



## RESPUESTA ÓPTIMA ECONÓMICA DE LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA SOBRE VARIABLES PRODUCTIVAS DEL BANANO (*Musa spp.*)

### OPTIMAL ECONOMIC RESPONSE OF POTASSIC FERTILIZATION ON PRODUCTIVE VARIABLES OF BANANA (*Musa spp.*)

Diego Villaseñor<sup>1\*</sup>, Yuri Noblecilla-Romero<sup>1</sup>, Eduardo Luna-Romero<sup>1</sup>, Roossvelt Molero-Naveda<sup>2</sup>, Salomón Barrezueta-Unda<sup>1</sup>, William Huarquilla-Henriquez<sup>1</sup>, Carlos González-Porras<sup>1</sup>, Javier Garzón-Montealegre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Campus Santa Inés, km ½ vía Machala-Pasaje (CC 170517), Machala, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Experimental Sur del Lago (UNESUR), Santa Bárbara de Zulia, Venezuela.

\* Autor para correspondencia: dvillaseñor@utmachala.edu.ec.

#### RESUMEN

El banano (*Musa spp.*) es conocido por su alta demanda de nutrientes, entre ellos el potasio (K). Un suministro adecuado de este elemento nutricional es muy importante para optimizar el equilibrio económico/productivo del cultivo. El objetivo del estudio fue determinar una dosis óptima económica (DOE) en función de una dosis óptima de fertilización (DOF), a través de dosis crecientes de K<sub>2</sub>O (0; 350; 525; 700 y 875 kg ha<sup>-1</sup>) en la forma de nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub> - 46% K<sub>2</sub>O). El experimento se realizó en dos localidades (La Primavera y El Guabo) de la provincia de El Oro, Ecuador. Se usó un diseño de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Las variables evaluadas fueron: peso de racimo (PR), productividad (Pt) y ratio (Rt). Los resultados revelaron una DOF de 584 y 575 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, para una Pt de 47,5 y 45,0 t ha<sup>-1</sup> en La Primavera y El Guabo, respectivamente. La DOE logró estimar que un 94% de la variación de los ingresos fue causado por la variación del precio de venta comercial de la caja de banano, mientras que el efecto de la variación de la dosis de K<sub>2</sub>O sobre los ingresos fue de aproximadamente 6%.

**Palabras clave:** banano, *Musa spp.*, dosis económica, fertilización, potasio.

#### ABSTRACT

Banana (*Musa spp.*) is known for its high demand for nutrients, including potassium (K). An adequate supply of this macronutrient is essential to optimize the economic/productive balance of the crop. The objective of this study was to determine an optimal economic dose (DOE) based on an optimal fertilization dose (DOF) through increasing doses of K<sub>2</sub>O (0; 350; 525; 700 and 875 kg ha<sup>-1</sup>) in the form of potassium nitrate (KNO<sub>3</sub> - 46% K<sub>2</sub>O). The experiment was conducted in two locations (La Primavera and El Guabo) of the province of El Oro, Ecuador. A randomized complete block experimental design was used, with five treatments and five replicates. The variables evaluated were: cluster weight (PR), productivity (Pt) and ratio (Rt). The results revealed a DOF of 584 and 575 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O, for a Pt of 47.5 and 45.0 t ha<sup>-1</sup> in La Primavera and El Guabo, respectively. The DOE allowed estimating that 94% of the income variation was caused by the variation in the marketing price of a box of bananas, while the effect of the different doses of K<sub>2</sub>O accounted for approximately 6% of the income variation.

**Key words:** banana, *Musa spp.*, economic dose, fertilization, potassium.

## INTRODUCCIÓN

La producción de banano (*Musa* spp.) es una de las actividades agrícolas, económicas más importantes del Ecuador, representa el 2% del PIB general del país y aproximadamente el 35% del PIB agrícola nacional (MCOMEX, 2017). Las estadísticas indican que en el año 2018 la producción en Ecuador alcanzó los 6,5 millones de t en un área neta de cultivo de 158.057 ha (FAO, 2018).

El banano es un cultivo de alta demanda nutricional (Teixeira et al., 2002), por lo tanto, el uso de dosis óptimas de fertilización es un factor esencial para obtener niveles adecuados de rendimiento (Moreira y Fageria, 2009), además de mantener los equilibrios fisiológicos requeridos por la planta para su normal funcionamiento (Fratoni et al., 2017).

Una característica nutricional del cultivo, corresponde a su exigencia de potasio (K), superior a otros nutrimentos como nitrógeno (N), calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P) (Hoffman et al., 2010; Nyombi et al., 2010). En este contexto, el potasio es esencial para una producción sostenible, debido a su importancia en procesos fisiológicos como regulación osmótica, síntesis de proteínas, funcionamiento de estomas, permeabilidad de membrana celular, y activación de procesos enzimáticos (Nyombi 2020).

La mayoría de trabajos relacionados potasio se han desarrollado en función de la determinación de una dosis óptima de fertilización (DOF), por medio de modelos estadísticos que explican la incidencia de la fertilización sobre el rendimiento (Sala y Boldea, 2011). Sin embargo, la literatura no muestra un procedimiento de cálculo, que permita identificar una dosis óptima económica (DOE) en función de DOF; es decir, la cantidad de insumo (fertilizante) que logre maximizar el ingreso, teniendo en cuenta que los requerimientos de potasio inciden significativamente en los costos de producción del cultivo (Ganeshamurthy et al., 2011; Soto, 2015).

