

# NUTRICIÓN VEGETAL EXPORTACIÓN Y EFICIENCIA DEL USO DE NUTRIENTES EN PLÁTANO

*Nexar Vismar Cobeña-Loor  
José Antonio Espinosa-Marroquin  
Leonardo Enrique Avellán-Vásquez  
José Randy Cedeño-Zambrano  
Diego Alfonso Vaca-Sotelo  
Digna Margarita Chica-Chica  
Bosco Mauricio Rodríguez-Zambrano  
Ramón Horacio Zambrano-Aveiga  
Adriana Beatriz Sánchez-Urdaneta  
Francel Xavier López-Mejía*

*Editora  
Adriana Beatriz Sánchez-Urdaneta*



# **NUTRICIÓN VEGETAL EXPORTACIÓN Y EFICIENCIA DEL USO DE NUTRIENTES EN PLÁTANO**

*Nexar Vismar Cobeña-Loor  
José Antonio Espinosa-Marroquin  
Leonardo Enrique Avellán-Vásquez  
José Randy Cedeño-Zambrano  
Diego Alfonso Vaca-Sotelo  
Digna Margarita Chica-Chica  
Bosco Mauricio Rodríguez-Zambrano  
Ramón Horacio Zambrano-Aveiga  
Adriana Beatriz Sánchez-Urdaneta  
Francel Xavier López-Mejía*

*Editora  
Adriana Beatriz Sánchez-Urdaneta*



**Editorial Área de Innovación y Desarrollo,S.L.**

Quedan todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, distribuida, comunicada públicamente o utilizada, total o parcialmente, sin previa autorización.

© del texto: **los autores**

ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.

C/Alzamora, 17- 03802- ALCOY (ALICANTE) [info@3ciencias.com](mailto:info@3ciencias.com)

Primera edición: **marzo 2020**

ISBN: **978-84-121167-7-9**

DOI: <http://doi.org/10.17993/IngyTec.2020.60>

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORES .....	9
AGRADECIMIENTO.....	11
RESUMEN .....	13
PALABRAS CLAVE.....	14
ABSTRACT .....	15
KEYWORDS.....	16
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.1. Plátano .....	17
1.1.1. <i>Taxonomía del plátano</i> .....	17
1.1.2. <i>Superficie sembrada y producción de plátano</i> .....	17
1.1.3. <i>Nutrición del plátano</i> .....	18
1.1.4. <i>Eficiencia en el uso de los nutrientes en plátano</i> .....	19
<b>CAPÍTULO II: MANEJO DE LA EFICIENCIA AGRONÓMICA EN PLÁTANO .....</b>	<b>23</b>
2.1. Ubicación de la investigación .....	23
2.2. Características agroecológicas .....	23
2.3. Material vegetal, fertilización y variables de estudio .....	24
<b>CAPÍTULO III: USO EFICIENTE DE LOS NUTRIENTES EN PLÁTANO.....</b>	<b>27</b>
3.1. Exportación de nutrientes.....	27
3.1.1. <i>Exportación de nitrógeno</i> .....	30
3.1.2. <i>Exportación de fósforo</i> .....	33
3.1.3. <i>Exportación de potasio</i> .....	35
3.1.4. <i>Exportación de calcio</i> .....	36
3.1.5. <i>Exportación de magnesio</i> .....	37
3.2. Eficiencia de los nutrientes.....	40
3.2.1. <i>Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN)</i> .....	42
3.2.2. <i>Eficiencia agronómica del potasio (EAK)</i> .....	46
3.3. Factor parcial de productividad (FPP).....	51
3.3.1. <i>Factor parcial de productividad del nitrógeno (FPP<sub>N</sub>)</i> . ....	51
3.3.2. <i>Factor parcial de productividad del potasio (FPP<sub>K</sub>)</i> .....	52
3.4. Balance parcial de nutrientes (BPN).....	56
<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Exportación de nitrógeno en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en dos provincias de Ecuador.....	31
<b>Figura 2.</b> Exportación de fósforo en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en dos provincias de Ecuador.....	34
<b>Figura 3.</b> Exportación de potasio en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en dos provincias de Ecuador.....	36
<b>Figura 4.</b> Exportación de calcio en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en dos provincias de Ecuador.....	38
<b>Figura 5.</b> Exportación de magnesio en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en dos provincias de Ecuador.....	39
<b>Figura 6.</b> Eficiencia agronómica del nitrógeno ( $EA_N$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE). La línea continua representa los valores esperados de rendimiento del fruto, la línea discontinua representa la $EA_N$ y los $\blacklozenge$ representan los valores observados de rendimiento del fruto. ....	44
<b>Figura 7.</b> Eficiencia agronómica del nitrógeno ( $EA_N$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. La línea continua representa los valores esperados de rendimiento del fruto, la línea discontinua representa la $EA_N$ y los $\blacklozenge$ representan los valores observados del rendimiento del fruto.....	44
<b>Figura 8.</b> Eficiencia agronómica del nitrógeno ( $EA_N$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE) y en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. La línea continua representa la $EA_N$ de la UTE, la línea discontinua representa la $EA_N$ de la ULEAM.....	45
<b>Figura 9.</b> Eficiencia agronómica del potasio ( $EA_K$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE). La línea continua representa los valores esperados de rendimiento del fruto, la línea discontinua representa la $EA_N$ y los $\blacklozenge$ representan los valores observados del rendimiento del fruto.....	47
<b>Figura 10.</b> Eficiencia agronómica del potasio ( $EA_K$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. La línea continua representa los valores esperados de rendimiento del fruto, la línea discontinua representa la $EA_N$ y los $\blacklozenge$ representan los valores observados del rendimiento del fruto.....	47
<b>Figura 11.</b> Eficiencia agronómica del potasio ( $EA_K$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE) y en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. La línea continua representa la $EA_K$ de la UTE, la línea discontinua representa la $EA_K$ de la ULEAM.....	48

<b>Figura 12.</b> Factor parcial de productividad del nitrógeno ( $FPP_N$ ) y su comparación con la eficiencia agronómica del nitrógeno ( $EA_N$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE). Las barras negras corresponden al $FPP_N$ y las barras blancas corresponden a la $EA_N$ .	53
<b>Figura 13.</b> Factor parcial de productividad del nitrógeno ( $FPP_N$ ) y su comparación con la eficiencia agronómica del nitrógeno ( $EA_N$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. Las barras negras corresponden al $FPP_N$ y las barras blancas corresponden a la $EA_N$ .	54
<b>Figura 14.</b> Factor parcial de productividad del nitrógeno ( $FPP_K$ ) y su comparación con la eficiencia agronómica del nitrógeno ( $EA_K$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE). Las barras negras corresponden al $FPP_K$ y las barras blancas corresponden a la $EA_K$ .	54
<b>Figura 15.</b> Factor parcial de productividad del nitrógeno ( $FPP_K$ ) y su comparación con la eficiencia agronómica del nitrógeno ( $EA_K$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. Las barras negras corresponden al $FPP_K$ y las barras blancas corresponden a la $EA_K$ .	55
<b>Figura 16.</b> Balance parcial de nutrientes para nitrógeno y potasio ( $BPN_N$ y $BPN_K$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes dosis de nitrógeno en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE) y en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. Las círculos (●) corresponden al $BPN_N$ y los cuadrados (□) corresponden al $BPN_K$ .	58
<b>Figura 17.</b> Balance parcial de nutrientes para nitrógeno y potasio ( $BPN_N$ y $BPN_K$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes dosis de potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE) y en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. Las círculos (●) corresponden al $BPN_N$ y los cuadrados (□) corresponden al $BPN_K$ .	59

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características agroecológicas de las áreas de estudio en la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo de Los Colorados y en la provincia de Manabí, cantón El Carmen.	23
<b>Tabla 2.</b> Rendimiento (kg de biomasa seca (BS)·ha <sup>-1</sup> ), dosis de N-K <sub>2</sub> O, concentración de nutrientes (%) y cantidad de nutrientes exportados (kg·ha <sup>-1</sup> ) al fruto de plátano ‘Barraganete’ en dos localidades (Santo Domingo, UTE y El Carmen, ULEAM).	29
<b>Tabla 3.</b> Rendimiento (kg de biomasa fresca del fruto (BFF)·ha <sup>-1</sup> ), dosis de N-K <sub>2</sub> O, eficiencia agronómica (EA), factor parcial de productividad (FPP) y balance parcial de nutrientes (BPN) del fruto de plátano ‘Barraganete’ en dos localidades (Santo Domingo, UTE y El Carmen, ULEAM).	43



## AUTORES

### **Nexar Vismar Cobeña-Loor**

[nexarcobelo@gmail.com](mailto:nexarcobelo@gmail.com)

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Extensión en El Carmen. Manabí, Ecuador.

### **José Antonio Espinosa-Marroquin**

Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

Universidad Central de Ecuador, Ecuador.

### **Leonardo Enrique Avellán-Vásquez**

[leoavellan@hotmail.com](mailto:leoavellan@hotmail.com)

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Extensión en El Carmen. Manabí, Ecuador.

### **José Randy Cedeño-Zambrano**

[randyceza@gmail.com](mailto:randyceza@gmail.com)

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Extensión en El Carmen. Manabí, Ecuador.

### **Diego Alfonso Vaca-Sotelo**

[diegoalf13@gmail.com](mailto:diegoalf13@gmail.com)

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Extensión en El Carmen. Manabí, Ecuador.

### **Digna Margarita Chica-Chica**

Ingeniero Agropecuario Independiente. Ecuador.

### **Bosco Mauricio Rodríguez-Zambrano**

Ingeniero Agropecuario Independiente. Ecuador.

### **Ramón Horacio Zambrano-Aveiga**

[ramonhoracio@hotmail.com](mailto:ramonhoracio@hotmail.com)

Estudiante de Doctorado. Universidad de Córdoba. España.

### **Adriana Beatriz Sánchez-Urdaneta**

[usanchez@fa.luz.edu.ve](mailto:usanchez@fa.luz.edu.ve)

Departamento de Botánica, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí. Manabí, Ecuador.

### **Francel Xavier López-Mejía**

[francel.lopez@uleam.edu.ec](mailto:francel.lopez@uleam.edu.ec); [xlopez@ute.edu.ec](mailto:xlopez@ute.edu.ec)

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión en El Carmen. Manabí, Ecuador.

Universidad UTE, Extensión Santo Domingo, Carrera de Ingeniería Ambiental. Ecuador.



## **AGRADECIMIENTO**

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE) por el financiamiento de esta investigación a través del proyecto: Nutrición del cultivo de plátano 'Barraganete' con el uso de microorganismos eficientes autóctonos como agentes quelantes y potenciadores de los fertilizantes en las zonas de Santo Domingo y El Carmen.



## RESUMEN

Se realizó un experimento en dos provincias de Ecuador, en la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE, Campus Santo Domingo; Santo Domingo de los Tsáchilas) y la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM, Extensión en El Carmen, Manabí), para evaluar la exportación y eficiencia en el uso de nutrientes en plátano 'Barraganete' (*Musa paradisiaca* L.). Se utilizaron cuatro niveles de fertilización con N y K<sub>2</sub>O (0-200, 80-200, 120-200, 160-200, 120-0, 120-150 y 120-250 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O, respectivamente), sobre 2.500 plantas·ha<sup>-1</sup> (distanciamiento 2 m x 2 m). Las variables evaluadas fueron concentración de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg), exportación de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg), eficiencia agronómica (EA), factor parcial de productividad (FPP), balance parcial de nutrientes (BPN) del N y K. La exportación de nutrientes para todos los elementos fue en general mayor con las dosis de 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O, a excepción en la exportación del P que fue mayor con la dosis 120-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O; la UTE fue la localidad que presentó la mayor exportación de nutrientes. La EA<sub>N</sub> y EA<sub>K</sub> fue mayor con las dosis de 120-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O en la UTE (42,88 y 10,69 kg de fruto·kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O, respectivamente), mientras que en la ULEAM la mayor EA<sub>N</sub> se observó con la dosis 120-250 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O (43,65 kg de fruto·kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O) y la del EA<sub>K</sub> se presentó con la dosis 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O (16,22 kg de fruto·kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O), las dosis de K<sub>2</sub>O aplicadas mostraron una influencia positiva en la EA<sub>N</sub>, al ser superior que la EA<sub>K</sub> en las dos localidades de estudio, la ULEAM tuvo una mayor EA<sub>N</sub> y EA<sub>K</sub>. Con relación al FPP en las dos localidades de estudio el comportamiento fue inverso entre el FPP<sub>N</sub> y el FPP<sub>K</sub>; en la medida que incrementaron las dosis de N aplicadas y se mantuvo fija la dosis de K<sub>2</sub>O hubo disminución del FPP<sub>N</sub> (307,03 a 168,26 y 258,23 a 140,76 kg de fruto·kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O, respectivamente para la UTE y ULEAM); por el contrario, cuando se mantuvo fija la dosis de N y se incrementaron la dosis de K<sub>2</sub>O aplicadas, se observó un incremento del FPP<sub>N</sub> tanto en la UTE como en la ULEAM (221,06 a 233,33 y 162,67 a 190,52 kg de fruto·kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O, respectivamente). En el caso del FPP<sub>K</sub> el efecto fue contrario al presentado en el FPP<sub>N</sub>, esto es que en la medida que incrementaron las dosis de N aplicadas y se mantuvo fija la dosis de K<sub>2</sub>O hubo aumento del FPP<sub>K</sub> (117,60 a 143,33 y 88,13 a 112,94 kg de fruto·kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O, respectivamente para la UTE y ULEAM); a excepción de la dosis 160-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O que en ambas localidades generó un descenso del FPP<sub>K</sub> (134,60 y 112,60 kg de fruto·kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O para la UTE y ULEAM, respectivamente); por el contrario, cuando se mantuvo fija la dosis de N y se incrementaron la dosis de K<sub>2</sub>O aplicadas, se observó una disminución del FPP<sub>K</sub> tanto en la UTE como en la ULEAM (180,83 a 112 y 146,36 a 91,45 kg de fruto·kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O, respectivamente). El BPN<sub>N</sub> y el BPN<sub>K</sub>

tuvieron una tendencia similar al  $FPP_N$  y el  $FPP_K$ , solo que en el  $FPP_N$  con la dosis 120-250  $kg \cdot ha^{-1}$  de  $N-K_2O$  hubo disminución del  $BPN_N$  en ambas localidades, el N influyó en la exportación del K a través del fruto, con un mayor  $BPN_K$  a mayor dosis de N. Los nutrientes con mayor exportación por los frutos tanto en la UTE como en la ULEAM fueron K, Ca y N. LA  $EA_N$ , el  $FPP_N$  y  $BPN_N$  fue mayor en ambas localidades que los mismos índices relacionados al K.

