustitución, que indica la cantidad de insumo a disminuir al aumentar una unidad adicional del otro insumo manteniendo un nivel de producción constante. El punto óptimo en cada nivel de producción es donde se interceptan las pendientes de la limitante presupuestaria y de la isocuanta. La unión de los puntos óptimos en cada nivel de producción es conocida como la senda de expansión (Debertin, 2012). La senda de expansión con funciones de producción lineal se ubica en los extremos.

Las isocuantas se obtuvieron con la herramienta Goal Seek de Excel, esta ubicó las distintas combinaciones de insumos, fertilizantes, que generan el mismo nivel de producción. Para cada isocuanta se estableció una limitante presupuestaria, esta permitió obtener un óptimo económico local en cada nivel. El valor absoluto de la tasa marginal de sustitución es igual o menor a la razón de precios unitarios entre los fertilizantes, dependiendo si es curvilínea o lineal. En el punto óptimo económico local es donde se minimizan los costos de producción a un nivel de rendimiento deseado.

### **Presupuesto completo.**

El presupuesto completo se evaluó con la finalidad de generar un margen neto que evalúe la relación entre los rendimientos y ganancias del banano orgánico. El presupuesto en la combinación óptima de fertilizante de nitrógeno y fertilizante de potasio para un productor proporcionó un panorama completo referente a los costos incurridos para la producción de banano orgánico. El presupuesto completo comprende el ingreso y margen neto y, a diferencia del análisis marginal, también toma en cuenta los costos totales de producción de banano.

**Ingreso.** El ingreso correspondiente a la combinación óptima se obtuvo con una estimación del rendimiento del banano, expresado en kilogramos por hectárea por ciclo productivo, por el precio del kilogramo de banano orgánico para exportación el portón de la finca. La

producción total esperada se estima con la regresión de la función de producción dependiente de los fertilizantes de nitrógeno y potasio.

**Margen neto.** Margen neto permite medir la rentabilidad de un proyecto. El margen neto es resultado de la diferencia de los ingresos con los costos fijos y variables incurridos en producción.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio son presentados en dos fases: el análisis productivo y el análisis económico. El análisis productivo tuvo como objetivo evaluar las variables independientes, como fueron las distintas dosis del fertilizante de nitrógeno y el fertilizante de potasio, y determinar la regresión que estima la función de producción para caracterizar la superficie de respuesta. El análisis económico se realizó para obtener la combinación óptima que maximice la utilidad después de los costos de producción. La combinación óptima se analizó con y sin limitante presupuestaria con el propósito de maximizar las utilidades a distintos niveles de producción.

#### **Resultados productivos.**

En los resultados productivos se evaluaron los rendimientos a las distintas dosis de fertilización con nitrógeno y potasio, y se estimó la función de producción mediante una regresión. La función de producción permitió obtener la superficie de respuesta de rendimientos de banano orgánico a las dosis evaluadas de los fertilizantes.

**Rendimientos de las dosis de fertilización de nitrógeno y potasio.** Previo a realizar el experimento de campo se obtuvo el resultado del análisis de suelo del área donde se ubicaron las 56 unidades experimentales. El análisis de suelo determinó que este tenía 1.35 kg/ha de nitrógeno, 14.61 kg/ha de fósforo y 15.83 kg/ha de potasio. Las cantidades de elementos presentes en el suelo son catalogadas como bajas y fueron adicionales a las cantidades especificadas para cada tratamiento.

**Rendimientos a diferentes dosis de fertilización.** Los rendimientos en las distintas dosis de fertilizante de nitrógeno y de potasio son evaluados separadamente, estos se aprecian en las Figuras 2 y 3. Los rendimientos a distintas dosis de fertilización con nitrógeno y potasio permiten visualizar su comportamiento generalizado.

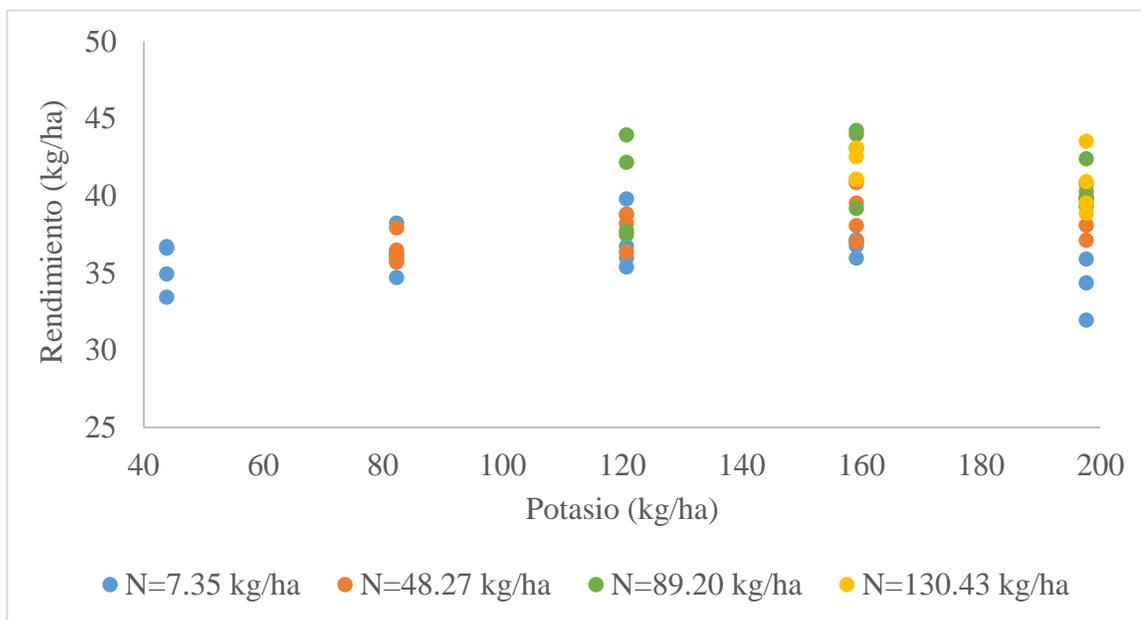


Figura 2. Rendimientos a diferentes dosis de fertilizante de potasio sujeto a incrementos en la dosis de fertilizante de nitrógeno en el experimento de campo en Machala, Ecuador, 2018.