En función de los antecedentes expuestos, los objetivos del estudio fueron: (i) evaluar los efectos de la aplicación de dosis de fertilizante potásico sobre variables productivas, y (ii) determinar una dosis óptima económica que maximice los ingresos en el cultivo de banano, bajo condiciones de manejo agronómico de la provincia de El Oro en la zona sur de Ecuador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización y caracterización del área experimental.** El experimento se llevó a cabo en dos haciendas bananeras de la provincia de El

Oro - Ecuador, ubicadas en las localidades de La Primavera (L1) (79°53'45" O; 3°14'39" S) y El Guabo (L2) (79°84'42" O; 3°24'12" S), con altitud media de 7 msnm y clima tropical megatérmico seco AW (Kottek et al., 2006). La temperatura media anual de la zona de estudio es de 26°C y la humedad relativa tiende a superar el 75% (Pourrut et al., 1995). Los suelos de esta zona corresponden al subgrupo Aquic Dystrustepts (Soil Survey Staff, 2010; Villaseñor et al., 2015). Los atributos físico-químicos de los suelos analizados, según metodología propuesta por Alvarado et al. (2009) del laboratorio de suelos del Instituto Ecuatoriano de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), se presentan en la Tabla 1.

Se utilizó la variedad de banano *Musa* spp. 'Cavendish', clon Valery, como material vegetativo, plantadas a una densidad de 1650 plantas ha<sup>-1</sup> (2,02 m x 3 m de espaciamiento). Cada unidad experimental estuvo estructurada por parcelas de 90 m<sup>2</sup> (9 m x 10 m). Las unidades experimentales fueron constituidas por 15 plantas, de donde se seleccionaron cinco plantas de reciente emisión de inflorescencia para el seguimiento y evaluación de variables. En los ensayos establecidos fueron aplicadas todas las prácticas agronómicas que requiere el cultivo: deshierbe, control de malezas, desmane, apuntalamiento, enfunde, deshoje fitosanitario, riegos y limpieza de canales de drenaje, siguiendo recomendaciones de Galán Saúco et al. (2012). Para el control fitosanitario de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) se siguieron las directrices de Ganry et al. (2012).

**Diseño experimental.** El experimento correspondió a un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos consistieron en dosis crecientes de K<sub>2</sub>O en forma de nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>), tomando como base la recomendación general de López y Espinoza (2000), que indica el uso de 700 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Las dosis evaluadas fueron: 0; 350; 525; 700 y 875 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 2). Los datos fueron analizados estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) conjunto de los dos experimentos y análisis de regresión polinomial de todas las variables, por medio del software Agroestat® (Barbosa y Maldonado, 2010). Cuando las diferencias sobre las medias de los tratamientos fueron significativas, se utilizó un test Tukey al 5% como método de separación de medias.

**Fertilización.** Los requerimientos de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO y SO<sub>4</sub>, fueron aplicados en dosis iguales en todos los tratamientos, en niveles de 400, 100, 50 y 50 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para cada elemento,

**Tabla 1. Características físicas y químicas de los suelos de las localidades La Primavera (L1) y El Guabo (L2), El Oro, Ecuador.**

**Table 1. Physical and chemical characteristics of the soils of La Primavera (L1) and El Guabo (L2), El Oro, Ecuador.**

Parámetro	Localidad	
	La Primavera (L1)	El Guabo (L2)
Materia orgánica, %	3,9	6,2
Clase textural	Arcillo limosa	Limo arcillosa
Conductividad eléctrica, mS cm <sup>-1</sup>	0,36	0,27
pH (en H <sub>2</sub> O)	7,9	7,3
pH (en KCl)	7,1	6,7
Nitrato (NO <sub>3</sub> -N), mg kg <sup>-1</sup>	6,2	11,3
Amonio (N-NH <sub>4</sub> ), mg kg <sup>-1</sup>	3,7	3,1
Nitrógeno (N) Total, mg kg <sup>-1</sup>	9,9	14,4
Fósforo (P), mg kg <sup>-1</sup>	15,6	24,4
Potasio (K), mg kg <sup>-1</sup>	62,5	50,5
Magnesio (Mg), mg kg <sup>-1</sup>	150	213
Calcio (Ca), mg kg <sup>-1</sup>	815	935
Azufre (S), mg kg <sup>-1</sup>	14,8	12,1
Hierro (Fe), mg kg <sup>-1</sup>	27,4	51,0
Manganeso (Mn), mg kg <sup>-1</sup>	21,4	32,4
Cobre (Cu), mg kg <sup>-1</sup>	8,7	3,4
Zinc (Zn), mg kg <sup>-1</sup>	1,7	3,6
Boro (B), mg kg <sup>-1</sup>	0,18	0,17
Sodio (Na), mg kg <sup>-1</sup>	67,1	21,8
Cloruro (Cl), mg kg <sup>-1</sup>	23,1	21,5
Sales totales, mg kg <sup>-1</sup>	300	225

L1 = Localidad "Primavera"; L2 = Localidad "El Guabo".

**Tabla 2. Descripción de los tratamientos evaluados en las dos localidades estudiadas en el experimento.**

**Table 2. Description of the treatments evaluated in the two study sites of the experiment.**

Tratamientos	Nutrientes					
	----- (kg ha <sup>-1</sup> año) -----					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>
T1	400	100	0	50	0	50
T2	400	100	350	50	0	50
T3	400	100	525	50	0	50
T4	400	100	700	50	0	50
T5	400	100	875	50	0	50

usando como fuentes nitrato de amonio (34% N), súper fosfato triple (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y sulfato de calcio (26% CaO y 13% de S), respectivamente (Tabla 2).