## **PALABRAS CLAVE**

Exportación, Eficiencia en el uso de nutrientes, Fertilización, Nutrición vegetal.

## ABSTRACT

An experiment was conducted in two provinces of Ecuador, at the Equinoccial Technology University (UTE, Campus Santo Domingo; Santo Domingo de los Tsáchilas) and the Laica Eloy Alfaro University of Manabí (ULEAM, Campus El Carmen, Manabí), to evaluate the export and efficiency in the use of nutrients in banana 'Barraganete' (*Musa paradisiaca* L.). Four levels of fertilization were used with N and K<sub>2</sub>O (0-200, 80-200, 120-200, 160-200, 120-0, 120-150 and 120-250 kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O, respectively, about plants·ha<sup>-1</sup> (distance 2 m x 2 m).

The evaluated variables were nutrient concentration (N, P, K, Ca and Mg), nutrient export (N, P, K, Ca and Mg), agronomic efficiency (AE), partial productivity factor (PPF), and partial nutrient balance (PNB) of N and K. The export of nutrients for all elements was generally higher with the doses of 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O, except for the export of P which was higher at the dose 120-200 kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O; being UTE the location with the highest export of nutrients. AE<sub>N</sub> and AE<sub>K</sub> were higher with the doses of 120-200 kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O in the UTE (42.88 and 10.69 kg of fruit·kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O, respectively), while in ULEAM the highest AE<sub>N</sub> was observed with the dose 120-250 kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O (43.65 kg of fruit·kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O) and the AE<sub>K</sub> dose was presented at the dose 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O (16,22 kg de fruit·kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O), the K<sub>2</sub>O doses applied showed a positive influence on the AE<sub>N'</sub>, being higher than the AE<sub>K</sub> in the two study locations, ULEAM had a higher AE<sub>N</sub> and AE<sub>K</sub>. With regard to the PPF in the two locations, the behavior was reversed between the PPF<sub>N</sub> and the PPF<sub>K'</sub>; as the N-dose doses applied increased and the K<sub>2</sub>O dose of PPF<sub>N</sub> was kept fixed (307.03 to 168.26 and 258.23 to 140.76 kg of fruit·kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O, respectively for UTE and ULEAM); on the contrary, when the N dose was kept fixed, and the dose of K<sub>2</sub>O applied was increased, an increment in PPF<sub>N</sub> was observed in both UTE and ULEAM (221.06 to 233.33 and 162.67 to 190.52 kg of fruit·kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O, respectively). In the case of PPF<sub>K'</sub> the effect was contrary to that presented in the PPF<sub>N'</sub>, i.e., as the applied N doses increased and the dose of K<sub>2</sub>O was kept fixed there was an increase in PPF<sub>K</sub> (117.60 to 143.33 and 88.13 to 112.94 kg of fruit·kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O, respectively for the UTE and ULEAM); with the exception of the 160-200 kg·ha<sup>-1</sup> dose of N-K<sub>2</sub>O which in both locations resulted in a decrease in PPF<sub>K</sub> (134.60 and 112.60 kg of N-K<sub>2</sub>O of fruit·kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O for UTE and ULEAM, respectively); on the other hand, when the N dose was kept fixed and the applied K<sub>2</sub>O dose was increased, a decrease in PPF<sub>K</sub> was observed in both UTE and ULEAM (180.83 to 112, and 146.36 to 91.45 kg of fruit·kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O, respectively). PNB<sub>N</sub> and PNB<sub>K</sub> had a similar trend to PPF<sub>N</sub> and PPF<sub>K'</sub>, only there was a decreased of PNB<sub>N</sub> in both locations in PPF<sub>N</sub> with the dose 120-

250 kg·ha<sup>-1</sup> of N-K<sub>2</sub>O, since N influenced the export of K through the fruit, with higher PNB<sub>K</sub> at a higher dose of N. The nutrients with the highest export by fruits in both UTE and ULEAM were K, Ca and N. AE<sub>N</sub>, PPF<sub>N</sub> and PNB<sub>N</sub> were higher in both locations than the same K.

## **KEYWORDS**

Export, Nutrient efficiency, Fertilization, Plant nutrition.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Para Ecuador el sector agropecuario es de vital importancia en el ámbito económico, social y productivo ya que su participación en el producto interno bruto (PIB) fue durante la última década del 8%, con un crecimiento interanual del 4% para el PIB agropecuario (Instituto Nacional de Estadística y Censos; INEC, 2015). Además de representar una fuente importante de empleo ya que, en el 2015 el sector primario (agricultura, ganadería, pesca y silvicultura), constituyó el 25% de la población económicamente activa.

## 1.1. Plátano

El plátano (*Musa x paradisiaca* AAB) es un componente de la alimentación básica de gran parte de la población de América tropical; en Ecuador, el cultivo de plátano es una de las principales actividades económicas, por requerir abundante mano de obra, particularmente en la producción de frutos para exportación (Tumbaco, Patiño, Tumbaco y Ulloa, 2015).

### 1.1.1. Taxonomía del plátano

En cuanto a su taxonomía existe una gran controversia, según Thompson (2011) los plátanos y bananos pertenecen al género *Musa*. Muchos autores usan la clasificación linneana, *Musa paradisiaca* o *M. x paradisiaca* y *M. sapientum*, además de muchas otras denominaciones. Sin embargo, Cheesman (1947-1949) señaló que la base de casi todos los cultivos de plátanos y bananos provienen de las especies *M. balbisiana* y *M. acuminata*. Simmonds y Shepherd (1955) y Stover y Simmonds (1987) confirmaron esto, e indicaron que muchas variedades comestibles se derivan de *M. acuminata*, algunas son diploides y otras son tetraploides, pero la mayoría son triploides. *Musa balbisiana* también ha contribuido al origen de los plátanos y bananos comestibles por hibridación con *M. acuminata*. Señalando que, en lugar del nombre de la especie, se use un genoma A o un genoma B que muestre el origen y la contribución de las dos especies. Entonces, una variedad triploide cuyo origen es *M. acuminata*, como, por ejemplo, Giant Cavendish y Gros Michel se denominarían *Musa* AAA. Cuando el triploide tiene un tercio de *M. bulbisiana* y dos tercios de *M. acuminata*, como en la mayoría de los materiales de plátano, se denominaría *Musa* AAB.

### 1.1.2. Superficie sembrada y producción de plátano

De acuerdo con el INEC (2015) se ha señalado a través de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC, 2015) que existen 123.355 ha sembradas

con plátano entre cultivos asociados y monocultivo, las mayores extensiones se encuentran en las provincias de Manabí con 52.619 ha y una producción de 327.637 Tm y de Santo Domingo de los Tsáchilas con 16.843 ha. En este sentido, la producción anual de este cultivo en Manabí representa el 48,50% con respecto a la producción nacional de este cultivo.

Melgar (2014) señaló que el crecimiento económico mundial, el surgimiento de la clase media en las naciones emergentes y la expansión de la población mundial, constituyen los principales responsables de la creciente presión colocada en la agricultura para lograr el incremento de la producción de productos agropecuarios. Por ello, según el indicado autor, la opción más viable de incrementar la productividad conlleva a elevar los rendimientos. Implicando este aumento de la productividad por unidad de área, una serie de innovaciones en toda la cadena agro productiva, incluyendo adicionar valor agregado a lo producido. La combinación de factores tales como generar programas de mejoramiento genético, mayor eficiencia en la nutrición y protección de cultivos, así como una mayor educación de los productores para la aplicación de las prácticas de manejo de los cultivos, son requeridos.

### ***1.1.3. Nutrición del plátano***

La producción rentable de plátano requiere de cantidades adecuadas de nutrientes que deben añadirse al suelo en forma de fertilizantes orgánicos e inorgánicos. Estos nutrientes ingresan en la planta y promueven el crecimiento vegetativo y la producción de frutos. Parte de los nutrientes acumulados por la planta en los diferentes tejidos durante el ciclo de crecimiento y producción se exportan (se extraen del campo) al momento de la cosecha (Ventimiglia *et al.*, 2001; Cruzate y Casas, 2009). La cantidad de estas extracciones dependen del cultivo, de la variedad, del manejo; además, de las condiciones edafoclimáticas (Quintero, 1995) y del rendimiento de la plantación (Cruzate y Casas, 2009). Las cantidades de nutrientes absorbidos por la planta, movilizados a los frutos y posteriormente exportados de la planta al momento de la cosecha permiten generar programas de fertilización bien definidos, acordes con la cantidad de nutrientes removidos del suelo y la planta (Bertsch, 2005).

Los programas de fertilización se deben planificar y manejar correctamente para no afectar la rentabilidad del cultivo por los incrementos de los costos de los fertilizantes y para reducir el impacto ambiental de su uso en las fuentes de aguas (Fixen, 2009); por tal razón, se debe mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes, condición que está relacionada con la capacidad del cultivo para utilizarlos, el rendimiento del cultivo y la recuperación de nutrientes en el campo (Snyder, Bruulsema y Jensen, 2014).

En este orden de ideas, el suelo es la principal fuente de nutrientes para las plantas y su oferta se realiza a través de resultados de análisis químicos que estiman las formas “disponibles” o “extractables” de los nutrientes (Sims, 2000; Havlin *et al.*, 2005). El análisis de suelos es la herramienta más utilizada a nivel mundial para la identificación de deficiencias nutricionales que se presentan en los cultivos (Fixen, 2005; Conyers *et al.*, 2013; Fixen, 2016). Las cantidades de nutrientes que se extraen se refiere a una proporción del contenido total de nutrientes en el suelo, que generalmente no es igual a la cantidad de nutrientes absorbidos por los cultivos.

Podría sugerirse que el análisis de suelo es un “índice de disponibilidad” de nutrientes para un cultivo, que se relaciona con su producción de biomasa y/o rendimiento. Entre los objetivos principales del análisis de suelos con fines de diagnóstico están: 1) proveer la disponibilidad de nutrientes en el suelo, 2) predecir la probabilidad y/o magnitud de respuesta a la fertilización y 3) establecer la base para las recomendaciones de fertilización.

El aumento de la productividad debido a una nutrición eficiente, no solo dependerá de la cantidad de nutrientes necesarios para sostener un aumento potencial de la producción, sino de una mayor eficiencia y eficacia esperada en el uso de estos nutrientes; la que más allá de un cierto nivel de aplicación, tendría que tender a disminuir el aumento de la dosis del nutriente aplicado, mediante una mejora en la sincronización del suministro de los nutrientes, en dependencia con la fenología del cultivo, lo cual propiciaría la reducción de las pérdidas de estos nutrientes del suelo, así como los mecanismos de inmovilización de nutrientes dentro del suelo (Melgar, 2014).

#### *1.1.4. Eficiencia en el uso de los nutrientes en plátano*

Snyder y Bruulsema (2007) encontraron que se han publicado 18 formas de medir la eficiencia de uso de los nutrientes, entre las cuales se destacan las siguientes: la eficiencia agronómica (EA) definida como el incremento de los rendimientos por unidad de nutriente; el factor parcial de productividad (FPP) calculado mediante el rendimiento del cultivo por unidad de nutriente aplicado y el balance parcial de nutrientes (BPN) que es la diferencia entre el nutriente que se absorbe y se extrae del cultivo y se evalúa considerando la cantidad de nutriente concentrado en la parte cosechada del cultivo por unidad de nutriente aplicado.

Por otro lado, en el mercado existen productos que permiten mejorar la eficiencia de uso de N y P en fertilizantes nitrogenados y fosfatados. En el caso del N la eficiencia del uso se podría conseguir a través de la aplicación de fertilizantes estabilizados,

como la urea con inhibidores de ureasa o de la nitrificación. Con respecto al P, los fertilizantes fosfatados pueden mejorar la tasa de aprovechamiento con polímeros que mejoran la protección y liberación de nutrientes. No obstante, la utilización de estos productos a mayor escala pasa por el hecho de que deben ser rentables; buscando, además, que esta tecnología permita una mayor eficiencia al expandir la agricultura hacia tierras de menor calidad, limitando el impacto de la deforestación, la erosión y otras formas de degradación ambiental (Melgar, 2014).

El sistema de producción de alimentos tiene un gran impacto en el ambiente. La producción ganadera en Europa, por ejemplo, es responsable de aproximadamente el 80% de la acidificación del suelo y la contaminación del aire (a través de la emisión principalmente de amoníaco y óxidos de nitrógeno) y del 73% de la contaminación del agua (a través de la lixiviación de nitratos o fosfatos; Leip *et al.*, 2015). Para reducir las emisiones al suelo, el aire y el agua, la Unión Europea creó la Comisión Europea de Emisiones para reducir los contaminantes del aire y la Dirección Europea de Nitratos para reducir las concentraciones de N y P en aguas subterráneas y superficiales (European Commission, 1991; European Environment Agency, 2017). En todo caso, para alcanzar los objetivos, los formuladores de políticas públicas y otros actores necesitan herramientas para monitorear el impacto ambiental de las prácticas agrícolas a nivel de las fincas (Van Leeuwen *et al.*, 2019).

La información sobre la eficiencia de uso de nutrientes en plátano es escasa, particularmente en las condiciones de cultivo de las zonas productoras de Ecuador (Vaca y Colvache, 2008; Patiño, 2015; Avellán *et al.*, 2015; Vivas *et al.*, 2018); por esta razón, la generación de datos que permitan conocer las cantidades de nutrientes que se exportan del campo y la eficiencia en el uso de los nutrientes por el cultivo, sirve para alcanzar rendimientos rentables además de controlar que no se produzcan aplicaciones excesivas de fertilizantes a través del diseño de programas de fertilización efectivos y prácticos (Snyder *et al.*, 2007; Snyder *et al.*, 2011).

El equilibrio de nutrientes varía entre fincas debido a diferencias en las características del suelo (compactación del suelo o la profundidad y el contenido de materia orgánica del suelo en el horizonte A), las condiciones hidrológicas, los regímenes de pastoreo, las aplicaciones de fertilizantes y el rendimiento de los cultivos (Van Es *et al.*, 2006; Oenema *et al.*, 2010). Por lo tanto, existe una discrepancia entre las necesidades de las políticas de los fabricantes y de los agricultores, sobre el uso y la escala espacial de las herramientas que se utilizan para cuantificar el impacto ambiental de las prácticas agrícolas (Van Leeuwen *et al.*, 2019).

De acuerdo con Cadahía (2005) para elaborar un programa de fertilización, este debe estar ajustado a las necesidades del cultivo con el que se esté trabajando; por lo que, hay que realizar una selección adecuada de los fertilizantes, las dosificaciones de acuerdo a las extracciones reales del cultivo, lo cual implica conocer el rendimiento promedio de varios ciclos o años de producción, el contenido de nutrientes en el suelo y la época de aplicación de acuerdo al estado fenológico del cultivo y la condición hídrica del suelo.