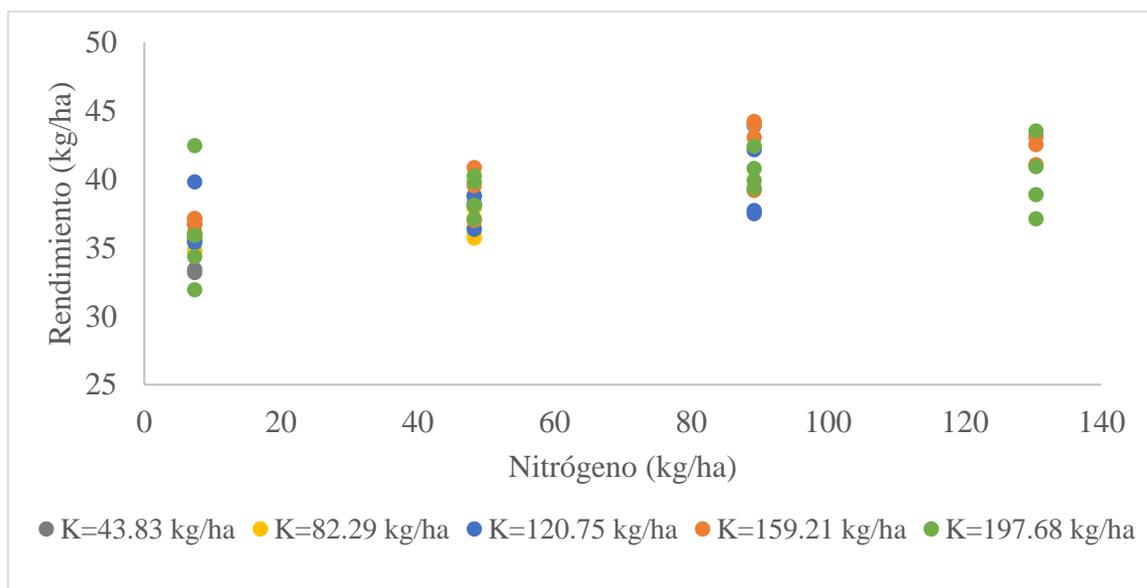


Figura 3. Rendimientos a diferentes dosis de fertilizante de nitrógeno sujeto a incrementos en la dosis de fertilizante de potasio en el experimento de campo en Machala, Ecuador, 2018.

En la Figura 2 se visualiza una tendencia de aumento inicial y posterior disminución en el rendimiento a lo largo de las distintas dosis de potasio. El punto de corte, que es desde donde inicia el decrecimiento, ocurre con la dosis de 76.92 kg/ha/ciclo productivo de

potasio. Por otro lado, en la Figura 3 se muestra una tendencia de incremento inicial de rendimiento pronunciado y le prosigue un incremento menor a la primera parte a lo largo de las distintas dosis de nitrógeno. El cambio en el crecimiento del rendimiento se lo tomará como un punto de corte en la dosis de fertilización de 81.85 kg/ha/ciclo productivo de nitrógeno.

**Función de producción.** La función de producción estima el rendimiento de banano orgánico esperado por la combinación de dosis de fertilización con nitrógeno y potasio. Debido a la dispersión de los datos se realiza una comparación entre dos modelos. En el Cuadro 5 y Cuadro 6 se presenta el resultado del análisis de varianza de la función cuadrática y el resultado de la función de spline lineal.

Cuadro 5. Análisis de varianza de la regresión de la función cuadrática de rendimiento de banano sobre la fertilización de nitrógeno y potasio por hectárea en Machala, Ecuador, 2018.

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media Cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Regresión	4	145,094,328	36,273,582.1	20.6	0
Residual	51	89,800,035	1,760,785		
Total	55	234,894,363			
Observaciones	56				
R cuadrado	0.618				

Cuadro 6. Análisis de varianza de la regresión spline lineal de rendimiento de banano sobre la fertilización de nitrógeno y potasio por hectárea en Machala, Ecuador, 2018.

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media Cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Regresión	4	146,009,146	36,502,286.50	20.94	0
Residual	51	88,885,218	1,742,847.40		
Total	55	234,894,363			
Observaciones	56				
R cuadrado	0.622				

El análisis de varianza de ambos modelos consta de 56 observaciones; sin embargo, el R cuadrado del primer modelo, la función cuadrática, difiere del R cuadrado del segundo modelo, la función spline lineal, siendo este último más alto. El coeficiente de determinación, también llamado R cuadrado, se define como la proporción de la varianza total de la variable explicada por el modelo de regresión (López, 2017). La regresión de la

función de spline lineal es la que mejor explica el comportamiento de los datos de rendimiento; por lo que este será el modelo elegido para este estudio.

Dado que se trata del estudio a un ente biológico, el cual presenta datos que se comportan de una manera discontinua, se requiere de un modelo matemático que imponga continuidad a estos. La función de spline lineal, también conocida como una función restrictiva por Greene (2002), alcanza el efecto deseado de continuidad en el modelo. Por medio de la función de spline lineal se determinaron como puntos de corte a 89.20 kg/ha/ciclo para el nitrógeno y 120.75 kg/ha/ciclo para el potasio, según se observa en las gráficas de rendimientos. Los puntos de corte son considerados límites o nudos, a partir de estos se efectúa un cambio en la pendiente de la función. En el Cuadro 7 se observan los coeficientes de la regresión del segundo modelo, spline lineal, y sus estadísticos.

Cuadro 7. Coeficientes de la regresión spline lineal de rendimiento de banano sobre la fertilización de nitrógeno y potasio por hectárea en Machala, Ecuador, 2018.

<b>Variables</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Estadístico T</b>	<b>P-value</b>
Intercepto	22,956.57	923.4523	24.86	0.00
Nitrógeno 1	38.2318	6.3264	6.04	0.00
Nitrógeno 2	7.9046	14.3471	0.55	0.584
Potasio 1	21.1937	9.6070	2.21	0.032
Potasio 2	-2.4111	6.5704	-0.37	0.715

En conjunto, el análisis de varianza de la regresión con el coeficiente de determinación indica que las variables utilizadas sí explican el rendimiento como resultado de una determinada dosis de fertilización con nitrógeno y potasio. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es alto tomando en cuenta que se realizó la regresión con 56 observaciones. Se puede afirmar que este modelo tiene una precisión en la predicción del rendimiento similar a los resultados productivos obtenidos en la investigación de Furcal-Beriguete & Barquero-Badilla (2014) la cual obtuvo un coeficiente de determinación de 0.68. Esta investigación evaluó las mismas variables, dosis de fertilización con nitrógeno y potasio, difiriendo en que se midieron otros parámetros productivos del cultivo relacionados al rendimiento.

En la Ecuación 3 se presenta la función de producción, spline lineal, con los puntos de corte y parámetros estimados en la regresión:

$$\text{Rendimiento} = 22,956.57 + a_i(N) + b_j(K) \quad [3]$$

Donde:  $i = 1,2$  y  $j = 1,2$

$$a_i = \begin{cases} 38.23 & \text{si } N < 89.20 \\ 7.9 & \text{si } N \geq 89.20 \end{cases}$$

$$b_j = \begin{cases} 21.19 & \text{si } K < 120.75 \\ -2.41 & \text{si } K \geq 120.75 \end{cases}$$

La regresión fue analizada con una prueba de White para verificar si existe o no heterocedasticidad. La prueba de White se realizó en el programa de STATA versión 14 y el resultado se evidencia en el Cuadro 5.