Al momento de cosecha, aproximadamente 12 semanas después de la floración (Martínez y Cayón., 2011), se midieron en todos los tratamientos las variables: a) Peso de Racimo (PR) en kg, b) Ratio (Rt) (relación caja de 19,06 kg por

peso de racimo), y c) Productividad (Pt) en kg ha<sup>-1</sup> (multiplicando el peso del racimo por el número de plantas por ha).

Las dosis de fertilización fueron parcializadas en ocho ciclos de aplicación, durante el año 2016, el fraccionamiento fue de 10, 10, 10, 15, 15, 15, 15, 10% de la dosis calculada. Los fertilizantes fueron aplicados a la superficie del suelo,

correspondiente al área de máxima actividad radical, según Wuyts et al. (2006).

**Determinación de DOF y DOE.** La determinación de dosis óptima de fertilización (DOF) de cada experimento, se estableció mediante modelos de regresión cuadrática ajustadas a las dosis crecientes de fertilización de  $K_2O$  y los niveles de rendimiento (López y Espinoza, 2000). La dosis óptima económica (DOE) se estableció partiendo del modelo cuadrático que explica la DOF, considerando que los ingresos pueden calcularse por medio de la Eq. (1):

$$Ingresos_{productividad} = bY - fK \quad \text{Eq. (1)}$$

donde ( $b$ ) corresponde al precio del kg de banano (US\$ dólares americanos, ( $Y$ ) al modelo cuadrático que responde a DOF, y  $f$  al precio del elemento  $K_2O$  contenido en el fertilizante ( $\$ kg^{-1}$ ). En este contexto, se puede sustituir en la Eq. (1) por  $Y = DOF$ , generando una Eq. 2:

$$I_p = b(DOF) - fK \quad \text{Eq. (2)}$$

$$I_p = b(32940,32 + 49,77K - 0,0426K^2) - fK$$

$$I'_p = b \left[ \frac{d}{dK}(49,77K) - \frac{d}{dK}(0,0426K^2) \right] - f \frac{d}{dK}K$$

$$I'_p = 49,77b - 0,0852bK - f = 0$$

$$0,0852bK = 49,77b - f$$

$$K = \frac{49,77b - f}{0,0852b}$$

Al derivarse Eq. 2 con respecto a las dosis de  $K_2O$  e igualándola a cero, la maximización de ingresos puede ser obtenida, lo que corresponde a DOE (Aizpurúa et al., 2010).

El precio del kg banano fue calculado por medio de la relación entre el precio oficial de una caja de exportación de 19,06 kg correspondiente a 6,30 US\$, según acuerdo ministerial No. 135 del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2018) de Ecuador, y el precio del kg de elemento  $K_2O$  contenido en el nitrato de potasio (46%  $K_2O$ ). Se calculó en 1,96 US\$.

Costos adicionales como actividades culturales, fungicidas, aplicación de herbicidas, y costos operativos propios del cultivo, no fueron incluidos, dado que se asumió que estos items no alteran la dosis de  $K_2O$  aplicada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Dosis óptima de fertilización potásica (DOF).

Los diferentes niveles de fertilización potásica generaron efectos sobre las variables peso de racimo (PR), productividad (Pt) y ratio (Rt) (Tabla 3), de la misma manera, las relaciones entre estas variables y las dosis de  $K_2O$ , fueron explicadas mediante modelos cuadráticos de regresión polinomial (Tabla 4).

En el análisis individual en cada localidad, se puede observar que todas las variables analizadas alcanzaron su máximo nivel en la dosis de 700  $kg ha^{-1}$  de  $K_2O$  (T4); sin embargo, estos valores no difieren estadísticamente de los resultados obtenidos en la dosis 525  $kg ha^{-1}$  (T3) aunque, en ambos casos, si difieren de las dosis 0, 350 y 875  $kg ha^{-1}$  (T1, T2 y T5, respectivamente) (Tabla 2).

En este contexto, utilizamos Pt, como variable dependiente para realizar la regresión polinomial, misma que presentó un nivel máximo en la dosis de 584 y 575  $kg ha^{-1}$  de  $K_2O$ , para una producción de 47,5 y 45,0 t  $ha^{-1}$  de Pt en L1 y L2, respectivamente (Figs. 1 y 2). Almeida et al. (2006), mencionaron que el nivel de fertilización y máxima productividad de un modelo polinomial, debe ser analizado bajo un ajuste cuadrático. Sin embargo, en la comparación de medias (Tabla 3), como no hubo diferencia entre las dosis T3 y T4, se puede inferir que la dosis de 525  $kg ha^{-1}$  de  $K_2O$ , en forma de  $KNO_3$  es suficiente para llegar a un óptimo nivel de Pt en ambos estudios.

En el análisis conjunto de los dos experimentos (Tabla 3) observamos que hubo significancia estadística sobre la incidencia de las dosis crecientes de fertilización potásica (T) y las tres variables evaluadas; sin embargo, al no existir diferencias entre los dos experimentos (E) y la interacción entre ellos (T x E), se evidencia que los resultados no difieren estadísticamente uno del otro, lo que permite inferir que estos datos podrían ser usados como una dosis óptima de fertilización (DOF) recomendada para las condiciones edafoclimáticas en la que se desarrolló el experimento en Ecuador.