Para adquirir más información al respecto se evaluó la exportación y eficiencia del uso de nutrientes en plátano 'Barraganete' (*Musa x paradisiaca* L.) en condiciones de manejo tradicional en dos provincias de Ecuador (Santo Domingo de los Tsáchilas y Manabí).



# CAPÍTULO II: MANEJO DE LA EFICIENCIA AGRONÓMICA EN PLÁTANO

## 2.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en dos localidades, en el Campo Experimental de la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE), campus Santo Domingo, ubicada en el km 2 de la vía Santo Domingo-Chone y en la Granja Experimental Río Suma, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen, ubicada en el km 25 de la vía Santo Domingo-Chone, Ecuador. Ubicada esta última a 0° 15' S, 79° 26' O, 260 m de altitud, en clima trópico húmedo.

## 2.2. Características agroecológicas

Las características agroecológicas de las localidades estudiadas se presentan en la Tabla 1.

De acuerdo con el análisis de suelo, el lote experimental de la ULEAM presentó un contenido de MO medio (4,48 %), C.E. no salino (0,08 ds·m<sup>-1</sup>), pH medianamente ácido (5,77). Niveles bajos de NH<sub>4</sub> (11,61 ppm), P (4,56 ppm), S (2,14 ppm), Mg (0,90 meq 100 g<sup>-1</sup>), sumatoria de bases (8,40 meq 100 g<sup>-1</sup>), Mn (9,70 ppm), y relación Mg/K (1,80), Ca+Mg/K (15,80). Niveles altos de K (0,50 meq 100 g<sup>-1</sup>), Ca (7,00 meq 100 g<sup>-1</sup>), Cu (5,80 ppm), Fe (123,1 ppm), Zn (23,20 ppm) y relación Ca/Mg (7,78). La textura es franco arenosa (62% de arena, 20% de limo y 10% de arcilla; Avellán *et al.*, 2019, aceptado para publicación).

**Tabla 1.** Características agroecológicas de las áreas de estudio en la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo de Los Colorados y en la provincia de Manabí, cantón El Carmen.

Características	UTE	ULEAM
Clima	Trópico húmedo	Trópico húmedo
Temperatura (°C)	24	24
Humedad relativa (%)	87	86
Heliofanía (horas luz·año <sup>-1</sup> )	761,2	1.026,2
Precipitación media anual (mm·año <sup>-1</sup> )	3.338,0	2.806,0
Altitud (msnm)	295	249

UTE = Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo;  
ULEAM = Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión en El Carmen.  
Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2017).

### 2.3. Material vegetal, fertilización y variables de estudio

Para el experimento se utilizaron plantas de plátano 'Barraganete' procedentes de viveros certificados en ambas localidades (UTE y ULEAM) se sembraron a distanciamientos de 2 m x 2 m, con lo que se logró una población de 2.500 plantas·ha<sup>-1</sup>. Se diseñaron siete tratamientos con tres repeticiones con un total de 24 parcelas en cada localidad, bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Cada unidad experimental contó con 21 plantas, de las cuales se seleccionaron cinco para la evaluación de las variables en estudio. En cuanto a la fertilización se emplearon dosis establecidas para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (40 kg·ha<sup>-1</sup>) y MgO (70 kg·ha<sup>-1</sup>). El nitrógeno (N) y potasio (K) fueron dosificados en cuatro niveles cada uno; para N: 0, 80, 120 y 160 kg·ha<sup>-1</sup>, fertilizado con una dosis estándar de 200 kg·ha<sup>-1</sup> de potasio; y los niveles establecidos para K<sub>2</sub>O: 0, 150, 200 y 250 kg·ha<sup>-1</sup> con una dosis estándar de N de 120 kg·ha<sup>-1</sup>; en tres fracciones aplicadas a la formación de las hojas 5, 12 y 18, para evaluar la eficiencia de uso y extracción mediante la cosecha y análisis del fruto.

Como fuente de N se utilizó carbodiamida ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO), la fuente de potasio fue cloruro de potasio (KCl), de fósforo fue superfosfato triple Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> y para magnesio fue sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>).

Para determinar la exportación de nutrientes se tomaron muestras de frutos, 800 g aproximadamente, provenientes de los dos dedos centrales de la segunda mano y se envió al laboratorio, el resultado se expresó en porcentaje y para calcular la cantidad de nutriente exportado, se consideró el rendimiento del cultivo en kg·ha<sup>-1</sup> de biomasa seca por el porcentaje de nutrientes. Los nutrientes evaluados en la exportación fueron nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), los promedios se compararon mediante la prueba de medias de Tukey con el 5% de significancia.

Para la eficiencia agronómica (EA) se emplearon los rendimientos de las parcelas en kg·ha<sup>-1</sup> y las dosis evaluadas; se utilizó la fórmula: rendimiento de la parcela fertilizada (kg·ha<sup>-1</sup>)- rendimiento de la parcela sin fertilizar (kg·ha<sup>-1</sup>)/dosis de nutriente (kg·ha<sup>-1</sup>) (EA= R<sub>N</sub>-R<sub>0</sub>/D). Para el factor parcial de producción (FPP; Bruulsema *et al.*, 2008) se utilizó la ecuación rendimiento del cultivo (kg·ha<sup>-1</sup>)/dosis de nutriente (kg·ha<sup>-1</sup>) (FPP= R<sub>N</sub>/D) y para el balance parcial de nutrientes (BPN; Ciampitti y García, 2008) se aplicó la fórmula exportación de nutrientes en el fruto (kg·ha<sup>-1</sup>)/dosis de nutriente (kg·ha<sup>-1</sup>) (BNP= C<sub>N</sub>/D<sub>N</sub>). Los resultados se expresaron a través de regresiones y

líneas de tendencias que permitieron ver la exportación y eficiencia con base en el comportamiento del cultivo a dosis diferentes de N y  $K_2O$ .

El ensayo en campo estuvo manejado para ambas localidades de la misma manera, con las fertilizaciones, controles de malezas, manejo fitosanitario, labores culturales y enfundes para evitar variaciones en los resultados.



# CAPÍTULO III: USO EFICIENTE DE LOS NUTRIENTES EN PLÁTANO

## 3.1. Exportación de nutrientes

El reino vegetal presenta una gran diversidad de especies, cada una de las cuales se ha adaptado a entornos muy diferentes y condiciones locales variables, incluidos los cambios bióticos y abióticos estacionales. La disponibilidad de nutrientes del suelo difiere del tipo de suelo y también depende de la solubilidad de los nutrientes. Las condiciones óptimas de crecimiento solo se cumplen bajo condiciones controladas, como en invernaderos. Mientras tanto, en la naturaleza, las plantas generalmente muestran un crecimiento reducido debido a factores limitantes, entre ellos la deficiencia de nutrientes (Weissert y Kehr, 2017).

Para realizar un diagnóstico de la fertilidad de los cultivos se hace necesario conocer los niveles de absorción y extracción que tienen lugar en el órgano destinado a la cosecha. La absorción corresponde a la cantidad total de nutrientes movilizados al interior de la planta durante su ciclo de desarrollo y la extracción a la cantidad total de nutrientes que se encuentran en los órganos cosechados (fruto, grano, forraje, entre otros).

Al realizar recomendaciones de fertilización bajo el criterio de la reposición, conocer la diferencia entre lo que se absorbe y se extrae por parte de las plantas se hace necesario. La reposición utilizando la absorción del cultivo implica la colocación de todos los nutrientes que fueron utilizados por el cultivo y que se encuentran presentes en todos sus tejidos y órganos, sean estos cosechables o no. No obstante, fertilizar bajo el criterio de extracción por los cultivos, busca reponer los nutrientes que fueron absorbidos, movilizados y depositados en tejidos y órganos que se consumen y que; por lo tanto, no son recuperados debido a que no ingresan nuevamente al suelo. Los requerimientos de absorción y extracción se expresan en términos de kg de nutrientes por tonelada de grano u órgano consumible, con base a la biomasa seca.

En la concentración de nutrientes en el fruto de plátano 'Barraganete' (Tabla 2), se distinguió que en general, en la UTE se presentaron en promedio los mayores valores de concentración de los nutrientes (0,60% de N; 0,12% de P; 1,40% de K; 0,62% de Ca y 0,11% de Mg), mientras que en la ULEAM estas concentraciones fueron menores a excepción del K y Ca, que fueron mayores en esta localidad (0,57% de N, 0,10% de P; 1,60% de K; 0,63% de Ca y 0,10% de Mg). En este sentido, Furcal y Barquero (2014) en un ensayo de un ciclo de producción, donde probaron fertilización con N

y  $K_2O$ , determinaron que estos dos elementos fueron los que presentaron mayor concentración en el fruto de plátano, inclusive mayor que en la parte vegetativa, mientras que la concentración de P y Mg fue menor en comparación con el K, N y Ca.

Hubo diferencias estadísticas para los efectos simples de las dosis de N- $K_2O$  aplicadas y en cada localidad respectivamente, para la exportación de N ( $P < 0,0169$ ;  $P < 0,0001$ ), P ( $P < 0,0001$ ;  $P < 0,0001$ ), K ( $P < 0,0026$ ;  $P < 0,0001$ ), Ca ( $P < 0,0001$ ;  $P < 0,0001$ ) y Mg ( $P < 0,0178$ ;  $P < 0,0001$ ).

El K presentó mayor exportación, seguido del Ca y el N con valores promedio de 93,11; 39,48 y 36,86  $kg \cdot ha^{-1}$  exportados, respectivamente. La exportación de nutrientes ( $kg \cdot ha^{-1}$ ) de todos los elementos fue mayor en la UTE en comparación con la ULEAM (Tabla 2); esto se debió quizás, al rendimiento en la producción de frutos que fue mayor en la UTE (26.474,80  $kg \cdot ha^{-1}$ ); por consiguiente, la cantidad de biomasa seca también fue mayor (7.262,45  $kg \cdot ha^{-1}$ ; Tabla 2); al respecto, Ventimiglia *et al.* (2003) expresaron que a mayor rendimiento, mayor fue la exportación de nutrientes.

Las musáceas en general (plátanos y bananos) absorben grandes cantidades de nutrimentos por hectárea, comparado con cualquier otro cultivo comercial importante en el mundo, por tal razón, los elementos minerales deben ser repuestos, mediante la elaboración de un programa de fertilización, para mantener un alto nivel de producción. Para desarrollar este plan de fertilización, es completamente necesario realizar previamente un análisis químico de suelos, para evaluar el estado de la fertilidad del suelo y diseñar estrategias para el manejo eficiente de fertilizantes y enmiendas (Espinosa y López, 1995).

**Tabla 2.** Rendimiento (kg de biomasa seca (BS)·ha<sup>-1</sup>), dosis de N-K<sub>2</sub>O, concentración de nutrientes (%) y cantidad de nutrientes exportados (kg·ha<sup>-1</sup>) al fruto de plátano ‘Barraganete’ en dos localidades (Santo Domingo, UTE y El Carmen, ULEAM).

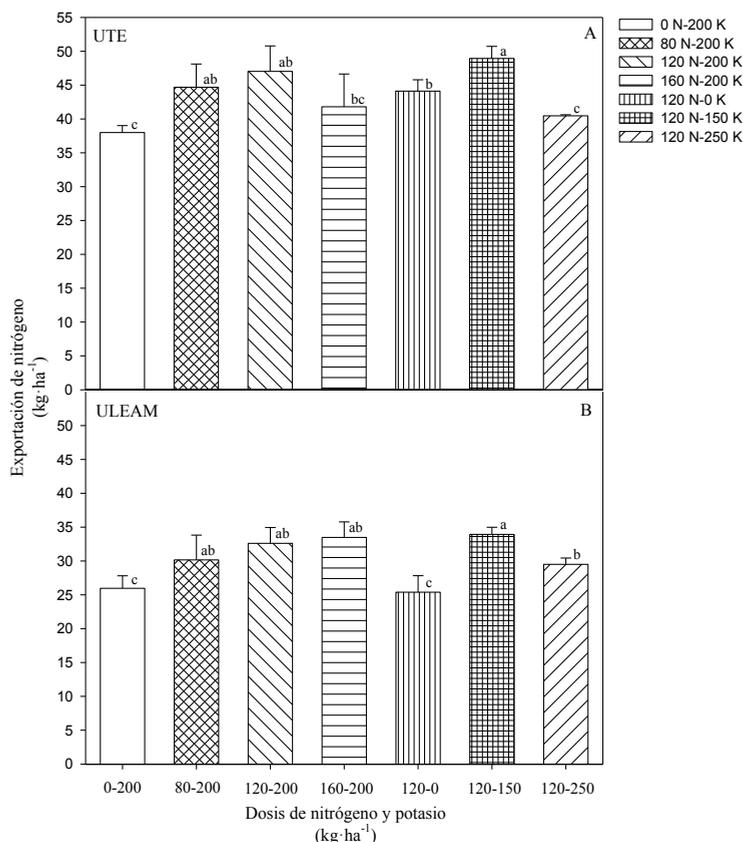
Localidad	Dosis (kg·ha <sup>-1</sup> )		Rendimiento (kg BS·ha <sup>-1</sup> )	Concentración de nutrientes (%)					Cantidad de nutrientes exportados (kg·ha <sup>-1</sup> )				
	N	K <sub>2</sub> O		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
UTE	0	200	6.333,43 <sup>d</sup>	0,60	0,14	1,46	0,58	0,11	38,00 <sup>c</sup>	8,87 <sup>b</sup>	92,47 <sup>c</sup>	36,73 <sup>d</sup>	6,97 <sup>c</sup>
	80	200	7.448,09 <sup>ab</sup>	0,60	0,12	1,42	0,59	0,11	44,69 <sup>ab</sup>	8,94 <sup>ab</sup>	105,76 <sup>b</sup>	43,94 <sup>b</sup>	8,19 <sup>b</sup>
	120	200	7.837,85 <sup>ab</sup>	0,60	0,13	1,46	0,59	0,11	47,03 <sup>ab</sup>	10,19 <sup>a</sup>	114,43 <sup>ab</sup>	46,24 <sup>b</sup>	8,62 <sup>ab</sup>
	160	200	6.966,61 <sup>ab</sup>	0,60	0,11	1,23	0,60	0,10	41,80 <sup>bc</sup>	7,66 <sup>cd</sup>	85,69 <sup>c</sup>	41,80 <sup>bc</sup>	6,97 <sup>c</sup>
	120	0	7.351,80 <sup>b</sup>	0,60	0,11	1,45	0,61	0,12	44,11 <sup>b</sup>	8,09 <sup>c</sup>	106,60 <sup>b</sup>	44,85 <sup>b</sup>	8,82 <sup>a</sup>
	120	150	8.156,40 <sup>a</sup>	0,60	0,12	1,47	0,81	0,11	48,94 <sup>a</sup>	9,79 <sup>ab</sup>	119,90 <sup>a</sup>	66,07 <sup>a</sup>	8,97 <sup>a</sup>
	120	250	6.742,96 <sup>c</sup>	0,60	0,11	1,34	0,59	0,10	40,46 <sup>c</sup>	7,42 <sup>d</sup>	90,36 <sup>c</sup>	39,78 <sup>c</sup>	6,74 <sup>c</sup>
ULEAM	0	200	4.327,99 <sup>b</sup>	0,60	0,10	1,75	0,62	0,11	25,97 <sup>c</sup>	4,33 <sup>bc</sup>	75,74 <sup>b</sup>	26,83 <sup>c</sup>	4,76 <sup>c</sup>
	80	200	5.026,20 <sup>b</sup>	0,60	0,11	1,69	0,63	0,10	30,16 <sup>ab</sup>	5,53 <sup>b</sup>	84,94 <sup>ab</sup>	31,67 <sup>bc</sup>	5,03 <sup>bc</sup>
	120	200	5.433,25 <sup>ab</sup>	0,60	0,13	1,63	0,62	0,10	32,60 <sup>ab</sup>	7,06 <sup>a</sup>	88,56 <sup>a</sup>	33,69 <sup>b</sup>	5,43 <sup>bc</sup>
	160	200	5.578,60 <sup>ab</sup>	0,60	0,10	1,37	0,57	0,10	33,47 <sup>ab</sup>	5,58 <sup>b</sup>	76,43 <sup>b</sup>	31,80 <sup>b</sup>	5,58 <sup>b</sup>
	120	0	5.076,31 <sup>b</sup>	0,50	0,09	1,48	0,60	0,09	25,38 <sup>c</sup>	4,57 <sup>bc</sup>	75,13 <sup>b</sup>	30,46 <sup>bc</sup>	4,57 <sup>c</sup>
	120	150	5.653,57 <sup>ab</sup>	0,60	0,09	1,71	0,70	0,11	33,92 <sup>a</sup>	5,09 <sup>bc</sup>	96,68 <sup>a</sup>	44,10 <sup>a</sup>	6,22 <sup>a</sup>
	120	250	5.901,28 <sup>a</sup>	0,50	0,06	1,54	0,59	0,10	29,51 <sup>b</sup>	3,54 <sup>c</sup>	90,88 <sup>a</sup>	34,82 <sup>b</sup>	5,90 <sup>ab</sup>