Cuadro 8. Prueba White aplicada a la regresión spline lineal de rendimiento de banano sobre fertilizante de nitrógeno y potasio por hectárea en Machala, Ecuador, 2018.

	Chi cuadrado	Grados de libertad	P-value
Heterocedasticidad	18.73	10	0.0438

El resultado de la prueba White afirma la existencia de heterocedasticidad en el modelo. La heterocedasticidad implica que las observaciones muestrales tienen varianzas del error distintas entre sí (Murillo & González, 2000). Por medio del programa estadístico utilizado, se corrigieron los errores estándar a los llamados errores estándares robustos como se muestra en el Cuadro 6, esto no cambia los coeficientes de la regresión spline lineal.

Cuadro 9. Coeficientes de la regresión spline lineal de rendimiento de banano sobre fertilizante de nitrógeno y por hectárea errores estándares robustos en Machala, Ecuador, 2018.

Variabes	Coeficientes	Error estándar	Estadístico T	P-value
Intercepto	22,956.57	690.1641	33.26	0.00
Nitrógeno 1	38.2318	7.6011	5.03	0.00
Nitrógeno 2	7.9046	13.1787	0.60	0.551
Potasio 1	21.1937	7.4932	2.83	0.007
Potasio 2	-2.4111	7.2659	-0.33	0.741

**Superficie de respuesta.** La Figura 4 muestra la superficie de respuesta como resultado de la función de producción de rendimiento de banano orgánico acorde a las distintas dosis de fertilización con nitrógeno y potasio. La función de producción trabaja sobre la superficie de respuesta con el fin de determinar la combinación de insumos que me generen distintos rendimientos incluyendo el máximo rendimiento posible; esta combinación es única, cualquier otra generará un menor rendimiento. El modelo utilizado para la superficie de respuesta puede considerarse predictivo a razón de obtener un coeficiente de determinación mayor a 0.6 y un valor F alto.

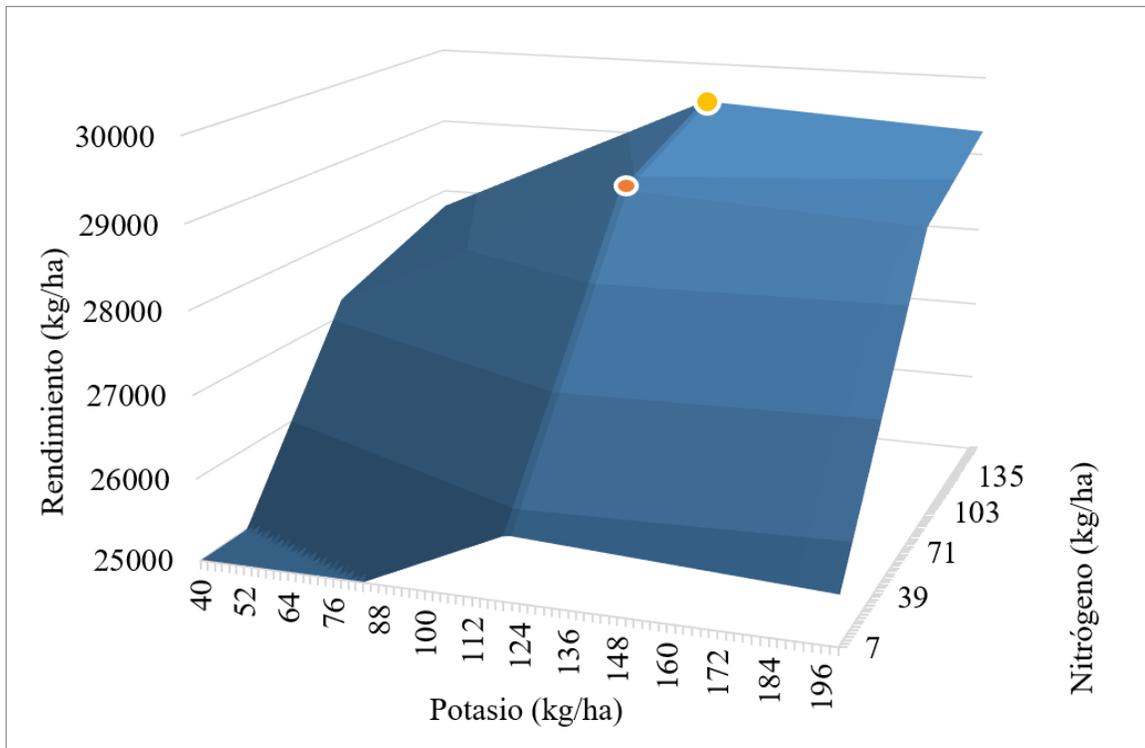


Figura 4. Superficie de respuesta de rendimientos según la función de producción dependiente de dosis de fertilización de nitrógeno y dosis de fertilización de potasio en kilogramos por hectárea en Machala, Ecuador, 2018.

En la superficie de respuesta se visualiza que hay un aumento lineal en los rendimientos a medida que se aumenta las dosis de fertilización con nitrógeno y las dosis de fertilización con potasio. Los rendimientos en dirección del potasio incrementan constantemente hasta cierto punto, a partir de este hay una leve reducción en el rendimiento. En el caso del nitrógeno, se muestra un incremento inicial constante de rendimientos y le sigue un crecimiento menor al primero. El punto donde el potasio genera su mayor rendimiento es con 120.75kg/ha/ciclo, equivalente a 250 kg/ha/año, y hasta donde limita el nitrógeno en 130.43 kg/ha/ciclo, equivalente a 400 kg/ha/año, es conocido como el punto de máxima producción de la superficie.

Cuando se aumenta la dosis de fertilización de nitrógeno hasta 89.20 kg/ha/ciclo, equivalente a 266 kg/ha/año, aumenta gradualmente el rendimiento hasta este punto límite, a partir de este punto el rendimiento sigue aumentando a menor escala. Este resultado es similar al de varios autores que proponen un rango anual entre 200 y 300 kg/ha de nitrógeno para una buena producción de banano. Entre estos autores están Espinosa & Belalcázar (2000), quienes establecen como mejor dosis entre 210 y 280 kg/ha/año de nitrógeno. A pesar que en este estudio no se evidencia una dependencia entre ambos insumos, el nitrógeno y potasio proporcionados conjuntamente al banano son de gran importancia para

el buen desarrollo del cultivo acorde al Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (2008), IPNI por sus siglas en inglés.