Los efectos de la aplicación de  $K_2O$  sobre Pt que fueron obtenidos en este trabajo, coinciden con la mayoría de los resultados presentes en la literatura. Según, López y Espinosa (2000) y Bhalerao et al. (2018), el suplemento mínimo de  $K_2O$ , en las condiciones clima-suelo de Ecuador, debería ser de al menos 500  $kg ha^{-1}$ . Sin embargo, existen argumentos de dosis utilizadas que llegan a los 1000  $kg ha^{-1}$  año  $K_2O$ , que indican que el cultivo es capaz de extraer grandes cantidades de este elemento, en distintas condiciones de

**Tabla 3. Peso del racimo, productividad y ratio, con dosis crecientes de fertilización potásica en La Primavera (L1) and El Guabo (L2), El Oro, Ecuador.**

**Table 3. Cluster weight, productivity and ratio, subjected to increasing doses of potassium fertilization in La Primavera (L1) and El Guabo (L2), El Oro, Ecuador.**

Fertilización kg ha <sup>-1</sup>	Peso racimo (kg)	Productividad (t ha <sup>-1</sup> )	Ratio (cajas racimo <sup>-1</sup> )
-----Localidad 1-----			
0	21,20 c	33,92 c	1,11 c
350	25,71 b	41,12 b	1,35 b
525	30,94 a	49,50 a	1,62 a
700	31,04 a	49,66 a	1,63 a
875	26,23 b	41,98 b	1,38 b
Test f (L1)			
Tratamientos	20,12**	20,06**	20,15**
CV%	7,59	7,60	7,58
-----Localidad 2-----			
0	23,61 b	37,78 b	1,24 b
350	25,79 ab	41,26 ab	1,36 ab
525	29,35 a	46,98 a	1,54 a
700	28,68 a	45,90 a	1,50 a
875	26,23ab	41,97 ab	1,38 ab
Test f (L2)			
Tratamientos	7,15**	7,16**	7,10**
CV%	7,27	7,27	7,28
Test f (conjunto)			
Tratamientos	12,3*	12,38*	12,29*
Experimentos	0,13 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
Interacción (Tx E)	2,10 <sup>ns</sup>	2,09 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>

L1 = Localidad "Primavera"; L2 = Localidad "El Guabo". Medias de la misma letra dentro la misma columna no difieren entre sí por el test de Tukey, a 5% de probabilidad.

**Tabla 4. Relación entre las dosis de K<sub>2</sub>O (Variable independiente) y peso racimo (PR), productividad (Pt) y ratio (Rt) (Variables dependientes) y los puntos de máximo desenvolvimiento.**

**Table 4. Relationship between the doses of K<sub>2</sub>O (independent variable) and cluster weight (PR), productivity (Pt) and ratio (Rt) (dependent variables) and the points of maximum development.**

Variabes	Ecuaciones	R <sup>2</sup>	X max	Y max
PR f(K) L1	$y = 20,6 + 0,0311x - 2,7 \times 10^{-5}x^2$	0,64**	584,2 kg ha <sup>-1</sup>	29,7 kg
PR f(K) L2	$y = 23,2 + 0,0173x - 2,8 \times 10^{-5}x^2$	0,44**	574,6 kg ha <sup>-1</sup>	28,2 kg
P f(K) L1	$y = 32940,3 + 49,8 - 0,0426x^2$	0,64**	584,3 kg ha <sup>-1</sup>	47478,8 kg ha <sup>-1</sup>
P f(K) L2	$y = 37166,1 + 27,7x - 0,0241x^2$	0,44**	574,6 kg ha <sup>-1</sup>	45132,4 kg ha <sup>-1</sup>
R f(K) L1	$y = 1,1 + 0,00163x - 1,39 \times 10^{-6}x^2$	0,64**	586,5 kg ha <sup>-1</sup>	1,6 caja racimo <sup>-1</sup>
R f(K) L2	$y = 1,217 + 0,000915x - 7,9 \times 10^{-6}x^2$	0,44**	579,1 kg ha <sup>-1</sup>	1,5 caja racimo <sup>-1</sup>

\*\* Significativo a 1% de probabilidad de test F. PR = Peso del racimo, P = productividad, R = ratio.