UTE= Universidad Tecnológica Equinoccial. ULEAM= Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. N= nitrógeno, P= fósforo, K= potasio; Ca= calcio, Mg= magnesio.

### 3.1.1. Exportación de nitrógeno

Se encontraron diferencias estadísticas entre las diferentes dosis de fertilización con N-K<sub>2</sub>O aplicadas al cultivo de plátano 'Barraganete', conformándose tres grupos para cada localidad estudiada. Tanto en la UTE como en la ULEAM la dosis de 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O presentó diferencias estadísticas con las dosis de 120-0, 120-250 y 0-200. En la UTE la dosis de 120-0 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O fue diferente estadísticamente a las dosis de 120-250 y 0-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O, a su vez estas dos últimas dosis mencionadas fueron similares estadísticamente (Figura 1A). En el caso de la ULEAM la dosis de 120-250 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O fue estadísticamente diferente a las dosis de 0-200 y 120-0 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O, sin diferencias estadísticas entre estas dos últimas dosis (Figura 1B).

La mayor cantidad de nitrógeno exportado se presentó con la dosis de 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> de N- K<sub>2</sub>O, tanto en la UTE como en la ULEAM, con valores de 48,94 y 33,92 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Dado que los valores más bajos de exportación de N se presentaron con las dosis de 0-200, 160-200, 120-0 y 120-250 kg·ha<sup>-1</sup> de N y K<sub>2</sub>O, los resultados obtenidos sugirieron que la no aplicación de K y las combinaciones de dosis entre 200 y 250 kg·ha<sup>-1</sup>, podrían estar generando la disminución de la movilización del N en el interior de la planta; quizás por exceder las concentraciones de N y K en el suelo, con lo que las mayores dosis de K<sub>2</sub>O generaron menor exportación de N a los frutos; lo que determinó que a niveles más altos de K<sub>2</sub>O, la absorción de N disminuyó y por ende su utilización.



**Figura 1.** Exportación de nitrógeno en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en dos provincias de Ecuador.  
 A) Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE).  
 B) Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión en El Carmen.

Furcal-Beriguete y Barquero-Badilla (2014) han señalado que en trabajos de fertilización y nutrición en plátano hubo resultados variables, atribuidos a las condiciones ambientales y el material genético utilizado; en este sentido, Combatt *et al.* (2004) indicaron que en la búsqueda de altos rendimientos en plátano se hace conveniente considerar varias dosis de nutrimentos ya que los rendimientos dependieron de cada tipo de suelo. Espinosa y Belalcázar (1998) coincidieron con lo antes planteado, al encontrar respuestas al N, K y S; expresando, además, que la magnitud de las respuestas no fue uniforme en todos los suelos, sino que dependió del contenido de nutrientes en los mismos. En ese sentido, Muñoz (1995) explicó que la posibilidad de respuesta a la fertilización con N se produjo en suelos con menos de 5% de materia orgánica; mientras que, ante el hecho de encontrar un alto

consumo de K, en suelos con más de  $0,36 \text{ cmol}(+) \cdot \text{L}^{-1}$  de este elemento, la posibilidad de respuesta a la fertilización con K fue baja.

Avellán *et al.* (2015) en El Carmen, Manabí, Ecuador, evaluaron la absorción de nutrientes en diversos órganos de plantas de plátano y determinaron que entre el meso-endocarpio y el epicarpio extrajeron  $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de N, esta cantidad superior podría deberse a la forma de determinar la concentración, la producción de biomasa seca, la cual fue más elevada y la cantidad de nitrógeno aplicado que superó los  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Vázquez *et al.* (2005) mencionaron que el N cumple una función importante tanto en el crecimiento vegetativo como en el rendimiento.

Combatt *et al.* (2004) en Antioquia, Colombia, evaluaron el efecto de la interacción de N y K sobre variables de rendimiento en el cultivo de plátano Hartón (*Musa* AAB Simmonds) (biomasa del racimo, longitud y biomasa del dedo central de la primera mano) y establecieron el óptimo económico para los diferentes tratamientos con  $\text{K}_2\text{O}$  y N. Se utilizó como fuente de fertilizantes: urea (46% de N) y cloruro de potasio (60% de  $\text{K}_2\text{O}$ ). Al final del experimento concluyeron que cuando aplicaron  $200\text{-}200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de N y  $\text{K}_2\text{O}$  y  $200\text{-}600 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  los rendimientos oscilaron entre  $40$  y  $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  de frutos y donde además obtuvieron los mayores beneficios económicos.

Weissert y Kehr (2017) señalaron que el N, junto con P y K, son los macronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. La siembra de cultivos de alto rendimiento requiere la aplicación de fertilizantes nitrogenados, debido a que la disponibilidad de N es comúnmente un factor limitante para la agricultura intensiva. Como con el P, la eficiencia de uso de N es baja para la mayoría de los cultivos (25 a 50%). La aplicación de fertilizantes nitrogenados tiene repercusiones no solo en el ámbito económico, sino que también causan contaminación ambiental de las aguas subterráneas y cuerpos de agua abiertos.

La superficie de los suelos contiene aproximadamente 0,03-0,4% del N total, de los cuales aproximadamente el 95% es N orgánico. Las plantas contienen entre 1,5-8,0% de N total por biomasa seca, de los cuales el 16% se introduce como proteínas (Frink *et al.*, 1999). Weissert y Kehr (2017) indicaron que las concentraciones de N en el suelo fluctúan como nitratos, los cuales son propensos a la lixiviación y son consumidos por microorganismos del suelo. La adquisición de N, así como la de P, dependen tanto de la actividad de transportadores específicos como del tamaño general y la arquitectura del sistema de raíces de la planta. Señalaron, además, que la absorción de N y P dependen tanto de la actividad de transportadores específicos como del tamaño general y la arquitectura del sistema de raíces de la planta.

### 3.1.2. Exportación de fósforo

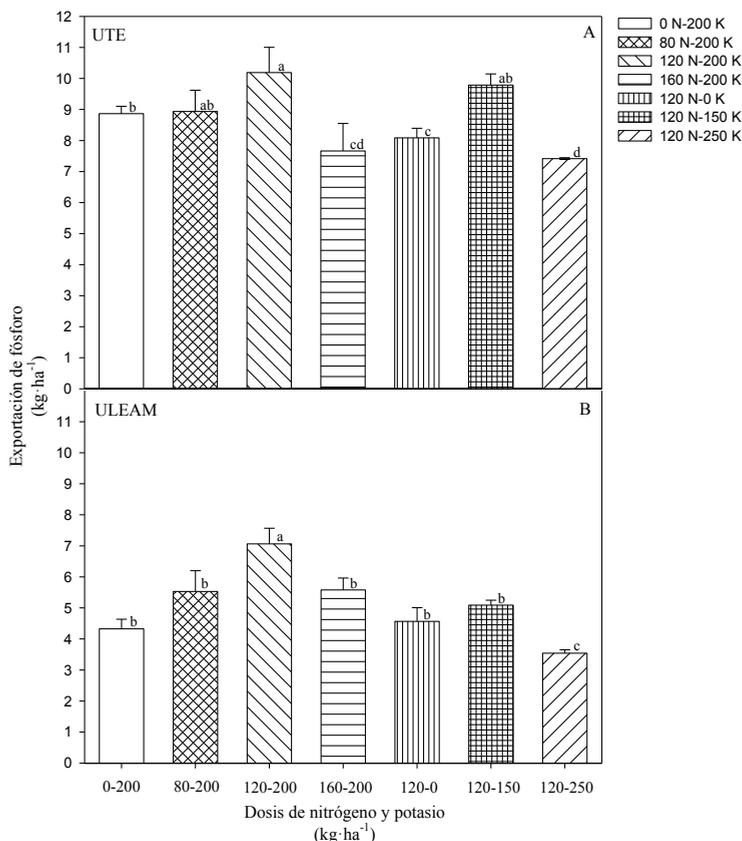
Hubo diferencias estadísticas por efecto de las dosis de N-K<sub>2</sub>O sobre la variable exportación de P en el fruto para ambas localidades (UTE; P<0,0253 y ULEAM; P<0,0010). En la UTE se conformaron cuatro grupos y en la ULEAM tres grupos (Tabla 2).

La absorción de fósforo fue mayor con las dosis de 120-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O en ambas localidades, en la UTE las exportaciones fueron mayores debido al rendimiento en fruto que se obtuvo en esa localidad; la cantidad de P en el fruto alcanzó 10,19 kg·ha<sup>-1</sup>, mientras que en la ULEAM llegó a 7,06 kg·ha<sup>-1</sup> de P.

Los niveles de fertilización de N-K<sub>2</sub>O presentaron similar comportamiento en la absorción de P por parte del fruto (Figura 2); en ambas localidades la exportación de P aumentó hasta llegar a la dosis de 120-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O; para las dosis de 160-200 y 120-250 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O la exportación de P disminuyó en ambos lugares, lo que permitió deducir que la mayor utilización de P por parte del fruto ocurrió con la dosis media de N-K<sub>2</sub>O en las dos localidades.

La exportación de P encontrada por Avellán *et al.* (2015) fue de 7,2 kg·ha<sup>-1</sup> en el fruto, similar a la obtenida en la ULEAM ya que esa investigación también fue realizada en El Carmen, Ecuador.

La eficiencia de uso de P por los cultivos suele ser relativamente baja (<15-20%) y se contrarresta mediante la aplicación de fertilizantes (Mitra, 2015). La fuente principal de este fosfato inorgánico (Pi) no renovable, es la roca mineralizada. Cuando la roca fosforada se aplica a los suelos, puede formar sales solubles que se mueven a la superficie de la raíz por difusión en lugar de flujo de masa (Hinsinger, 2001).



**Figura 2.** Exportación de fósforo en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en dos provincias de Ecuador.  
 A) Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE).  
 B) Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión en El Carmen.

Las plantas responden a la deficiencia de fosfato tanto a nivel morfológico como bioquímico. Las respuestas pueden ordenarse cronológicamente de la siguiente manera: 1) alteración de la arquitectura del sistema de raíces; 2) movilización y utilización de Pi; 3) transporte mejorado de Pi; y 4) cambios en el metabolismo de las plantas. Las plantas con déficit de Pi muestran un mayor desarrollo de la raíz primaria, una arquitectura radical alterada y una mayor producción y alargamiento de los pelos radicales (Fang *et al.*, 2009). Marschner (1995) y Bates y Lynch (1996) señalaron que el 80% de las especies de plantas estudiadas por ellos interactuaron simbióticamente con hongos para aumentar su captación de minerales.

### 3.1.3. Exportación de potasio

El K es el catión más abundante en las células vegetales y al igual que otros macronutrientes, es necesario para el crecimiento de las plantas (Taiz y Zeiger, 2012).  $K^+$  participa en los procesos metabólicos centrales, el crecimiento y la adaptación al estrés y comprende hasta el 10% de la biomasa seca total de la planta (Leigh y Wyn, 1984).  $K^+$  actúa como un activador enzimático, estabiliza la síntesis de proteínas, neutraliza las cargas negativas de proteínas y otros iones y participa en la osmorregulación, el movimiento del estoma y la homeostasis del pH citoplasmático (Clarkson y Hanson, 1980; Marschner, 2012; Shin, 2017).

En las dos localidades la mayor concentración de K se alcanzó con la dosis 120-150  $kg \cdot ha^{-1}$  de  $N-K_2O$  (Tabla 2); 119,9 y 96,68  $kg \cdot ha^{-1}$  de K exportados en la UTE y ULEAM, respectivamente. Avellán *et al.* (2015) reportaron que la concentración de K en el fruto alcanzó 135,6  $kg \cdot ha^{-1}$ , el cual fue superior al encontrado en esta investigación, siendo mayor 1,13 y 1,40 veces que en la UTE y la ULEAM, respectivamente.