Los resultados productivos son asemejados con los obtenidos en el estudio de Espinosa & Belalcázar (2000) quienes obtienen una producción de 35.01 t/ha/año aplicando 220 kg/ha/año de nitrógeno y 210 kg/ha/año de potasio. Por otro lado, hay estudios que afirman obtener mejores rendimientos con una dosis de potasio mayor a 400 kg/ha/año como el experimento de Palencia, Gómez, & Martín (2006) en el que se aplicó 440 kg/ha/año de potasio. Sin embargo, la absorción de potasio en un segundo ciclo productivo fue de 273 kg/ha. Esta dosis de potasio está dentro del rango de las recomendadas por Combatt, Martínez, & Barrera (2004) y López (2002), entre 250 y 300 kg/ha/año, quienes obtuvieron un mayor peso de racimo y mayor cantidad de dedos comerciales por hectárea, respectivamente. Las leves variaciones entre los resultados de los autores y del presente estudio, se debe al material genético utilizado y las características que presentan los suelos en donde se desarrollaron los experimentos de campo.

### **Resultados económicos.**

**Análisis marginal.** El análisis marginal permite obtener la combinación óptima económica de las dosis de fertilización de nitrógeno y potasio que genere la máxima utilidad posible cuando no existe ninguna restricción presupuestaria. La combinación óptima económica es determinada independientemente si esta es una combinación específica en el experimento y si se encuentra dentro de los límites de las combinaciones evaluadas.

Los costos por aplicar un kilogramo adicional de nitrógeno, por su nombre comercial Fertil, y un kilogramo adicional de potasio, por su nombre comercial Allganic Makro Potassium, por hectárea son USD 8.40 y USD 2.17, respectivamente.

La combinación óptima de la dosis de fertilización con nitrógeno y la dosis de fertilización con potasio se determina mediante la maximización de la función de utilidad. La función de utilidad, operacionalizada en este estudio como margen bruto, incluye el costo marginal de cada insumo, nitrógeno y potasio, el rendimiento y el precio de portón de finca del kilogramo de banano orgánico exportable correspondiente a USD 0.434. La función de margen bruto permite calcular el máximo retorno después de incurrir en los costos de fertilización de nitrógeno y potasio. La expresión de la función de margen bruto es presentada en la Ecuación 4:

$$MB = [0.434 * Rend] - [8.40N + 2.17K] \quad [4]$$

La combinación que maximiza el retorno de la aplicación de fertilizantes de nitrógeno y potasio son: para nitrógeno 89.20 kg/ha/ciclo productivo y para potasio 120.75 kg/ha/ciclo productivo, equivalentes a 266 kg/ha/año y 250 kg/ha/año, respectivamente. La combinación óptima de los fertilizantes de nitrógeno y potasio genera un rendimiento estimado de 28,926 kg/ha de fruta exportable por ciclo. Por el cambio de una unidad

adicional de cualquiera de los insumos que difiera de esta combinación, causará una reducción de la utilidad.

**Senda de expansión.** La senda de expansión se estimó para determinar la combinación de insumos, fertilización de nitrógeno y de potasio, dentro de la superficie de respuesta que alcance un determinado nivel de producción a mínimos costos. La senda de expansión se determina con la Ecuación 5. Al agregar un kilogramo adicional de nitrógeno, teniendo mayor capital, la cantidad de potasio deberá de aumentar en 0 kg/ha para alcanzar una isocuanta mayor cambiando el óptimo local. Por tanto, la dosis de potasio se mantendrá constante independientemente varíe la cantidad de nitrógeno. Acorde a Bertsch (2009) la relación de absorción de nitrógeno-potasio en banano puede variar entre 1:2 a 1:3 por lo que no es raro encontrar algunas dosis de potasio que doblen o tripliquen a la de nitrógeno siempre y cuando se encuentren en la misma línea de producción. En el Cuadro 7 se presenta el incremento de las dosis de fertilizantes de nitrógeno y de potasio al flexibilizar la limitante presupuestaria y se visualiza un mayor nivel de rendimiento del banano orgánico. En la Figura 5 se muestra la gráfica de la senda de expansión de la producción de banano orgánico con las dosis de fertilización con nitrógeno y potasio.

Cuadro 10. Rendimientos con las combinaciones de dosis de fertilización con nitrógeno y potasio, en kilogramos por hectárea por ciclo productivo, sujeto a distintas limitantes presupuestarias en Machala, Ecuador, 2018.

<b>Limitante presupuestaria (USD)</b>	<b>Producción isocuanta (kg/ha)</b>	<b>Nitrógeno (kg/ha)</b>	<b>Potasio (kg/ha)</b>
11,520	28,820	86.43	120.75
11,430	28,400	75.44	120.75
11,280	27,700	57.13	120.75
11,152	27,100	41.44	120.75
11,023	26,500	25.74	120.75