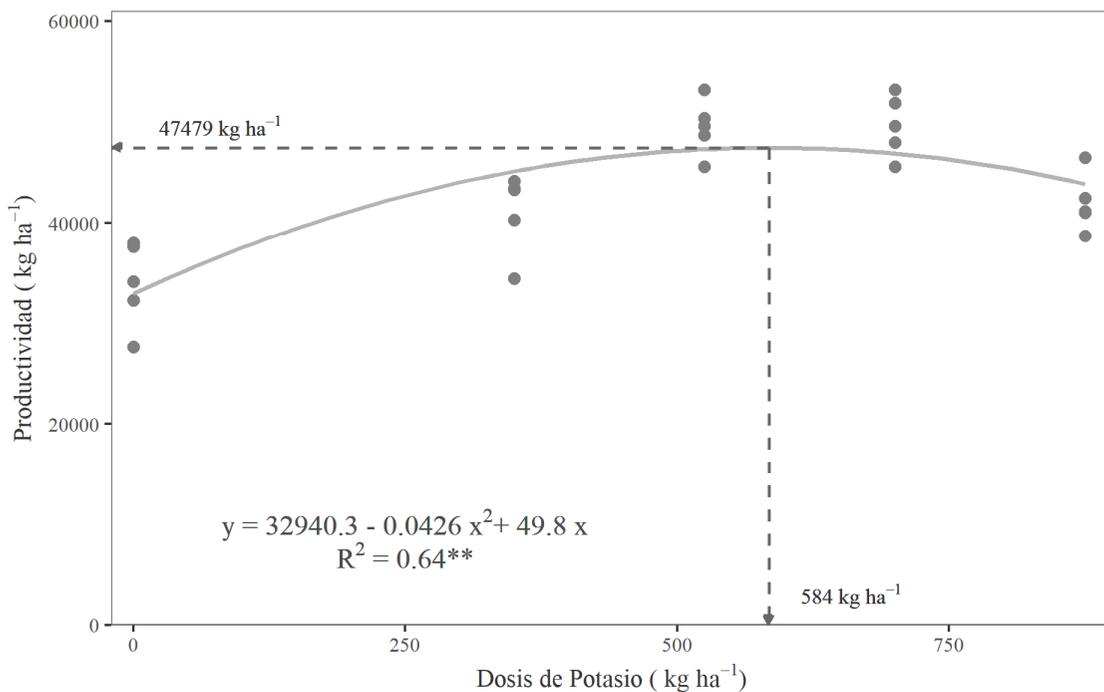


Fig. 1. Efectos de la aplicación dosis crecientes de potasio sobre el rendimiento (P) del cultivo de banano en La Primavera (L1).

Fig. 1. Effects of the increasing doses of potassium on banana crop yield (P) in La Primavera (L1).

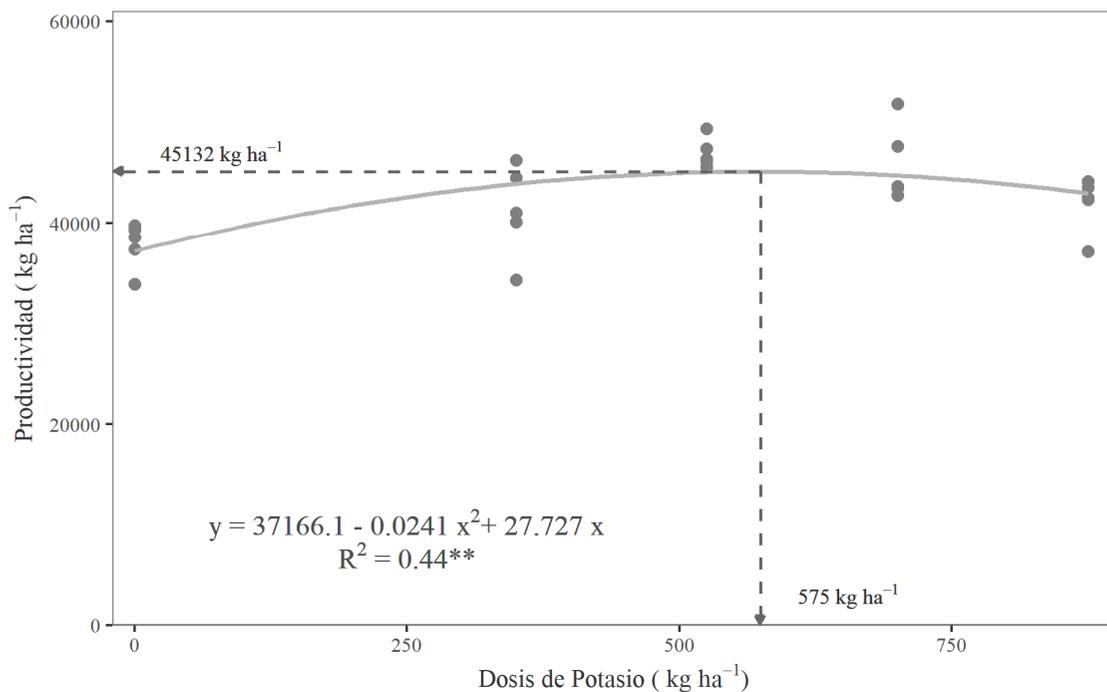


Fig. 2. Efectos de la aplicación de dosis crecientes de potasio sobre el rendimiento (P) del cultivo de banano en El Guabo (L2).

Fig. 2. Effects of the increasing doses of potassium on banana crop yield (P) in El Guabo (L2).

suelo y clima (Ganeshamurthy et al., 2011). En términos generales, el suministro deficiente de  $K_2O$  interviene en el detrimento de procesos de fisiológicos de translocación de fotosíntatos, por lo tanto, en el peso del fruto (Nyombi et al., 2010; Taulya, 2013).