Los resultados sugirieron la influencia de las dosis de N ya que se incrementó la absorción de potasio hasta los 120-200  $kg \cdot ha^{-1}$  de  $N-K_2O$ , cuando se mantuvo constante la dosis de K, este fue el punto más alto de exportación de K (Figura 3A y 3B). En ambas localidades, la exportación de este elemento disminuyó con la dosis de 160-200  $kg \cdot ha^{-1}$  de  $N-K_2O$ , mientras que, con la dosis 120-150  $kg \cdot ha^{-1}$  de  $N-K_2O$  el potasio tuvo una mayor exportación hacia el fruto. Es importante destacar que con las dosis de 160-200 y 120-250  $kg \cdot ha^{-1}$  de  $N-K_2O$  hubo una disminución de la exportación de K, esto indica que se debería precisar con mayor detalle las combinaciones de las dosis de  $N-K_2O$  (Figura 3A y 3B).

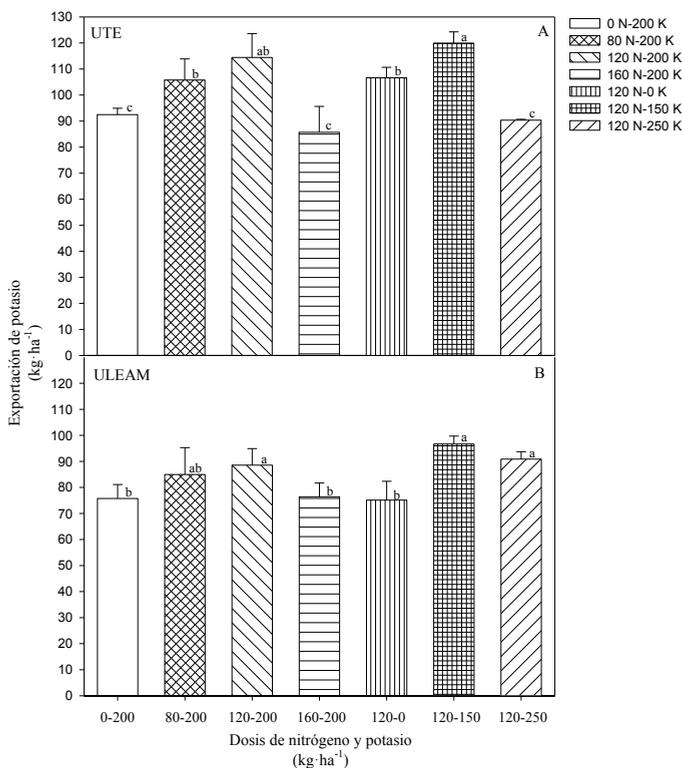
En un suelo inceptisol ligeramente ácido, no se encontraron diferencias estadísticas en el número de frutos, biomasa promedio del racimo (BPR) y biomasa promedio de los frutos, con la aplicación de dosis crecientes de N (100, 200 y 300  $kg \cdot ha^{-1}$ ) y de K (200, 300 y 400  $kg \cdot ha^{-1}$ ); la mayor biomasa del racimo (13,4 kg) se obtuvo con 200-400  $kg \cdot ha^{-1}$  de N-K, respectivamente (González *et al.*, 2006).

La extracción de K puede llegar a 1,03  $kg \cdot panta^{-1}$ ; no obstante, este elemento puede retornar al suelo entre el 85 al 90% de lo absorbido y almacenado en las raíces, cormo, pseudotallo y hojas (Furcal-Beriguete y Barquero-Badilla, 2014). Muñoz (1995) mencionó que, en plátano, el retorno de nutrimentos al suelo estuvo en el orden del 74 al 78%.

Halliday y Trenkel (1992) y López y Espinosa (1995) señalaron que el K es el nutriente más importante en la producción de bananos, alegando que esta quizás podría ser la razón del alto consumo y demanda de este fruto en el mundo.

### 3.1.4. Exportación de calcio

El Ca, junto el N y K fueron los elementos de mayor exportación en el cultivo de plátano; la dosis de 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O fue la que presentó la mayor exportación de Ca en el fruto en ambas localidades (Tabla 2), en la UTE la exportación de Ca hacia el fruto alcanzó 66,07 kg·ha<sup>-1</sup> y en la ULEAM 44,10 kg·ha<sup>-1</sup>, este comportamiento fue similar a la exportación de K el cual tuvo mayor presencia en el fruto con la dosis de 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O. La exportación de Ca en el fruto encontrada por Avellán *et al.* (2015) alcanzó 13,3 kg·ha<sup>-1</sup>, considerado bajo en comparación con los valores obtenidos en la UTE y la ULEAM; resultando 4,97 y 3,32 veces menor a los obtenidos en la presente investigación.



**Figura 3.** Exportación de potasio en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en dos provincias de Ecuador.  
 A) Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE).  
 B) Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión en El Carmen.

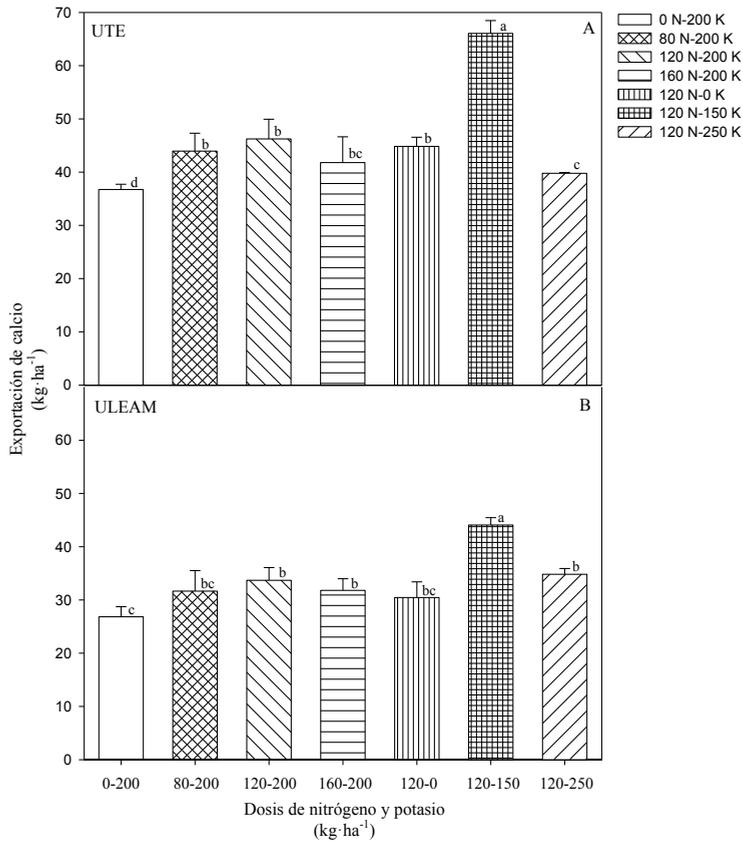
Por otro lado, al considerar la concentración de nutrientes (%) en las muestras obtenidas en la UTE y la ULEAM que fueron de 0,81 y 0,70%, respectivamente (Tabla 2) y compararlos con los resultados obtenidos por Avellán *et al.* (2015) donde señalaron que la concentración obtenida fue de 0,3% para el epicarpio y 0,2% en el meso-endocarpio, la sumatoria de ambas concentraciones para el fruto también fue inferior a la encontrada en esta investigación.

Al igual que en las exportaciones de N, P, K y Mg evaluadas en esta investigación, las combinaciones crecientes de N (0-120 kg·ha<sup>-1</sup>) y la dosis fija de K<sub>2</sub>O (200 kg·ha<sup>-1</sup>) sugirieron que el N influyó positivamente en la exportación de Ca al fruto en ambas localidades (Figura 4A y 4B), la información obtenida sugirió que las indicadas combinaciones de N-K<sub>2</sub>O produjeron una mayor absorción de los nutrientes, incluido el calcio. Se observó la tendencia a disminuir la exportación de N, P, K, Ca y Mg con las dosis de 160-200 Kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O en la UTE y ULEAM, a excepción del N y el Mg en la ULEAM. Con respecto a la combinación de dosis fija de N (120 kg·ha<sup>-1</sup>) y crecientes de K<sub>2</sub>O (0-250 kg·ha<sup>-1</sup>), la combinación 120-250 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O generó un descenso de la exportación de Ca al fruto en las dos localidades (Figura 4A y 4B).

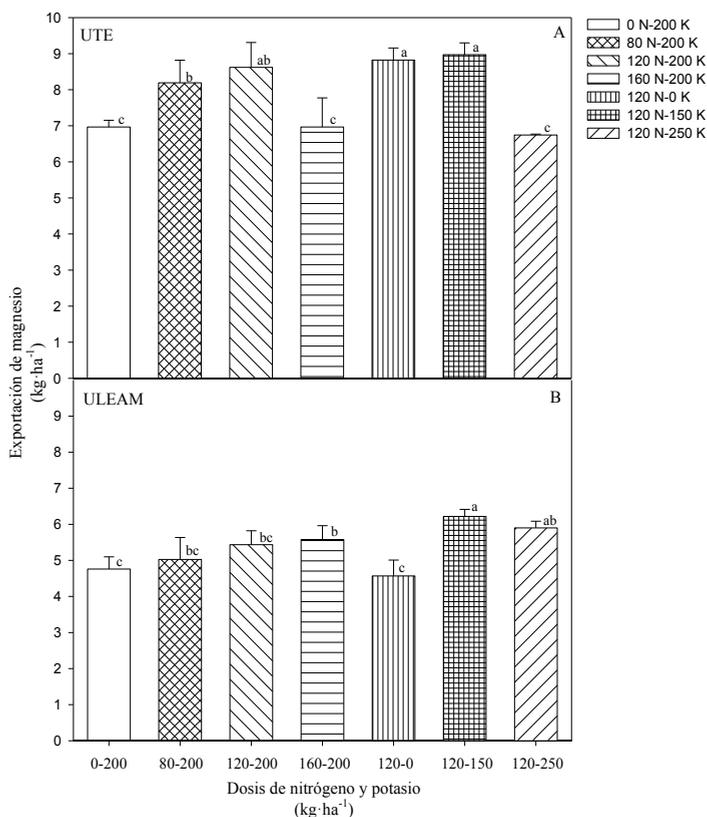
### 3.1.5. Exportación de magnesio

La mayor exportación de magnesio en el fruto se presentó con la combinación 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O en ambas localidades. En la UTE alcanzó valores de 8,97 kg·ha<sup>-1</sup> de Mg y en la ULEAM la exportación fue de 6,22 kg·ha<sup>-1</sup> Mg. Avellán *et al.* (2015) indicaron que la cantidad de magnesio en el fruto fue de 8,4 kg·ha<sup>-1</sup> de Mg extraído, el cual fue similar al obtenido en la UTE.

La cantidad de Mg que se exportó al fruto con relación a las combinaciones de las dosis de N-K<sub>2</sub>O no tuvo un comportamiento similar al presentado por la exportación de los otros nutrientes evaluados en la ULEAM. En este nutriente las diferencias entre las exportaciones debido a las combinaciones de N-K<sub>2</sub>O fueron menores con respecto al resto de los nutrientes evaluados (Figura 5A y 5B).



**Figura 4.** Exportación de calcio en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en dos provincias de Ecuador.  
 A) Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE).  
 B) Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión en El Carmen.



**Figura 5.** Exportación de magnesio en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en dos provincias de Ecuador. A) Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE). B) Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión en El Carmen.

Espinosa y Belalcázar (1998), Combatt *et al.* (2004), Palencia *et al.* (2006) y Guo (2017) manifestaron que no es conveniente considerar una dosis única de nutrientes en busca de altos rendimientos en plátano, debido a que la magnitud de las respuestas no es uniforme en todos los suelos, sino que depende del contenido de nutrientes en los suelos. En plátano Curraré “semigigante”, donde el suelo presentó características particulares, los mejores resultados se encontraron con las dosis de 100 y 200 kg·ha<sup>-1</sup> de N. En la zona en estudio, la mejor dosis económica fue la de 100, 150 o 200 kg·ha<sup>-1</sup> de N, pero dependerá del destino de comercialización del producto comercial, sea para exportación o consumo nacional y el manejo agronómico en general que aplique cada productor.

El magnesio tiene diversas funciones en las plantas; según Cakmak y Yazici (2010) y Guo (2017) interviene en la fotofosforilación (formación de ATP en los cloroplastos),

fijación fotosintética del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), síntesis de proteínas, formación de clorofila, recarga del floema, participación y asimilación de los productos de la fotosíntesis, generación de las formas reactivas de oxígeno y fotooxidación de los tejidos de las hojas. En consecuencia, varios procesos fisiológicos y bioquímicos críticos para la planta se alteran cuando existe deficiencia de Mg, afectando el crecimiento y el rendimiento de la planta. Navarro y Navarro (2003) señalaron que la función más importante es formar parte de la clorofila, el cual es un componente de vital importancia para la realización de la fotosíntesis, además el Mg también es parte de todos los pigmentos de coloración verde, factor que permite a los organismos vegetales utilizar la energía solar; por eso según Jiménez (2017) una deficiencia de Mg afecta particularmente el tamaño, estructura y función de los cloroplastos lo que disminuye el potencial de la fotosíntesis.

### 3.2. Eficiencia de los nutrientes

La eficiencia de los nutrientes permite determinar en qué nivel de fertilización la planta tiene una mayor utilización del elemento aplicado; en especial la eficiencia agronómica del nitrógeno ( $EA_N$ ), es una variable que ha sido evaluada mayoritariamente a nivel de granos como los cereales (arroz, maíz, trigo y sorgo) y oleaginosas (soya y girasol; Cruzate y Casas, 2012).

Entre los objetivos de la eficiencia de los nutrientes, puede destacarse el de aprovechar al máximo la fertilización para incrementar el rendimiento del cultivo por unidad de nutriente aplicado. Este parámetro es definido como el incremento de producción por unidad de nutriente.

Según Melgar (2014) la eficiencia del uso del nitrógeno podría incrementarse en un 10 o 20% y la eficiencia de los otros factores de producción (agua, genética, entre otros) podrían mantenerse igual, si no mejor, sin afectar negativamente al ambiente; lo cual podría aumentar la rentabilidad lo suficiente como para aumentar el ritmo de adopción de técnicas diseñadas para aumentar la  $EA_N$ .

En este mismo sentido, el hecho de encontrar eficiencias agronómicas negativas para algunas de las dosis aplicadas se debió a que el rendimiento de las parcelas sin fertilizar en algunos casos fue superior al de las parcelas fertilizadas.

Tilman *et al.* (2002) indicaron que el uso eficiente de los nutrientes sustenta la seguridad alimentaria y reduce las pérdidas de nutrientes en el ambiente. Sin embargo, anteriormente las aplicaciones de fertilizantes en la agricultura resultaron menos eficientes en el uso de nutrientes; en cereales la cantidad de N aplicado

aumentó en un factor de 10 entre 1960 y 1995, mientras que la producción mundial de cereales incrementó en un factor de 2,4 en el mismo período.