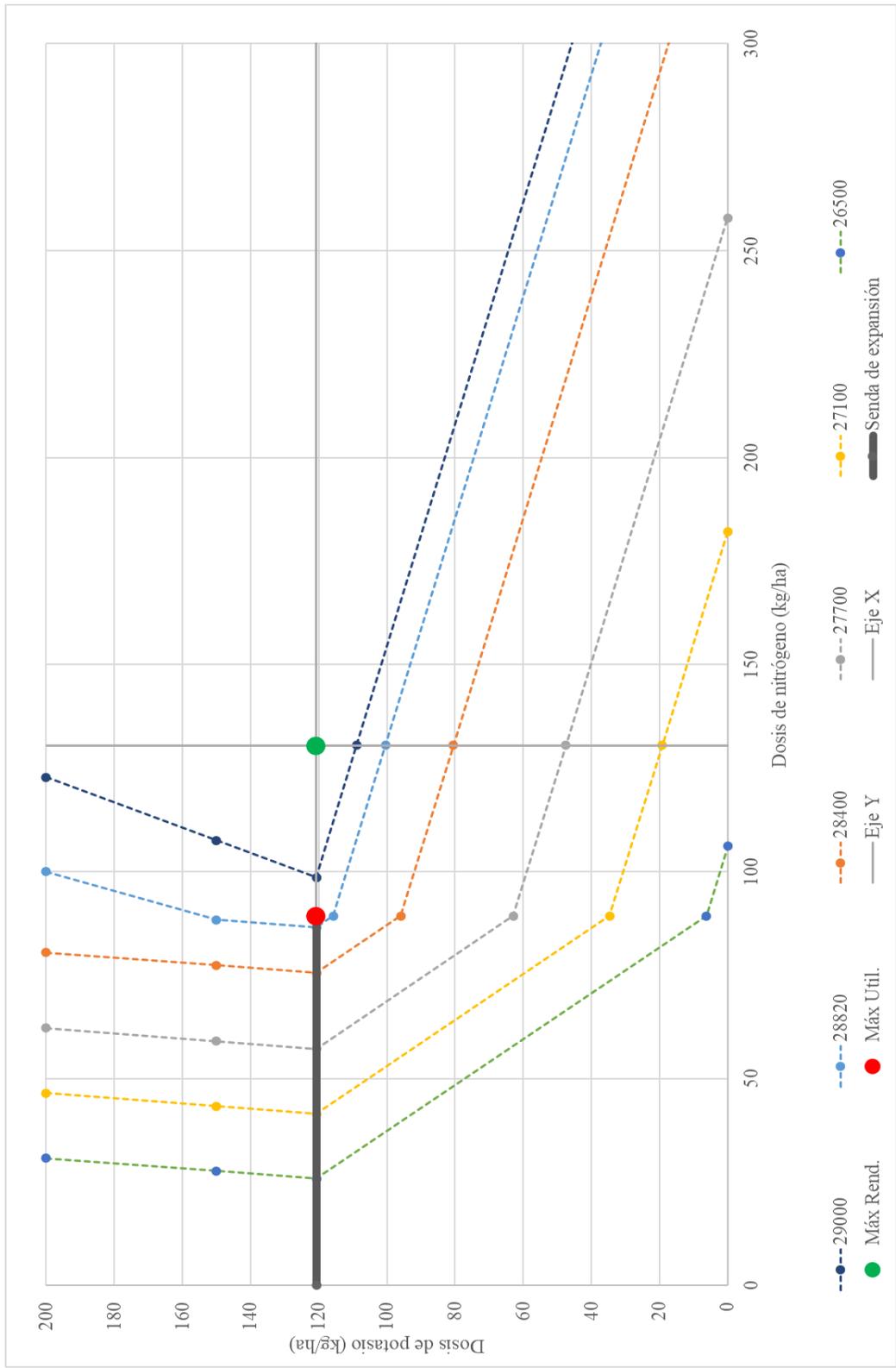


Figura 5. Isocuantas y senda de expansión en la producción (kg/ha) de banano orgánico Cavendish en Machala, Ecuador, 2018.

Las combinaciones de las dosis de fertilizante de nitrógeno y fertilizante de potasio que optimizan la producción son resultados bajo condiciones comerciales para un productor medio con fertilidad en suelo baja. Estas están sujetas a variaciones debido a cambios en el manejo, condiciones climáticas y costos extras incurridos por los productores ante alguna situación en particular.

**Presupuesto completo.** El presupuesto completo para la producción de banano orgánico es presentado en los Cuadros 8 y 9. Se calculó el margen neto en la producción de una hectárea de banano con la combinación óptima obtenida del análisis marginal. El rendimiento obtenido en el óptimo económico durante el ciclo fue multiplicado por 1.4 de “ratooning ratio” para estimar el rendimiento anual y obtener los ingresos correspondientes al periodo. El presupuesto completo fue elaborado tomando en cuenta los costos incurridos en la producción, siendo estos variables y fijos, con el fin de estimar la rentabilidad de esta actividad productiva. Dentro de los costos variables comprenden: fumigaciones, fertilizaciones, mano de obra, enfundado, empacado, riego, preparación de suelo, cormos y gastos por imprevistos. Entre los costos fijos se incluyen los gastos correspondientes a administración y mantenimiento de infraestructura.

Cuadro 11. Presupuesto completo para la producción de una hectárea anual de banano orgánico variedad Cavendish en Machala, Ecuador, 2018.

<b>Ingresos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Campo (USD)</b>	<b>Ingresos (USD/ha)</b>
Rendimiento	kg/ha	40,496.40	0.43	17,575
<b>Total ingresos</b>				<b>17,575</b>
<b>Costos Variables (CV)</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo por hectárea (USD/ha)</b>
<b>1. Preparación de terreno</b>				<b>5</b>
Alquiler de maquinaria	Hr-Maq	2.00	25.00	5
<b>2. Siembra</b>				<b>208</b>
Meristemos	Unidad	1,850.00	0.80	148
Apertura de hoyos	Unidad	1,850.00	0.02	4
fertilización de base				
Siembra/tapado de hoyos	Unidad	1,850.00	0.30	56
<b>3. Fertilización</b>				<b>2,907</b>
Fertil (12.5-3-1)	kg	266.00	8.40	2,234
Allganic Makro Potassium (0-0-60)	kg	250.00	2.17	543
Mano de obra	Aplicación	13.00	10.00	130
<b>4. Fungicidas</b>				<b>871</b>
Timorex	Lt	12.00	34.00	408
Emulad SE	Lt	0.08	0.80	0
Aceite Banole	gal	36.00	4.60	166
Servicio de fumigación	ha	24.00	12.40	298
<b>5. Insecticidas</b>				<b>36</b>
Phyriplus	Lt	1.20	30.00	36
<b>6. Riego</b>				<b>1,390</b>
Diésel	gal	458.00	1.04	474
MO riego	Hr-Hm	458.00	2.00	916
<b>7. Actividades agrícolas</b>				<b>2,096</b>
Raleo	Unidad	300.00	2.00	600
Roza	Hr.Hm	12.00	50.00	600
Funda	Unidad	2,170.00	0.07	158
Protector	Unidad	2,170.00	0.07	152
Cinta para banano	Unidad	2,170.00	0.01	22
Mano de obra	Hr-Hm	2,170.00	0.26	564
<b>8. Empaque</b>				<b>1,690</b>
Cuadrilla empaque	Jornal	32.00	25.00	800
Cuadrilla campo	Jornal	32.00	20.00	640
Evaluaadores	Jornal	3.00	60.00	180
Servicios alimentación	Jornal	35.00	2.00	70
<b>Total costos variables</b>				<b>9,203</b>

Cuadro 12. Continuación de presupuesto completo para la producción de una hectárea anual de banano orgánico variedad Cavendish en Machala, Ecuador, 2018.

<b>Costos Fijos (CF)</b>				
Gastos por imprevistos	%CV	0.05	9,202.97	460
Mantenimiento	%CV	0.01	9,202.97	92
Gastos de servicios				3
Gastos administrativos				672
<b>Certificaciones</b>				<b>162</b>
Global Gap				60
GRASP				38
Certificación Orgánica (USDA)				64
<b>Total Costos fijos</b>				<b>1,389</b>
<b>Costos totales</b>				<b>10,592</b>
<b>Margen neto</b>				<b>6,984</b>
<b>Rentabilidad</b>				<b>66%</b>

El presupuesto completo comprendió todos los costos variables y fijos en los que incurre un productor mediano para producir una hectárea de banano orgánico. Los costos asociados a la preparación de terreno y siembra fueron anualizados por tratarse de un cultivo perenne al que se le otorga una vida útil de 10 años. La mano de obra y los fertilizantes orgánicos representan la mayor parte de los costos variables de producción, siendo estos del 47% y 30%, respectivamente. Por otro lado, los costos variables representan un 87% de los costos totales incurridos en la producción de una hectárea.