**Dosis óptima económica (DOE).** Una ecuación cuadrática representó al modelo utilizado para describir la respuesta de Pt a dosis crecientes de fertilización con potasio (Tabla 4). Dosis superiores a 525 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> no fueron consideradas, dado que de acuerdo al modelo cuadrático, aplicaciones mayores a esta dosis no generan beneficios en rendimientos. De acuerdo a Aizpurúa et al. (2010), la DOE puede ser calculada con la siguiente ecuación:

**Para L1:**

$$Ingresos_{productividad} = b (DOF) - fK$$

$$Ingresos_{productividad} =$$

$$b (32940,32 + 49,77K - 0,0426K^2) - fK$$

$$DOE = \frac{49,77b - f}{0,0852b}, \quad si K_2O \leq 525 kg ha^{-1}$$

**Para L2:**

$$Ingresos_{productividad} = b (DOF) - fK$$

$$Ingresos_{productividad} =$$

$$b (37166,10 + 27,73K - 0,0241K^2) - fK$$

$$DOE = \frac{27,73b - f}{0,0482b}, \quad si K_2O \leq 525 kg ha^{-1}$$

Los resultados de la aplicación de la ecuación DOE de L1 y L2 se muestran en las Tablas 5 y 6, respectivamente; los resultados de una simulación aplicando las dos ecuaciones DOE generadas para cada localidad. Bajo la situación actual de mercado, con precios de 6,30 US\$ la caja de banano y 1,96 US\$ el kg de  $K_2O$ , la DOE de L1 es de 518 kg ha<sup>-1</sup> de elemento nutricional, generando un rendimiento aproximado de 44.365 kg ha<sup>-1</sup> y un ingreso de 15.362 \$ ha<sup>-1</sup>; mientras que la DOE de L2 es de 458 kg ha<sup>-1</sup> de elemento nutricional, con rendimiento de 42.225 kg ha<sup>-1</sup> y un ingreso de 14.621 US\$ ha<sup>-1</sup>.

En un escenario con variaciones del precio comercial de la caja de banano, por cada aumento de un dólar en el precio se obtendrán 2.485 US\$ ha<sup>-1</sup> de incremento promedio en los ingresos en

**Tabla 5. Simulación de ingresos máximos y tasa de aplicación de fertilizante potásico, dependiendo del precio oficial de comercialización de banano y el precio del fertilizante en la localidad Primavera (L1).**

**Table 5. Simulation of maximum income and application rate of potassium fertilizer, depending on the official marketing price of bananas and the price of fertilizer in La Primavera locality (L1).**

V PCb (US\$ caja <sup>-1</sup> )	DOF $K_2O$ (kg ha <sup>-1</sup> )	R ha <sup>-1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	I ha <sup>-1</sup> (US\$ ha <sup>-1</sup> )	V I (US\$ ha <sup>-1</sup> )	V DOF (kg ha <sup>-1</sup> )	V PCb (US\$ ha <sup>-1</sup> )	V ADOF (US\$ ha <sup>-1</sup> )
2,60	415,90	40.308,79	5.498,58	-2.445,22	-37,43	-2.327,66	-117,56
3,60	462,63	42.058,01	7.943,80	-2.465,09	-40,54	-2.327,66	-137,43
4,60	489,05	43.129,03	10.408,89	-2.474,32	-42,39	-2.327,66	-146,66
5,60	506,03	43.848,93	12.883,21	-2.479,35	-43,62	-2.327,66	-151,69
6,60	517,87	44.365,22	15.362,56	-	-	-	-
7,60	526,59	44.753,28	17.844,96	2.482,40	44,49	2.327,66	154,74
8,60	533,29	45.055,49	20.329,34	2.484,38	45,15	2.327,66	156,72
9,60	538,58	45.297,45	22.815,08	2.485,74	45,66	2.327,66	158,08
10,60	542,88	45.495,51	25.301,80	2.486,72	46,07	2.327,66	159,06

V PCb = Variación de precio de caja de banano; DOF  $K_2O$  = Dosis óptima fertilización; R = rendimiento; I = Ingresos; V I = Variación de los ingresos; V DOF = Variación de Dosis óptima fertilización; V PCb = Variación de los ingresos solo por efecto del precio de la caja (sin variación de  $K_2O$ ); V ADOF = Variación de los ingresos solo por efecto del ajuste en la dosis de  $K_2O$ .

**Tabla 6. Simulación de ingresos máximos y tasa de aplicación de fertilizante potásico, dependiendo del precio oficial de comercialización de banano y el precio del fertilizante en la localidad El Guabo (L2).****Table 6. Simulation of maximum income and application rate of potassium fertilizer, depending on the official marketing price of bananas and the price of fertilizer in El Guabo locality (L2).**

V PCb (US\$ caja <sup>-1</sup> )	DOF K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	R ha <sup>-1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	I ha <sup>-1</sup> (US\$ ha <sup>-1</sup> )	V I (US\$ ha <sup>-1</sup> )	V DOF (kg ha <sup>-1</sup> )	V PCb (US\$ ha <sup>-1</sup> )	V ADOF (US\$ ha <sup>-1</sup> )
2,60	277,89	39.027,16	5.323,75	-2.287,68	-15,39	-2.215,35	-72,32
3,60	360,51	40.298,26	7.611,42	-2.322,80	-18,50	-2.215,35	-107,45
4,60	407,20	41.162,23	9.934,22	-2.339,10	-20,35	-2.215,35	-123,75
5,60	437,22	41.773,14	12.273,33	-2.348,00	-21,58	-2.215,35	-132,65
6,60	458,15	42.224,62	14.621,33	-	-	-	-
7,60	473,56	42.570,78	16.974,71	2.353,38	22,45	2.215,35	138,03
8,60	485,39	42.844,21	19.331,60	2.356,89	23,11	2.215,35	141,54
9,60	494,76	43.065,47	21.690,90	2.359,30	23,62	2.215,35	143,95
10,60	502,36	43.248,08	24.051,92	2.361,03	24,03	2.215,35	145,67

V PCb = Variación de precio de caja de banano; DOF K<sub>2</sub>O = Dosis óptima fertilización; R = rendimiento; I = Ingresos; V I = Variación de los ingresos; V DOF = Variación de Dosis óptima fertilización; V PCb = Variación de los ingresos solo por efecto del precio de la caja (sin variación de K<sub>2</sub>O); V ADOF = Variación de los ingresos solo por efecto del ajuste en la dosis de K<sub>2</sub>O.