Si bien la nutrición equilibrada es importante, el N en particular es fundamental en el crecimiento de los cultivos para alimentar al mundo ahora y en el futuro. Por lo tanto, es probable que el uso de cultivos más eficientes en N juegue un papel fundamental para aumentar o mantener los rendimientos de los cultivos en el futuro, especialmente después del cambio climático (Fageria *et al.*, 2008; Spiertz y Ewert, 2009).

De acuerdo con Garnier y Aronson (1998) la utilización de nutrientes conlleva a la producción de biomasa y la fijación de energía, por lo que se esperaría como respuesta que las plantas sometidas a déficit de nutrientes incrementen la cantidad de biomasa producida o de energía fijada en la fotosíntesis por unidad de nutriente utilizado, esto se conoce como eficiencia en el uso de los nutrientes (EUN) y ha recibido numerosas formulaciones e interpretaciones.

A nivel de la planta completa, normalmente se ha estimado la EUN de diferentes especies a partir de la cantidad de biomasa sintetizada por la planta, en la mayoría de los casos durante la fase juvenil de crecimiento rápido. En cambio, cuando se trabaja con plantas adultas, que ya no incrementan su biomasa, quizás es más relevante calcular la EUN con relación a la cantidad de energía que se fija durante la fotosíntesis (EUNP), lo que se realiza a partir de medir el intercambio gaseoso en hojas individuales (Escudero y Mediavilla, 2003).

Melgar (2014) ha señalado que la tecnología es clave para satisfacer la demanda de los productos agrícolas. El uso de la tecnología y la constante innovación, por parte de las empresas y entes públicos y privados dedicados a la investigación son fundamentales para impulsar el rendimiento por unidad de área y la producción total. No obstante, la adopción por parte de los productores de las tecnologías que conduzcan a incrementar la EUN se verá impulsada por la rentabilidad alcanzada por los cultivos, lo que se traduciría en mayores rendimientos e ingresos, lo cual dará lugar a un mayor uso de la tecnología y a generar nuevos ciclos de innovación.

En general, las recomendaciones de fertilización para plátanos y bananos se utilizan indistintamente en lo que concierne al manejo de la nutrición; sin embargo, se presentan grandes diferencias en lo que principalmente se refiere al rendimiento de cada uno de los cultivos. En el caso de los bananos, el incremento de la fertilización del suelo permite incrementar la biomasa del fruto, igualmente el número de manos por racimo y el número de dedos por mano; en plátano ocurre un aumento de la

biomasa de los dedos, mientras que los cambios en el número de manos y de dedos por mano son casi imperceptibles.

### 3.2.1. Eficiencia agronómica del nitrógeno ( $EA_N$ )

Se encontraron diferencias estadísticas ( $P < 0,0001$ ) por efecto de las dosis de fertilización de  $N-K_2O$  aplicadas para la variable  $EA_N$ . En la UTE se conformaron tres grupos diferentes estadísticamente entre ellos (Tabla 3), la mayor  $EA_N$  correspondió a la dosis  $120-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $42,88 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N;  $P < 0,002$ ), seguidos de las combinaciones  $120-250$ ,  $120-150$ ,  $120-0$  y  $120-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $37,33$ ;  $30,63$ ;  $25,06$  y  $21,25 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N, respectivamente;  $P < 0,347$ ), sin diferencias estadísticas entre ellas; luego la dosis  $80-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $13,02 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N;  $P < 0,0132$ ). El rango de la  $EA_N$  fue entre  $13,02$  y  $42,88 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N.

Con respecto a la ULEAM se conformaron dos grupos estadísticamente diferentes (Tabla 3), las mayores  $EA_N$  correspondieron a las dosis  $120-250$ ,  $120-200$ ,  $80-200$ ,  $120-150$  y  $160-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $43,65$ ;  $41,37$ ;  $37,92$ ;  $36,08$  y  $30,60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N;  $P < 0,2761$ ) sin diferencias estadísticas entre ellas; luego la dosis  $120-0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $15,80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N;  $P < 0,003$ ) esta última diferente estadísticamente al resto de las dosis aplicadas. El rango de la  $EA_N$  fue entre  $15,80$  y  $43,65 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N.

La  $EA_N$  entre las dos localidades estuvo entre  $13,02$  y  $43,65 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N, comportamiento que resultó inferior a los encontrados por Rillo y Richmon (2005) en donde los rangos obtenidos en el cultivo de maíz oscilaron entre  $19$  a  $54 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; como ya fue indicado las  $EA_N$  más altas, se obtuvieron con las dosis de  $120-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  en la UTE, mientras que en la ULEAM fue las dosis de  $120-250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$ ; las dosis con menor  $EA_N$  fueron la de  $80-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  en la UTE y  $120-0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  en la ULEAM.

**Tabla 3.** Rendimiento (kg de biomasa fresca del fruto (BFF)·ha<sup>-1</sup>), dosis de N-K<sub>2</sub>O, eficiencia agronómica (EA), factor parcial de productividad (FPP) y balance parcial de nutrientes (BPN) del fruto de plátano ‘Barraganete’ en dos localidades (Santo Domingo, UTE y El Carmen, ULEAM).

Localidad	Dosis (kg·ha <sup>-1</sup> )		Rendimiento (kg BFF·ha <sup>-1</sup> )	Nitrógeno			Potasio		
	N	K <sub>2</sub> O		EA	FPP	BPN	EA	FPP	BPN
UTE	0	200	23.520,83 <sup>b</sup>				-15,03 <sup>d</sup>	117,60 <sup>c</sup>	0,46 <sup>bc</sup>
	80	200	24.562,50 <sup>ab</sup>	13,02 <sup>c</sup>	307,03 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>	-9,83 <sup>a</sup>	122,81 <sup>b</sup>	0,53 <sup>b</sup>
	120	200	28.666,67 <sup>a</sup>	42,88 <sup>a</sup>	288,89 <sup>b</sup>	0,39 <sup>b</sup>	10,69 <sup>a</sup>	143,33 <sup>b</sup>	0,57 <sup>b</sup>
	160	200	26.920,83 <sup>ab</sup>	21,25 <sup>b</sup>	168,26 <sup>c</sup>	0,26 <sup>c</sup>	1,97 <sup>c</sup>	134,60 <sup>b</sup>	0,43 <sup>bc</sup>
	120	0	26.527,78 <sup>ab</sup>	25,06 <sup>b</sup>	221,06 <sup>b</sup>	0,37 <sup>bc</sup>			
	120	150	27.125,00 <sup>ab</sup>	30,63 <sup>b</sup>	226,04 <sup>b</sup>	0,41 <sup>b</sup>	3,98 <sup>b</sup>	180,83 <sup>a</sup>	0,80 <sup>a</sup>
	120	250	28.000,00 <sup>ab</sup>	37,33 <sup>b</sup>	233,33 <sup>b</sup>	0,34 <sup>bc</sup>	5,89 <sup>b</sup>	112,00 <sup>c</sup>	0,36 <sup>c</sup>
ULEAM	0	200	17.625,00 <sup>b</sup>				-9,48 <sup>c</sup>	88,13 <sup>b</sup>	0,38 <sup>b</sup>
	80	200	20.658,33 <sup>ab</sup>	37,92 <sup>a</sup>	258,23 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>	5,68 <sup>b</sup>	103,29 <sup>b</sup>	0,42 <sup>b</sup>
	120	200	22.588,89 <sup>ab</sup>	41,37 <sup>a</sup>	188,24 <sup>b</sup>	0,27 <sup>b</sup>	15,34 <sup>a</sup>	112,94 <sup>b</sup>	0,44 <sup>b</sup>
	160	200	22.520,83 <sup>ab</sup>	30,60 <sup>a</sup>	140,76 <sup>b</sup>	0,21 <sup>b</sup>	15,00 <sup>a</sup>	112,60 <sup>b</sup>	0,38 <sup>b</sup>
	120	0	19.520,83 <sup>b</sup>	15,80 <sup>b</sup>	162,67 <sup>b</sup>	0,21 <sup>b</sup>			
	120	150	21.954,17 <sup>ab</sup>	36,08 <sup>a</sup>	182,95 <sup>b</sup>	0,28 <sup>ab</sup>	16,22 <sup>a</sup>	146,36 <sup>a</sup>	0,64 <sup>a</sup>
	120	250	22.862,50 <sup>a</sup>	43,65 <sup>a</sup>	190,52 <sup>b</sup>	0,24 <sup>b</sup>	13,37 <sup>a</sup>	91,45 <sup>a</sup>	0,36 <sup>b</sup>

UTE= Universidad Tecnológica Equinoccial. ULEAM= Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

La EA<sub>N</sub> presentó valores más altos en la ULEAM que en la UTE, quizás esto podría deberse a que las dosis de fertilización tuvieron una respuesta mayor de este elemento en esa localidad.

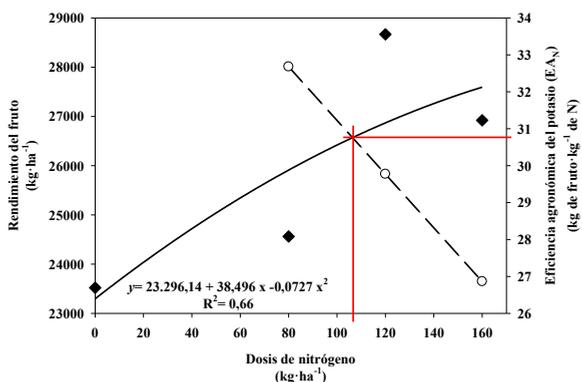
En las Figuras 6 y 7 se presentan las curvas de rendimiento del fruto con relación a la EA<sub>N</sub> para la UTE y ULEAM, respectivamente; la intersección de las líneas podría considerarse el punto óptimo, donde el fertilizante fue mejor utilizado para incrementar la producción.

En la UTE la intersección se presentó por debajo de los 120 kg·ha<sup>-1</sup> de N aplicados con una EA<sub>N</sub> superior a 30 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de N aplicado, considerando esta dosis como la más efectiva para incrementar el rendimiento del cultivo (Figura 6).

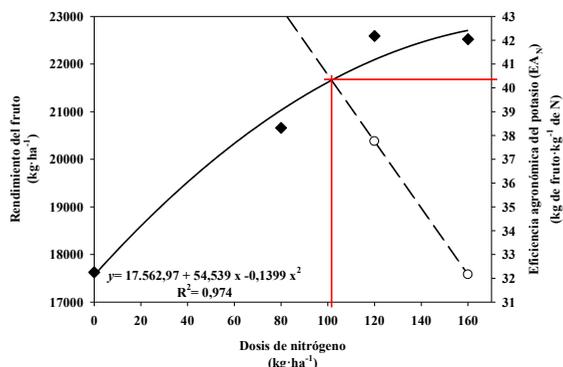
Para la ULEAM la intersección se observó por encima de los 100 kg·ha<sup>-1</sup> de N con una EA<sub>N</sub> superior a los 40 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de N (Figura 7), lo cual sugiere realizar investigaciones con más detalle, esto es, utilizando intervalos de dosis más pequeñas entre los 100 y 120 kg de N·ha<sup>-1</sup> para determinar la cantidad más idónea para fertilizar.

Al comparar el incremento de las dosis de N vs. la dosis fija de  $K_2O$  en las localidades estudiadas, la  $EA_N$  disminuyó con el incremento de la dosis de N aplicado. En la UTE la disminución de la  $EA_N$  fue más gradual tal como lo demuestra la pendiente de la línea, la cual disminuyó 1,22 veces con la dosis de  $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N con respecto a la dosis de  $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

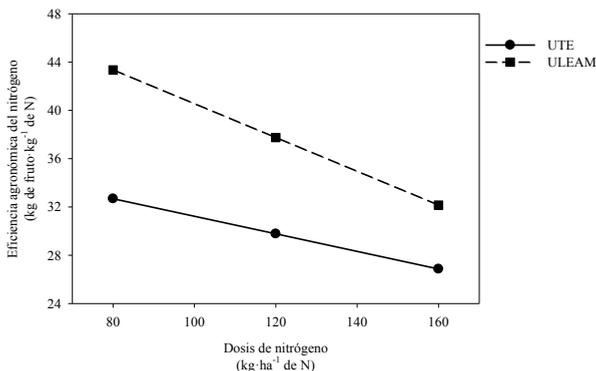
Para la ULEAM la disminución de la  $EA_N$  fue más abrupta con una disminución de 1,35 veces con la dosis de  $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N con respecto a la dosis de  $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N; a su vez, la  $EA_N$  fue 1,33 y 1,20 veces mayor en la ULEAM con la dosis de 80 y  $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N al compararla con la  $EA_N$  obtenido en la UTE (Figura 8).



**Figura 6.** Eficiencia agronomica del nitrógeno ( $EA_N$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE). La línea continua representa los valores esperados de rendimiento del fruto, la línea discontinua representa la  $EA_N$  y los ◆ representan los valores observados de rendimiento del fruto.



**Figura 7.** Eficiencia agronomica del nitrógeno ( $EA_N$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. La línea continua representa los valores esperados de rendimiento del fruto, la línea discontinua representa la  $EA_N$  y los ◆ representan los valores observados del rendimiento del fruto.



**Figura 8.** Eficiencia agronomica del nitrógeno ( $EA_N$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE) y en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. La línea continua representa la  $EA_N$  de la UTE, la línea discontinua representa la  $EA_N$  de la ULEAM.

La dosis de  $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N en la localidad de Sumita obtuvo la mayor  $EA_N$  con  $29 \text{ kg}$  de incremento en fruto· $\text{kg}^{-1}$  de nutriente aplicado. La  $EA_N$  en las demás dosis y localidades se mantuvo con valores menores a  $10 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Vivas *et al.*, 2018). Estos valores fueron ligeramente inferiores a los obtenidos por Furcal-Beriguete y Barquero-Badilla (2014) cuando bajo dosis de  $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N alcanzó valores de  $EA_N$  de  $32 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Espinosa y Mite (2008) estimaron que la eficiencia de reposición del N ( $ER_N$ ) bajo condiciones favorables está entre 50 y 70%; aunque señalaron que en bananos podría ser menor en determinadas condiciones; por lo que sugirieron que la  $EA_N$  de bananos podría estar entre  $140\text{-}200 \text{ kg}$  de racimo· $\text{kg}^{-1}$  de N aplicado, asumiendo una  $ER_N$  de 50%, aun cuando indicaron que se debe basar la información en investigaciones. No obstante, señalaron la dificultad de determinar el contenido de N disponible en el suelo y correlacionarlo con el rendimiento del cultivo, particularmente en ambientes tropicales de mucha precipitación ya que el N tendería a moverse rápidamente en el perfil del suelo; esto hace que no sea recomendable utilizar el contenido de N en el suelo como una variable sobre la cual se base la recomendación de N para musáceas.