Dentro de los costos fijos se visualizan los gastos por renovación anual de certificaciones. Las certificaciones orgánicas son indispensables para la exportación de banano a países europeos y a Estados Unidos. La producción de una hectárea de banano orgánico genera un margen neto de USD 6,984. El retorno sobre la inversión, ROI por sus siglas en inglés, está evidenciado con el indicador financiero de rentabilidad. La rentabilidad de la producción de banano orgánico es del 66%, es decir, que por cada dólar invertido en la producción de banano orgánico se obtendrá un retorno de USD 0.66 adicionales al dólar invertido.

## 4. CONCLUSIONES

- La superficie de respuesta del rendimiento del banano orgánico durante el segundo ciclo productivo es caracterizada con la función de producción spline lineal. La combinación 130.43 kg/ha de nitrógeno (N) y 120.75 kg/ha de potasio (K<sub>2</sub>O) disponible en el suelo para la planta, genera el mayor rendimiento por hectárea, siendo este de 29,252 kg/ha de fruto exportable en el segundo ciclo.
- La combinación óptima económica de elementos disponibles en el suelo para la planta, sin limitante presupuestaria, para un mediano productor de banano orgánico es de 89.20 kg/ha de nitrógeno (N) y 120.75 kg/ha de potasio (K<sub>2</sub>O) en el segundo ciclo productivo. El óptimo económico, bajo limitante presupuestaria, es caracterizada con la fórmula de la senda de expansión:  $K = 0N + 120.75$ .
- El margen neto de una hectárea de producción de banano orgánico es de USD 6,984 con una producción anual de 40,496 kg/ha de producto exportable. El retorno sobre la inversión es del 66%, lo que hace rentable a este proyecto.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Replicar el estudio con combinaciones de fertilización de nitrógeno y potasio a dosis similares recolectando datos desde el primer ciclo productivo y extenderse hasta los ciclos productivos posteriores al segundo para evaluar las variaciones en el rendimiento y en el óptimo económico.
- Realizar un nuevo estudio con otros fertilizantes orgánicos permitidos con el objetivo de comparar resultados productivos y económicos con los obtenidos en este estudio.
- Replicar el experimento con otras variedades de banano orgánico comercial y en otras condiciones climáticas-geográficas de Ecuador para crear una base de datos productivos y económicos de las zonas productoras de este cultivo.