L1, y 2.357 US\$ ha<sup>-1</sup> en L2, siempre y cuando se considere el ajuste de la DOF de K<sub>2</sub>O recomendada para cada incremento del precio de la caja. De ese monto, 2.328 US\$ ha<sup>-1</sup> en L1 y 2.215 US\$ ha<sup>-1</sup> en L2, se obtendrán por efecto del dólar de incremento en el precio, y 157 US\$ ha<sup>-1</sup> en L1 y 142 US\$ ha<sup>-1</sup> en L2, serán por efecto del ajuste en la dosis de K<sub>2</sub>O.

En el caso que el precio de la caja de banano disminuya, por cada dólar los ingresos disminuirán en un promedio de 2.470 US\$ ha<sup>-1</sup> en L1, y 2.336 US\$ ha<sup>-1</sup> en L2 (asumiendo los ajustes de dosis de K<sub>2</sub>O). De ese monto, 2.328 US\$ ha<sup>-1</sup> en L1 y 2.215 US\$ ha<sup>-1</sup> en L2 serán por efecto del precio de la caja, y 142 US\$ ha<sup>-1</sup> en L1 y 121 US\$ ha<sup>-1</sup> en L2, serán por efecto de la dosis de K<sub>2</sub>O.

La literatura muestra resultados diversos en situaciones de análisis de DOE en función del elemento K. Por ejemplo, de Melo et al. (2010) obtuvieron un rendimiento económico de 28% con una reducción de 41% en sus costos de producción, con alrededor del doble de la dosis de K<sub>2</sub>O utilizada en este experimento bajo un sistema de fertirrigación. da Silva et al. (2011) determinaron una DOF de 800 kg ha<sup>-1</sup>, bajo condiciones de suelos degradados en Brasil. En términos generales, el cálculo de una DOE genera un instrumento sensible para la detección de variaciones que pueden ser generadas por los precios de un insumo fertilizante, o en su caso el precio de comercialización de un cultivo (Okech et al., 2004; Smithson et al., 2004). Criterio similar sostiene Aizpurúa et al. (2010), en cuanto al

análisis de sensibilidad de costos de fertilización, sin considerar otros rubros que inciden en la producción de un cultivo.

## CONCLUSIONES

La dosis óptima de fertilización (DOF) resultó para L1 en 584,3 kg ha<sup>-1</sup> y para L2 en 574,6 kg ha<sup>-1</sup>, para un Pt estimada de 47478,8 y 45132,4 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente para cada localidad. La dosis óptima económica (DOE) pudo detectar que el efecto de la disminución o aumento del precio de la caja de banano es el mismo (2.328 US\$ ha<sup>-1</sup> en L1 y 2.215 US\$ ha<sup>-1</sup> en L2); lo que indica que en ambas localidades el 94% del efecto en la variación de los ingresos económicos es causado por la variación del precio de la caja de banano, mientras que el efecto de la variación de la dosis de K<sub>2</sub>O sobre los ingresos es de aproximadamente 6%.

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por las empresas SQM Ecuador, Fitecua S.A. y Fertipalma S.A., a través de convenios institucionales de apoyo económico para investigación entre empresas privadas e instituciones de enseñanza pública superior.