Norton *et al.* (2015) propusieron que la eficiencia del uso del N por el cultivo sea un indicador del progreso hacia la meta para acabar con el hambre, lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición, reducir la contaminación y promover la agricultura sostenible.

### 3.2.2. Eficiencia agronómica del potasio ( $EA_K$ )

La  $EA_K$  es una variable poco analizada, en esta investigación no se presentó una tendencia definida ya que los valores obtenidos fueron variables y en algunos casos negativos, en la UTE se conformaron cinco grupos diferentes estadísticamente y en la ULEAM tres grupos igualmente diferentes estadísticamente. Los valores obtenidos en la  $EA_K$  difieren ligeramente entre ellos; lo cual sugiere que la producción de los frutos estuvo influenciada por la fertilización nitrogenada (Tabla 3).

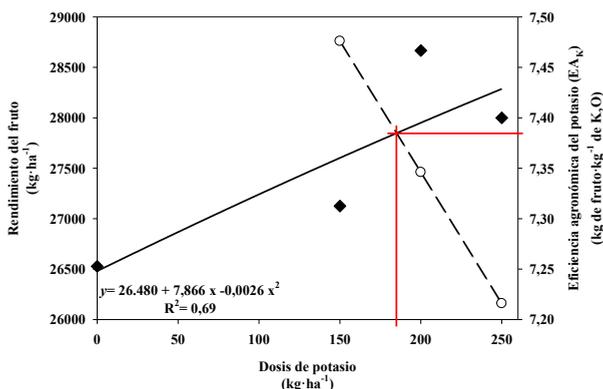
Se encontraron diferencias estadísticas ( $P < 0,0017$ ) por efecto de las dosis de fertilización de  $N-K_2O$  aplicadas para la variable  $EA_K$ . En la UTE se conformaron cinco grupos diferentes estadísticamente entre ellos (Tabla 3), la mayor  $EA_K$  correspondió a la dosis  $120-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $10,69 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K;  $P < 0,023$ ), seguidos de las combinaciones  $120-250$  y  $120-150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $5,89$  y  $3,98 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K, respectivamente;  $P < 0,178$ ), sin diferencias estadísticas entre ellas; luego la dosis  $160-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $1,97 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K;  $P < 0,003$ ); las dosis de  $80-200$  y  $0-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $-9,53$  y  $-15,03 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K) presentaron eficiencias agronómicas negativas y fueron diferentes estadísticamente entre ellas ( $P < 0,0045$ ;  $P < 0,0025$ ). El rango de la  $EA_K$  estuvo entre  $-15,03$  y  $10,69 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K (Tabla 3).

Con respecto a la ULEAM se conformaron tres grupos estadísticamente diferentes (Tabla 3), las mayores  $EA_K$  correspondieron a las dosis de  $120-150$ ,  $120-200$ ,  $160-200$  y  $120-250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $16,22$ ;  $15,34$ ;  $15,00$  y  $13,37 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K;  $P < 0,169$ ) sin diferencias estadísticas entre ellas; luego la dosis  $80-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $5,68 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K;  $P < 0,001$ ) diferente estadísticamente al resto de las dosis anteriores y por último la dosis  $0-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $-9,48 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K;  $P < 0,0026$ ). El rango de la  $EA_K$  fue entre  $-9,48$  y  $16, \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K (Tabla 3). La  $EA_K$  en plátano no presentó una tendencia definida, los resultados fueron variables; esto podría deberse a la poca influencia que tiene el potasio sobre el rendimiento del fruto.

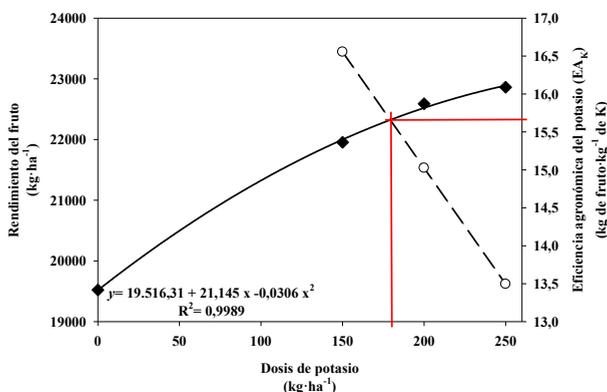
En la UTE la intersección se presentó por encima de los  $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K aplicados con una  $EA_K$  inferior a  $7,4 \text{ kg}$  de fruto  $\cdot \text{kg}^{-1}$  de K aplicado, considerando esta dosis como la más efectiva para incrementar el rendimiento del cultivo (Figura 9). Para la ULEAM la intersección se observó por debajo de los  $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K con una  $EA_K$  inferior a los  $16,5 \text{ kg}$  de fruto  $\cdot \text{kg}^{-1}$  de K (Figura 10), lo cual sugiere realizar investigaciones con más detalle, esto es, utilizando intervalos de dosis más pequeñas entre los  $150$  y  $200 \text{ kg}$  de  $K\cdot\text{ha}^{-1}$  para determinar la cantidad más idónea para fertilizar.

El incremento de las dosis de  $K_2O$  vs la dosis fija de N en la ULEAM permitió distinguir que la  $EA_K$  disminuyó con el incremento de la dosis de  $K_2O$  aplicado. En la UTE la  $EA_K$

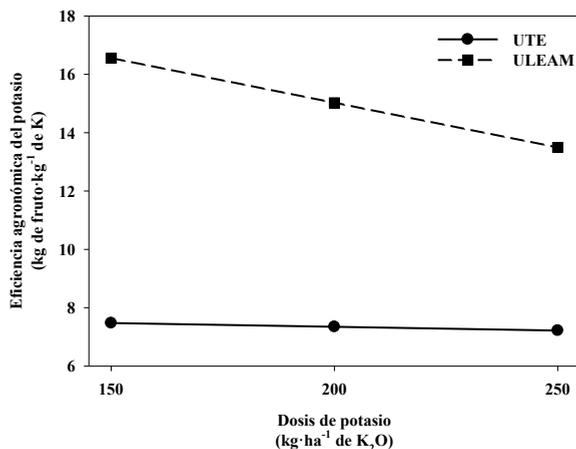
fue similar independientemente de la dosis de potasio utilizada. Para la ULEAM la disminución de la  $EA_K$  fue abrupta tal como se puede apreciar en la pendiente de la recta generada, con una disminución de 1,23 veces con la dosis de  $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $K_2O$  con respecto a la dosis de  $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ; a su vez, la  $EA_K$  fue 2,21 y 1,87 veces mayor en la ULEAM con la dosis de 150 y  $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $K_2O$  al compararla con la  $EA_K$  obtenida en la UTE (Figura 11).



**Figura 9.** Eficiencia agronómica del potasio ( $EA_K$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE). La línea continua representa los valores esperados de rendimiento del fruto, la línea discontinua representa la  $EA_N$  y los  $\blacklozenge$  representan los valores observados del rendimiento del fruto.



**Figura 10.** Eficiencia agronómica del potasio ( $EA_K$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. La línea continua representa los valores esperados de rendimiento del fruto, la línea discontinua representa la  $EA_N$  y los  $\blacklozenge$  representan los valores observados del rendimiento del fruto.



**Figura 11.** Eficiencia agronomica del potasio ( $EA_K$ ) en plátano 'Barraganete' sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE) y en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. La línea continua representa la EAK de la UTE, la línea discontinua representa la EAK de la ULEAM.

Halliday y Trenkel (1992) indicaron que la absorción de K por la planta es elevada y la biomasa de una producción de  $70 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  fue superior a  $1200 \text{ kg de K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; además, los nutrientes extraídos en el racimo alcanzaron los  $420 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Al asumir que el reciclaje de nutrientes provenientes del deshoje y del pseudotallo, entre otros, que quedan en el campo, podrían ser suficientes para mantener el crecimiento vegetativo, habría que suplementar K teniendo en cuenta la dosis de reposición y la  $EA_K$ , el cual estaría en el rango de  $270$  a  $310 \text{ kg de racimo}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  aplicado, asumiendo además una eficiencia de recuperación (ER) de 70%; sin embargo, estos valores deberían estar soportados con investigaciones (Espinosa y Mite, 2008; Shin, 2017).

Vivas *et al.* (2018) señalaron que, en la  $EA_K$  a mayor uso de nutrientes, la producción disminuyó a partir de la aplicación de la dosis de  $400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en Las Palmas, donde la respuesta fue negativa. Este comportamiento se debió a que la respuesta del rendimiento al uso de fertilizantes dependió del sitio de establecimiento; similar información reportó Espinosa y Mite (2008).

Es importante destacar que el éxito de la "revolución verde" se basó principalmente en un gran aumento de la entrada de nutrientes, lo que conllevó paralelamente al incremento de la producción. Las consecuencias negativas incluyen una enorme huella ambiental y una baja eficiencia en el uso de los recursos. Gran parte de los fertilizantes aplicados no son absorbidos por los cultivos y entran en los ecosistemas

naturales, en los que la eutrofización tiene consecuencias perjudiciales, como la degradación del ecosistema y la pérdida de biodiversidad (Stoate *et al.*, 2001). Estos efectos negativos en los ecosistemas devuelven retroalimentación negativa en los agroecosistemas ya que su productividad depende de los servicios naturales del ecosistema (Power, 2010). Los fertilizantes fosforados contienen trazas de metales pesados que se acumulan en los suelos y pueden tener efectos negativos en las plantas e implicaciones para la nutrición humana (Kratz *et al.*, 1981; Cheraghi *et al.*, 2013).

El incremento de la eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) de los sistemas agrícolas puede lograrse mediante avances en el manejo de los nutrientes y el fitomejoramiento. Ambas actividades se han vuelto altamente basadas en la ciencia, pero aún existe la necesidad de enfoques más interdisciplinarios, porque sincronizar el suministro de nutrientes con la demanda de nutrientes de las plantas es uno de los principales desafíos para aumentar la EUN. Las interacciones planta-ambiente están complicando esta sincronía y es un paso crucial acrecentar la comprensión de sus bases fisiológicas, bioquímicas y moleculares. Además, los nutrientes interactúan entre sí en la interfaz suelo-planta. Estas interacciones a menudo se descuidan cuando los nutrientes se estudian por separado. Pero comprender cómo las interacciones de nutrientes pueden influir en EUN — positiva o negativamente — es una medida importante para optimizar la fertilización y evitar compensaciones para la mejora de EUN para diferentes nutrientes (Reich, 2017).

Liebscher (1895), Mitscherlich (1909), Baule (1917) y DeVries (1939) reformularon la “ley del mínimo”, formulada por Sprengel y Von Liebig (Von Liebig, 1855). El paradigma de que un factor a la vez limita el crecimiento y el rendimiento está muy extendido y sigue guiando la mayoría de las prácticas agrícolas. Por supuesto, este éxito persistente de la primera versión de la “ley del mínimo” puede explicarse por su papel central durante la “revolución verde”, en el curso de la cual la productividad agrícola experimentó un aumento sin precedentes. Según Evans (1998) el suministro a los sistemas de cultivo con un exceso de N, el cual estaba disponible a bajo costo a través del proceso Haber-Bosch, incrementó los rendimientos de los cultivos y, como consecuencia, la población humana. La “ley de rendimientos decrecientes” predijo que, con el incremento de la fertilización, los aumentos en el rendimiento de los cultivos disminuirían proporcionalmente. El hecho de que los avances paralelos en la tecnología y otros aspectos del proceso de producción evitaran la disminución de los rendimientos, es desconocido (De Wit, 1992). El hallazgo de que el crecimiento de las plantas subyace a las limitaciones fue un avance esencial, pero se ha llegado a la conclusión de que la limitación del crecimiento de las plantas es

multifactorial (Gleeson y Tilman, 1992; Sadras, 2005). Al tratarse de nutrientes, la co-limitación de la producción de biomasa en comunidades vegetales por efecto de varios macronutrientes a la vez se ha demostrado empíricamente (Koerselman y Meuleman, 1996; Tilman *et al.*, 2002; Craine *et al.*, 2008).

En un metaanálisis reciente de numerosos estudios de nutrición llegaron a la conclusión de que N y P, son los macronutrientes que limitan el crecimiento en la mayoría de los agroecosistemas, teniendo fuertes efectos sinérgicos en el crecimiento de las plantas (Elser *et al.*, 2007). Esto significa que adicionar ambos tiene mayores efectos que agregarlos por separado. Con base a ese estudio, Davidson y Howarth (2007) propusieron una visión más compleja de la limitación de la producción de biomasa por efecto de los nutrientes, que se adecúa al efecto sinérgico de la fertilización con N y P. La demanda de los diferentes nutrientes subyace a los efectos de la retroalimentación, lo que significa que satisfacer la demanda de un nutriente muy rápidamente conduce a un aumento en la demanda de otro. Esta alternancia en las limitaciones por diferentes nutrientes (y otros factores ambientales) conduce a co-limitaciones y una limitación real por varios nutrientes a la vez. El suministro equilibrado de nutrientes esenciales aumenta la producción de biomasa sinérgicamente, el exceso de suministro de un nutriente conduce a pérdidas y una disminución de la EUN.

Existen varios análisis y revisiones exhaustivas sobre la importancia de la “ley del óptimo” de Liebscher para la fertilización óptima, mejorar la EUN y el incremento sostenible del rendimiento de los cultivos (Rabinowitch, 1951; De Wit, 1992; Kho, 2000). Llegando a la conclusión de que suposiciones más complejas derivadas de una dependencia multifactorial de las curvas de respuesta de los nutrientes están más cerca de la realidad, que un modelo binario derivado de una limitación de un factor único que sigue la “ley del mínimo”.

Kho (2000) desarrolló un modelo que reemplazó el concepto binario basado en la ley de Liebig (Blackman, 1905) por una versión más realista, basada en la “ley del óptimo”. En lugar de que la producción de biomasa esté limitada por un solo factor, el modelo considera la limitación de varios factores (Kho, 2000). Estos factores, que controlan interactivamente el crecimiento del cultivo, incluyen todos los factores abióticos y bióticos del ambiente de la planta, incluida la disponibilidad de nutrientes esenciales. Donde el efecto observado empíricamente de la disponibilidad del nutriente X en la producción de biomasa no es una relación causal directa sino correlativa. El resultado depende de la disponibilidad de otros nutrientes esenciales (Y-Z). La respuesta es lineal mientras todos los otros nutrientes potencialmente

limitantes aumentan proporcionalmente. La respuesta de crecimiento observada es una consecuencia de un suministro óptimo de nutrientes, no una limitación de un solo nutriente. En consecuencia, la efectividad del nutriente X en la promoción del crecimiento depende también de la concentración de los otros nutrientes esenciales en el suelo.