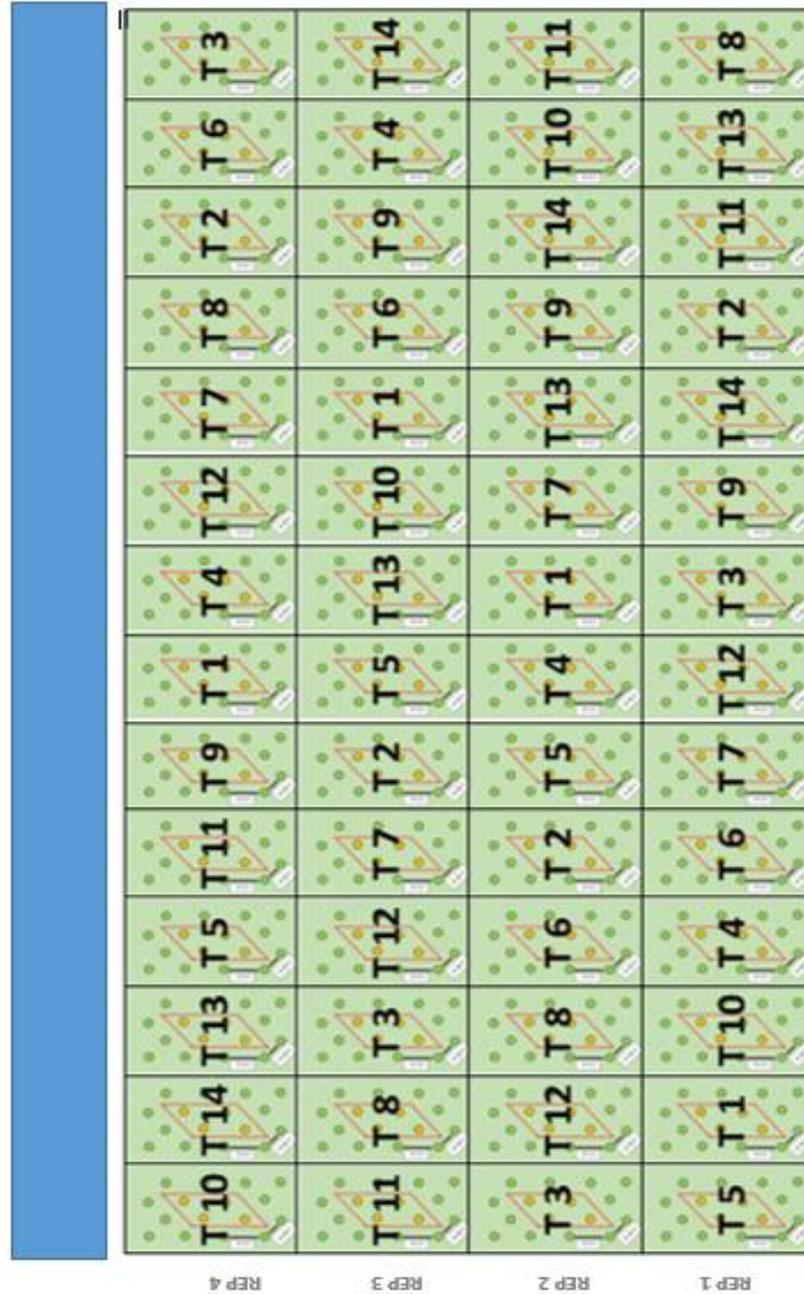
## 6. LITERATURA CITADA

- Bertsch, F. (2009). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. Universidad de Costa Rica. San José: Asociación Costarricense de Ciencia del Suelo (ACCS).
- Capa, L. B., Alaña, T. P., & Benítez, R. M. (2016). Importancia de la producción de banano orgánico. Caso: provincia El Oro, Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 64-71.
- CIA/UCR. (2001). Manejo de suelos y fertilización del cultivo del banano. En G. Meléndez, & E. Molina (Edits.), *Fertilidad de Suelos y Manejo de la Nutrición de Cultivos en Costa Rica* (págs. 132-137). Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Combatt, E. M., Martínez, G., & Barrera, J. L. (Junio de 2004). Efecto de la interacción de N y K sobre las variables de rendimiento del cultivo de plátano (Musa AAB Simmonds) en San Juan de Urabá - Antioquia. *Temas Agrarios*, 9(1), 5-12. doi:10.21897/rta.v9i1.618
- Debertin, D. L. (2012). *Agricultural Production Economics* (Second ed.). Uper Saddle River, New Jersey, USA: University of Kentucky.
- Espinosa, J., & Belalcázar, S. (May de 2000). Fertilization of Plantain in High Densities. *Better Crops International*, 14(1), 16-19.
- Evans, E. A. (2017). Análisis Marginal: Un Procedimiento Económico para Seleccionar Tecnologías o Prácticas Alternativas. *Food and Resource Economics*. *Fresh Plaza*. (6 de Mayo de 2016). Recuperado el 31 de Mayo de 2017, de Fresh Plaza: Noticias del sector de frutas y verduras: <http://www.freshplaza.es/article/97383/Los-mayores-exportadores-de-bananas-del-mundo>
- Furcal-Beriguete, P., & Barquero-Badilla, A. (2014). Fertilización del plátano con nitrógeno y potasio durante el primer ciclo productivo. *Agronomía Mesoamericana*, 12.
- González, A. I. (Julio de 2018). Prácticas ambientales y competitividad de las PYMES bananeras del cantón Machala, provincia El Oro, Ecuador. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, VI.
- Greene, W. H. (2002). *Econometric Analysis* (Fifth Edition ed.). New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Haines, L. M. (2004). *Response Surface Methodology in Agriculture*. University of KwaZulu-Natal, Statistics and Information Systems, South Africa.
- INEC. (2017). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Ecuador: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

- IPNI. (2008). Búsqueda de Eficiencia en el Uso de Nutrientes en Banano. *XVIII Congreso ACORBAT*. Guayaquil: International Plant Nutrition Institute.
- Khuri, A. I. (11 de April de 2017). Response Surface Methodology and Its Application in Agricultural and Food Science. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 5(5), 1-11.
- López, A. M., & Espinosa, J. M. (1995). *Manual de nutrición y fertilización del banano*. Quito, Ecuador: International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- López, J. F. (2 de Octubre de 2017). *Coefficiente de determinación (R cuadrado)*. Obtenido de economipedia.com: <https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-coeficiente-determinacion.html>
- López, O. R. (2002). *Manual de producción de plátano basado en la experiencia de Zamorano*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Martínez, A. M., & Cayón, D. G. (Octubre de 2011). Dinámica del Crecimiento y Desarrollo del Banano (Musa AAA Simmonds cvs. Gran Enano y Valery). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, 64(2), 6055-6064.
- Martínez, A. M., Cayón, D. G., & Torres, J. (2014). Distribución de los nutrientes durante el crecimiento de la planta de banano. *X Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo*. Cusco: Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo (SLCS).
- Ministerio de Comercio Exterior. (2017). *Informe Sector Bananero Ecuatoriano*. Quito.
- Murillo, C., & González, B. (2000). *Manual de Econometría*. España.
- Myers, R. H. (2016). Response surface methodology. En R. H. Myers, D. C. Montgomery, & C. M. Anderson-Cook, *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments* (Fourth ed., págs. 1-12). USA: WILEY.
- Palencia, G. E., Gómez, R., & Martín, J. E. (2006). *Manejo sostenible del cultivo del plátano*. (L. M. Calle, Ed.) Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).
- Programa Nacional del Banano y Proyecto SICA-BIRF/MAG-Ecuador. (2014). *Países exportadores de banano*. FAO.
- SNI. (19 de Mayo de 2015). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia El Retiro. Machala, El Oro, Ecuador.
- Umaña, G., Pachecho, I., & Bertsch, F. (2002). *Manual para el manejo en campo, cosecha y poscosecha de banano orgánico de exportación para pequeños agricultores de Costa Rica*. San José: ACCS.
- Vargas-Calvo, A. (2012). Grosor del fruto de la última y segunda mano como criterio de cosecha en banano. *Agronomía Mesoamericana*, 23(1), 41-46.

## 7. ANEXOS

**Anexo 1.** Distribución de los 14 tratamientos de fertilización con nitrógeno y fertilización con potasio en un arreglo factorial de bloques al azar en campo en Machala, Ecuador, 2018.



**Anexo 2.** Informe de análisis de suelos de las unidades experimentales evaluadas en Machala, Ecuador, 2018.

 <b>AGROBIOLAB</b> <b>Informe de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y E.C.P.</b> LABORATORIO DE ENSAYO, BAJO LA NORMA INTERNACIONAL ISO 17025 Gonzalo Zaldumbide N49-204 y Luis Calisto Urb. Dammer 2 (El Inca) Telfs: (593-2) 241-2383 241-2385 Fax: (593-2) 241-3312 Quito - Ecuador Página Web: www.grupoclinicagrícola.com E-mail: info@grupoclinicagrícola.com													
Datos del Cliente						Referencia		Interpretación					
Cliente : AGUILAR ALEX ANTONIO Prop / Dir : SAN ALEJO 3 Cultivo : BANANO Ingreso : 03/02/2017 No. Lab. : Desde :152506						No. Doc.: <b>50243</b> Emisión: 08/02/2017 Impreso: 08/02/2017 Página: 1 de 2		<b>Textura</b> Boul, S.W. 1973 Fco = Franco Arc = Arcilloso As = Arenoso Li = Limoso Are = Arena Fca = Franca		<b>Elementos</b> INIAP, Inf.Téc.1979 B = Bajo M = Medio S = Suficiente A = Alto E = Exceso		<b>pH</b> Knott, J.E. 1962 Ac = Acido LAc= Lig. Acido Pn = Prac. Neutro LAI = Lig. Alcalino AI = Alcalino	
Nombre : MUESTRA 01 No. Lab. : 152506 Profund (cm): 0-20													
*pH	*C.E. mmhos/cm	*M.O. %	*NH4 ppm		P ppm	K meq/100ml	Ca meq/100ml	Mg meq/100ml	*Na meq/100ml		CICE meq/100ml		
6.90 Pn	0.51 B	1.66 B	28.10 B		14.00 M ± 2.24	0.14 B ± 0.02	13.49 A ± 2.42	3.54 S ± 0.60	0.11 B		17.28 M		
Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	*B ppm	*SO4 ppm	Fe/Mn R1	Ca/Mg R2	Mg/K R3	Ca+Mg/K R4				
10.10 E ± 2.02	162.60 E ± 42.27	5.00 B	4.70 M ± 1.78	0.01 B	23.00 M	32.52 E	3.81 A	25.28 E	121.64 E				

**Anexo 3.** Ficha técnica del abono orgánico Fertil emitida por la empresa AgriBio, Perú, 2017.

# FERTIL

**FERTIL ES UN ABONO NITROGENADO DE ALTA EFICIENCIA, PRODUCIDO A BASE DE AGROGEL.**



**40% DEL NITRÓGENO ESTÁ DISPONIBLE INMEDIATAMENTE.**



**TODO EL NITRÓGENO ES ENTREGADO DURANTE LA TEMPORADA.**



**AUMENTA LA FERTILIDAD DEL SUELO.**



**NO GENERA PÉRDIDAS POR LIXIVIACIÓN Y VOLATILIZACIÓN.**



**LA ENTREGA DE NITRÓGENO SE PRODUCE DE ACUERDO A LAS NECESIDADES DE LAS PLANTAS.**



**FAVORECE EL EQUILIBRIO FISIOLÓGICO.**

**FERTIL** es un abono a base de AGROGEL que es obtenido mediante el innovador proceso ILSA FCH\*. Posee acciones bioestimulantes y complejantes. Este abono es el resultado de una elaboración que hoy solo Ilsa es capaz de realizar.