## LITERATURA CITADA

- Aizpurúa, A., J.M. Estavillo, A. Castellón, A. Alonso, G. Besga, and O. Iragorri. 2010. Estimation of optimum nitrogen fertilizer rates in winter wheat in humid mediterranean conditions II: Economically optimal dose of nitrogen. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41(3):301-307. <https://doi.org/10.1080/00103620903460815>
- Almeida, E.V., W. Natale, R.D.M. Prado, e J.C. Barbosa. 2006. Adubação nitrogenada e potássica no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro. *Ciencia Rural* 36(4):1138–1142. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000400015>
- Alvarado, S., J.M. Córdova, F. López, F. Valverde, I. Moscoso, J. Nicolalde, et al. 2009. Metodologías de análisis físico-químico de suelos, tejido vegetal y aguas. 69 p. 4ta. ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Quito, Ecuador.
- Barbosa, J.C., e W. Maldonado. 2010. Software AgroEstat: Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônomicos. 280 p. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, Brasil.
- Bhalerao, V.P., A.N. Deshpande, and S.K. Bansal. 2018. Potassium dynamics in inceptisols as influenced by graded levels of potash for banana: I. Potassium fractions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 49(15):1886–1895. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1485929>
- da Silva, J., R.D. Pereira, I.P. Silva, e P.M. de Oliveira. 2011. Produção da bananeira ‘Prata anã’ (AAB) em função de diferentes doses e fontes de potássio. *Rev. Ceres, Viçosa* 58:817–822. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2011000600020>.
- de Melo, A., L. Sobral, P. Fernandes, M. Brito, e P. Viégas. 2010. Aspectos técnicos e econômicos da bananeira ‘Prata-Anã’ sob fertirrigação nos tabuleiros costeiros de Sergipe. *Ciênc. Agrotec., Lavras* 34:564–571. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000300006>
- FAO. 2018. Banana Statistical Compendium. Organización para la Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas (FAO) [online]. Disponible en <http://www.fao.org/3/ca5625en/CA5625EN.pdf> (Consulta 20 abril 2019).
- Fratoni, M.M.J., A. Moreira, L.A.C. Moraes, L.H.C. Almeida and J.C.R. Pereira. 2017. Effect of nitrogen and potassium fertilization on banana plants cultivated in the humid tropical Amazon. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 48(13):1511–1519. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1373791>
- Galán Saúco, V., J.C. Robinson, E. Tomer, and J. W. Daniells. 2012. Current situation and challenges of cultivating banana and other tropical fruits in the subtropics. *Acta Horticulturae* 928(c):19-30. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.928.1>
- Ganeshamurthy, A.N., G.C. Satisha, and P. Prakash. 2011. Potassium nutrition on yield and quality of fruit crops with special emphasis on banana and grapes. *Karnataka J. Agric. Sci.* 24(1):29–38.
- Ganry, J., E. Fouré, L. Lapeyre, and T. Lescot. 2012. An integrated approach to control the Black Leaf Streak Disease (BLSD) of bananas, while reducing fungicide use and environmental impact. *Fungicides for Plant and Animal Diseases* <https://doi.org/10.5772/29794>
- Hoffmann, R.B., F.H.T. de Oliveira, A.P. de Souza, H.R. Gheyi, e R.F. de Souza. 2010. Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. *Revista Brasileira de Fruticultura* 32(1):268–275. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000026>
- Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15(3):259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- López, A., and J. Espinosa. 2000. Manual on the Nutrition and Fertilization of Banana. 57 p. Potash & Phosphate Institute, Canada.
- Moreira, A., and N.K. Fageria. 2009. Yield, uptake, and retranslocation of nutrients in banana plants cultivated in upland soil of Central Amazonian. *Journal of Plant Nutrition* 32(3):443-457. <https://doi.org/10.1080/01904160802660750>
- Martinez, A., y D. Cayón S. 2011. Sistema de información científica dinámica del crecimiento y desarrollo del banano (Musa AAA Simmonds cvs. Gran Enano y Valery) Dynamics of growth and development of banana (Musa AAA Simmonds cvs. Gran Enano and Valery) emisión floral y durante el d. *Revista Facultad de Agronomía* 64(2):6055–6064.
- MCOMEX. 2017. Ministerio de Comercio Exterior e Inversiones de Ecuador. Informe sector bananero ecuatoriano. Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-esp%C3%B1ol-04dic17.pdf> (Consulta 19 agosto 2019).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2018. Acuerdo Ministerial No. 135. 5 de diciembre de 2018. Quito, Ecuador.

- Nyombi, K., P. van Asten, M. Corbeels, G. Taulya, P.A. Leffelaar, and K.E. Giller. 2010. Mineral fertilizer response and nutrient use efficiencies of East African highland banana (*Musa* spp., AAA-EAHB, cv. Kisansa). *Field Crops Research* 117(1):38–50. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.01.011>
- Nyombi, K. 2020. Diagnosis and management of nutrient constraints in bananas (*Musa* spp.). *Fruit Crops* (p. 651–659). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00044-7>
- Okech, S.H., C.S. Gold, and H. Ssali. 2004. Effects of potassium deficiency, drought and weevils on banana yield and economic performance in Mbarara, Uganda. *Uganda Journal of Agricultural Sciences* 9(1):511-519.
- Pourrut, P., G. Gómez, A. Bermeo, y A. Segovia, A. 1995. Factores condicionantes de los regímenes climáticos e hidrológicos. p. 7-12. In P. Pourrut (ed.). *El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía*. Corporacion Editora Nacional, Colegio de Geógrafos del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Sala, F., and M. Boldea. 2011. On the optimization of the doses of chemical fertilizers for crops. *AIP Conference Proceedings* 1389:1297–1300 <https://doi.org/10.1063/1.3637856>
- Smithson, P.C., B.D. McIntyre, C.S. Gold, H. Ssali, G. Night, and S. Okech. 2004. Potassium and magnesium fertilizers on banana in Uganda: Yields, weevil damage, foliar nutrient status and DRIS analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69(1):43–49. <https://doi.org/10.1023/B:FRES.0000025294.96933.78>
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. 11th. ed. USDA-NRCS, Washington DC, USA.
- Soto, M. 2015. *Bananos II: Tecnologías de producción*. 338 p. Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Taulya, G. 2013. East African highland bananas (*Musa* spp. AAA-EA) ‘worry’ more about potassium deficiency than drought stress. *Field Crops Research* 151:45-55. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.07.010>
- Teixeira, L.A.J., W.R. dos Santos, e O.C. Bataglia. 2002. Diagnose nutricional para nitrogênio e potássio em bananeira por meio do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) e de níveis críticos. *Revista Brasileira de Fruticultura* 24(2):530–535. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452002000200050>
- Villaseñor, D., J. Chabla, y E. Luna. 2015. Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de El Oro. *Revista Cumbres*. Universidad Técnica de Machala, Ecuador. 1:28–34. <http://investigacion.utmachala.edu.ec/cumbres/index.php/Cumbres/article/view/15>
- Wuyts, N., D. De Waele, and R. Swennen. 2006. Extraction and partial characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa acuminata* Grande naine) roots. *Plant Physiology and Biochemistry* 44:308–314. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2006.06.005>