**FERTIL** se caracteriza por una gran seguridad de la composición a diferencia de la mayor parte de los abonos orgánicos en comercio que no tienen, por lo general, niveles de concentración estables, ni soporte científico específico.

**FERTIL** está totalmente exento de limitaciones de empleo. Todos los elementos son absorbidos por los cultivos de modo continuo en el tiempo, sin pérdidas por derroches o contaminación.

**FERTIL** añade materia orgánica al suelo y mejora su fertilidad debido a que aumenta la actividad de los microorganismos del suelo. Por lo tanto, el tiempo de mineralización del nitrógeno en el suelo es de corto a mediano plazo.

COMPOSICIÓN	
Nitrógeno (N) Total	12,5%
Nitrógeno (N) orgánico total soluble	12,5%
Carbono (C) orgánico	40%
Carbono (C) orgánico extraíble / Carbono (C) orgánico Total	> 95%
Sustancia orgánica	70%
pH	<6

\*Fertil contiene trazas de P2O5 (3,0%), K2O (3,0%), MgO (0,15%), CaO (0,55%), SO2 (4,5%), entre otros.

PERMITIDO EN AGRICULTURA ECOLÓGICA



\* Insumo apto para utilización en la producción orgánica, certificación reconocida a los criterios de cada reglamento orgánico conforme a su Certificado entidad Inspeccionada por Ecocert.



FCH\* es un proceso de hidrólisis térmica del colágeno que se efectúa en el interior de autoclaves dinámicos; el proceso se desarrolla en tres fases sucesivas de diferentes duraciones y efectuadas a diferentes temperaturas controladas. El material gelatinoso extraído de los autoclaves es llevado a un sistema de deshidratación y secado horizontal que funciona de forma continua, en un ambiente interno controlado a temperatura (100 °C). La humedad, la temperatura y la velocidad de extracción son monitoreadas en modo continuo y en automático, a fin de obtener un producto homogéneo, y caracterizado por la presencia de cadenas de diferentes dimensiones.

AGROGEL® es una gelatina sólida hidrolizada y estabilizada, a base de nitrógeno proteico, obtenida mediante el innovador proceso ILSA FCH\*. Posee acciones bioestimulantes y complejantes. Mediante los procesos tradicionales no es posible asegurar la cantidad de nitrógeno orgánico soluble que contendrá el producto final, por lo que especifican solamente el tenor de nitrógeno orgánico total. Los abonos a base de AGROGEL® garantizan la máxima seguridad en su composición, a diferencia de la mayor parte de los abonos orgánicos presentes en el mercado, los que generalmente utilizan materia prima de alta variabilidad y carecen de respaldo técnico-científico en su producción.

## DOSIFICACIÓN

\*Fertilizante microgranulado [Incorporado al suelo o en cobertura]

Cultivo	Época	Dosis a aplic. kg/ha
Aarándano, Frambueso, Mora	Brotación y post cosecha	600-700
Fresa	Antes de siembra o trasplante	500-800
Lechuga, Espinaca, Achicoria, Endivia	Antes de siembra o trasplante	400-500
Manzano, Pera, Albaricoque, Kiwi, Naranja, Clementina, Limónes, Pomelo, Noga, Avellano europeo, Albaricoque, Cerezo, Duraznero, Nectarin, Ciruela, Damasco	Brotación y post cosecha	600-700
Ólivo	Brotación y post cosecha	400-500
Papa	Antes de siembra	500-600
Palto	Brotación y post cosecha	500-700
Repollo, Coliflor, Brócoli, Albahaca, Alcachofa, Apio	Antes de siembra o trasplante	400-500
Tomate, Berengena, Pimiento, Melón, Sandía, Zapallo italiano, Zanahoria, Espárrago	Antes de siembra o trasplante	500-700
Vid de mesa y Vid vinífera	Brotación y post cosecha	600-800
Banano/Plátano	Todo el año / Cada 45 días	1200-1300

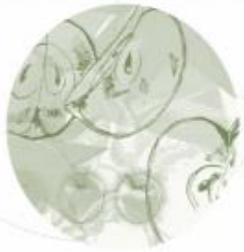
\*Las dosis son únicamente indicativas y pueden variar según las condiciones de cada ambiente y cultivo.



Cápac Yupanqui 2620 - Linco, Lima, Perú.  
Tel (511) 503 5692 | Email: info@agribio.pe  
www.agribio.pe



**Anexo 4.** Certificación orgánica del fertilizante Allganic Makro 60 Potassium de SQM North America Corp, USA, 2017.



# OMRI Listed®

The following product is OMRI Listed. It may be used in certified organic production or food processing and handling according to the USDA National Organic Program regulations.

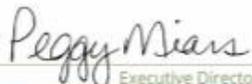
**Product**  
Allganic maKro 60 Potassium Chloride Granular 0-0-60

**Company**  
SQM North America Corp.  
Samuel Carruth  
2727 Paces Ferry Rd, Bldg Two, Ste 1425  
Atlanta GA 30339 United States

<b>Status</b>	<b>Category</b>	<b>Issue date</b>
Allowed with Restrictions	NOP: Potassium Chloride (KCl)	18-Sep-2017
<b>Product number</b>	<b>Class</b>	<b>Expiration date</b>
sqm-8669	Crop Fertilizers and Soil Amendments	01-Dec-2019

**Restrictions**

Must be applied in a manner that minimizes chloride accumulation in the soil.

  
 Executive Director/CEO

Product review is conducted according to the policies in the current OMRI Policy Manual® and based on the standards in the current OMRI Standards Manual®. To verify the current status of this or any OMRI Listed product, view the most current version of the OMRI Product List® at OMRI.org. OMRI listing is not equivalent to organic certification and is not a product endorsement. It cannot be construed as such. Final decisions on the acceptability of a product for use in a certified organic system are the responsibility of a USDA accredited certification agent. It is the operator's responsibility to properly use the product, including following any restrictions.



Organic Materials Review Institute  
P.O. Box 11558, Eugene, OR 97440-3758, USA  
541.343.7600 · info@omri.org · OMRI.org