### 3.3. Factor parcial de productividad (FPP)

El FPP determina el comportamiento del rendimiento del fruto con relación a los niveles de fertilización aplicados. Se define según Snyder y Bruulsema (2007) como la cantidad de fruto producido en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  por unidad de nutrientes suministrados a los cultivos en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y que a diferencia de la eficiencia agronómica, Dobermann (2005) la refiere como el incremento de fruto producido en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  por unidad de nutriente en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

El FPP, es una medida de la eficiencia de las aplicaciones de nutrientes para aumentar los rendimientos de los cultivos, en otras palabras, cuántos kg de fruto resultan de la aplicación de un kg de nutriente. Lo que se pretende al estudiar el FPP es que los rendimientos de los cultivos se incrementen proporcionalmente a las dosis de uso de los nutrientes que se han aplicado en estos cultivos. Al aumentar el FPP de los nutrientes, esto implica incrementar los rendimientos por unidad de nutriente aplicado, lo cual generaría un ahorro de área cultivada equivalente a la necesaria para producir una cantidad determinada de frutos, en dependencia del cultivo que se trate.

#### 3.3.1. Factor parcial de productividad del nitrógeno ( $\text{FPP}_N$ )

Hubo diferencias estadísticas ( $P < 0,0001$ ) para el  $\text{FPP}_N$  por efecto de las dosis de  $\text{N-K}_2\text{O}$  aplicadas en ambas localidades estudiadas (UTE y ULEAM). En la UTE se conformaron tres grupos compuestos de la siguiente manera. El primer grupo integrado por la dosis de  $80\text{-}200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{N-K}_2\text{O}$  ( $307,03 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de N), seguido por las dosis  $120\text{-}200$ ,  $120\text{-}250$ ,  $120\text{-}150$  y  $120\text{-}0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{N-K}_2\text{O}$  ( $288,89$ ;  $233,33$ ;  $226,04$  y  $221,06 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de N, respectivamente), sin diferencias estadísticas entre ellos ( $P < 0,294$ ) y por último la dosis  $160\text{-}200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{N-K}_2\text{O}$  ( $168,26 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de N) diferente estadísticamente ( $P < 0,0001$ ) con los otros dos grupos conformados (Tabla 3).

En la ULEAM se conformaron dos grupos. El primero constituido por la dosis  $80\text{-}200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{N-K}_2\text{O}$  ( $258,23 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de N) diferente estadísticamente ( $P < 0,002$ ) y el segundo grupo fue integrado por las dosis  $120\text{-}250$ ,  $120\text{-}200$ ,  $120\text{-}150$ ,  $120\text{-}0$

y 160-200 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O (190,52; 188,24; 182,95; 162,67 y 140,76 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de N, respectivamente), sin diferencias estadísticas entre ellos (Tabla 3).

En ambas localidades la dosis de 80-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O presentó el mayor FPP<sub>N</sub> con valores de 307,03 y 258,23 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de N para la UTE y ULEAM, respectivamente; igualmente en las dos localidades la dosis de 160-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O alcanzó los menores valores con 168,26 y 140,76 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de N para la UTE y ULEAM, respectivamente.

Cruz *et al.* (2011) en un ensayo de fertilización en banano donde evaluaron el FPP los resultados obtenidos presentaron similar tendencia a los obtenidos en esta investigación; señalando que los resultados se debieron a que al dividir el rendimiento del fruto entre la dosis de fertilización, el menor valor de nutrición generó un resultado mayor, por eso la comparación del FPP debe estar relacionada a otros parámetros de eficiencia nutricional, para determinar el más eficiente uso de los nutrientes. El mayor valor obtenido fue de 169,83 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de nutriente aplicado, con las dosis de 350, 20 y 700 kg·ha<sup>-1</sup> de N-P-K<sub>2</sub>O, respectivamente.

### 3.3.2. Factor parcial de productividad del potasio (FPP<sub>K</sub>)

Hubo diferencias estadísticas (P<0,0001) para el FPP<sub>K</sub> por efecto de las dosis de N-K<sub>2</sub>O aplicadas en ambas localidades estudiadas (UTE y ULEAM). En la UTE se conformaron tres grupos compuestos de la siguiente manera. El primer grupo integrado por la dosis de 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O (180,83 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), seguido por las dosis de 120-200, 160-200 y 80-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O (143,33; 134,60 y 122,81 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente), sin diferencias estadísticas entre ellos (P<0,431) y por último las dosis de 0-200 y 120-250 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O (117,60 y 112,00 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) sin diferencias estadísticas entre estas dos dosis, pero diferentes estadísticamente (P<0,0001) con los otros dos grupos conformados (Tabla 3).

En la ULEAM se conformaron dos grupos. El primero constituido por la dosis 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O (146,36 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) diferente estadísticamente al resto de las dosis utilizadas (P<0,0001) y el segundo grupo fue integrado por las dosis 120-200, 160-200, 80-200, 120-250 y 0-200 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O (112,94; 112,60; 103,29; 91,45 y 88,13 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente), sin diferencias estadísticas entre ellos (Tabla 3).

En ambas localidades la dosis de 120-150 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O presentó el mayor FPP<sub>K</sub> con valores de 180,83 y 146,36 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para la UTE y ULEAM, respectivamente; la dosis de 120-250 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O alcanzó el menor valor con

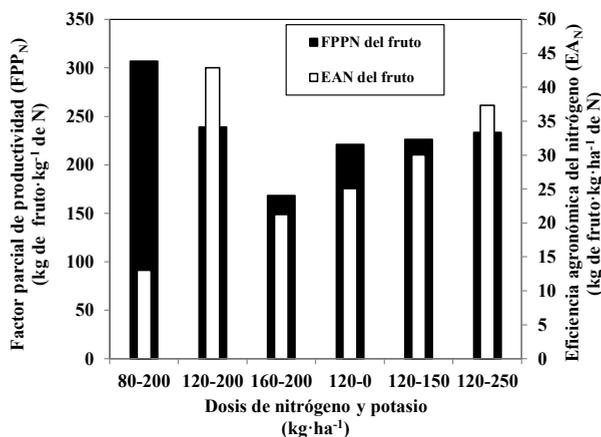
112,00 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O en la UTE y la dosis de 0-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O con 88,13 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para la ULEAM (Tabla 3).

En general en el FPP en la UTE se presentaron mayores valores que en la ULEAM, tanto para en el FPP<sub>N</sub> como para FPP<sub>K</sub>; debido a que el rendimiento de los frutos en la UTE fue superior a los de la ULEAM en todas las dosis de N-K<sub>2</sub>O evaluadas.

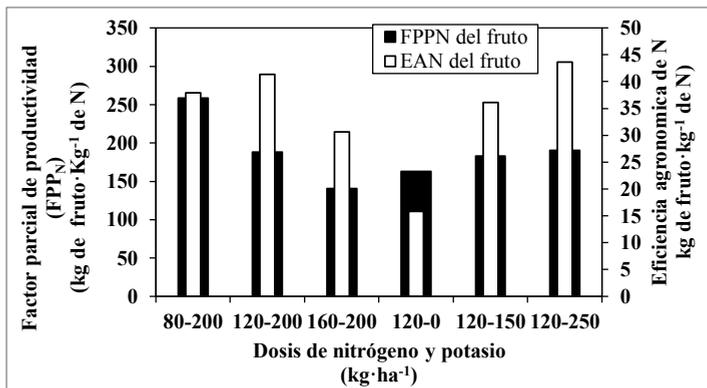
La comparación más idónea del FPP es con la EA de cada dosis de fertilizante aplicado, tal y como se muestra en las Figuras 12, 13, 14 y 15, donde se comparan el FPP<sub>N</sub> y el FPP<sub>K</sub> con la EA<sub>N</sub> y la EA<sub>K</sub> en la UTE y ULEAM, respectivamente bajo la influencia de las dosis de fertilización con N-K<sub>2</sub>O aplicadas.

La respuesta del FPP<sub>N</sub> en la UTE fue mayor que en la ULEAM, tanto para la fertilización nitrogenada y potásica, pero en contraste con las EA<sub>N</sub> en la ULEAM las respuestas fueron mayores, lo que mostró un incremento de los frutos por unidad de nutriente aplicado, esta localidad tuvo una mayor eficiencia del uso de N (Figuras 12 y 13).

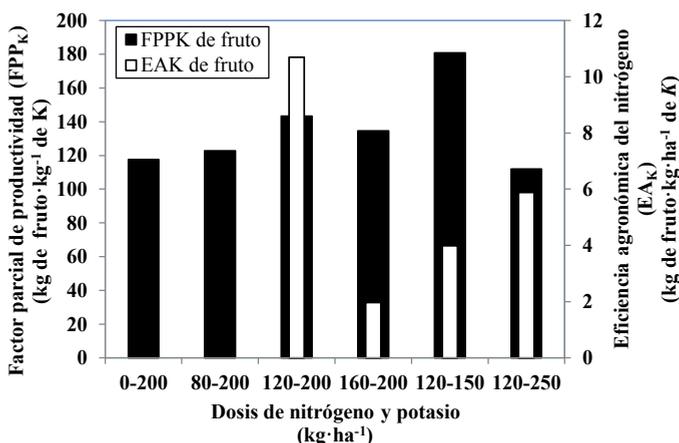
Se destaca que en la medida que se incrementan las dosis de N y se mantuvo constante la dosis de K<sub>2</sub>O la tendencia tanto en la UTE como en la ULEAM fue a disminuir el FPP<sub>N</sub>; no obstante, hubo un efecto contrario cuando se mantuvo constante la dosis de N y se incrementaron las dosis de K<sub>2</sub>O el FPP<sub>N</sub> aumento. Este comportamiento fue similar para la EA<sub>N</sub> en ambas localidades, a excepción de las dosis de 80-200 y 120-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O en la UTE y 120-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O en la ULEAM (Figuras 12 y 13).



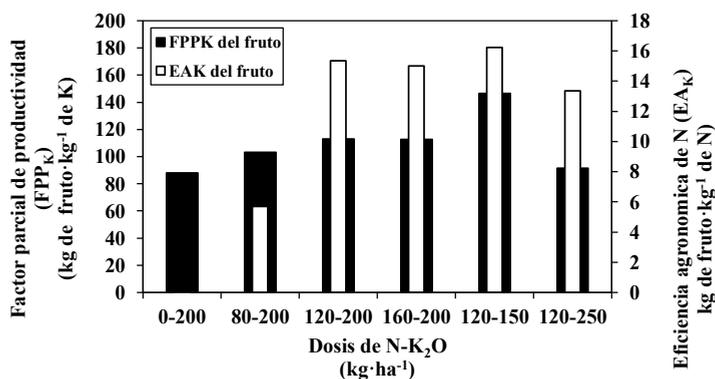
**Figura 12.** Factor parcial de productividad del nitrógeno (FPP<sub>N</sub>) y su comparación con la eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE). Las barras negras corresponden al FPPN y las barras blancas corresponden a la EA<sub>N</sub>.



**Figura 13.** Factor parcial de productividad del nitrógeno (FPP<sub>N</sub>) y su comparación con la eficiencia agronómica del nitrógeno (EA<sub>N</sub>) en plátano 'Barraganete' sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. Las barras negras corresponden al FPP<sub>N</sub> y las barras blancas corresponden a la EA<sub>N</sub>.



**Figura 14.** Factor parcial de productividad del nitrógeno (FPP<sub>K</sub>) y su comparación con la eficiencia agronómica del nitrógeno (EA<sub>K</sub>) en plátano 'Barraganete' sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE). Las barras negras corresponden al FPP<sub>K</sub> y las barras blancas corresponden a la EA<sub>K</sub>.



**Figura 15.** Factor parcial de productividad del nitrógeno ( $FPP_K$ ) y su comparación con la eficiencia agronómica del nitrógeno ( $EA_K$ ) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. Las barras negras corresponden al  $FPP_K$  y las barras blancas corresponden a la  $EA_K$ .

Para la comparación del  $FPP_K$  con la  $EA_K$  el comportamiento fue contrario a lo que se presentó al mantener las dosis de N-K<sub>2</sub>O constantes. Esto es, al incrementar las dosis de N y mantener constante la dosis de K<sub>2</sub>O el  $FPP_K$  incrementó en las dos localidades, a excepción de la dosis de 160-200 kg·ha<sup>-1</sup> de N-K<sub>2</sub>O que disminuyó tanto en la UTE como en la ULEAM, al mantener constante la dosis de N e incrementar las dosis de K<sub>2</sub>O se presentó una disminución del  $FPP_K$  en ambas localidades. Con relación a la  $EA_K$  esta no presentó una tendencia definida, lo que se precisa destacar fue que en ambas localidades se presentaron  $EA_K$  negativas (Figuras 14 y 15).

Vivas *et al.* (2018) en tres localidades de El Carmen (Sumita, Las Palmitas y La Raíz) con la aplicación de dosis de 150-300 de N obtuvieron  $EA_N$  de 29 y 2; 10 y 9 y -7 y 8 y el  $FPP_N$  fue de 124-50; 97-53 y 89-56 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de N aplicado, para Sumita, Las Palmitas y La Raíz, respectivamente; en ese mismo orden con la aplicación de 200-400 de K<sub>2</sub>O reportaron que la  $EA_K$  fue de 12 y 3; 3 y -3 y 6 y 12 y  $FPP_K$  de 93-43; 72-32 y 66-42 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aplicado, respectivamente.

Estos valores fueron inferiores a los obtenidos por Furcal-Beriguete y Barquero-Badilla (2014) cuando con la dosis de 100 kg·ha<sup>-1</sup> de N, alcanzó valores de  $FPP_N$  de 188 y  $EA_N$  de 32 kg de fruto·kg<sup>-1</sup> de N. Confirmando, además, lo expuesto por Boaretto *et al.* (2007) quienes indicaron que los niveles altos de fertilización tuvieron menor eficiencia agronómica. Aristizábal (2010) con 300 kg·ha<sup>-1</sup> de N encontró que el  $FPP_N$  fue de 97 kg de fruto·kg·ha<sup>-1</sup> de N aplicado, el cual fue mayor al obtenido por Vivas *et*

al. (2018) bajo la misma dosis, considerando que el material evaluado fue el Hartón. No obstante, todos los valores indicados fueron inferiores a los encontrados en esta investigación.

### 3.4. Balance parcial de nutrientes (BPN)

El balance parcial de nutriente (BPN) especifica un valor representativo de la cantidad de nutrientes que son absorbidos y que son extraídos, el valor 1 representa el ideal en un cultivo si la absorción se calcula para toda la planta, en el caso del fruto debe ser contrastado con la absorción de los demás órganos; al igual que con el FPP.

Se encontraron diferencias estadísticas ( $P < 0,0001$ ) para el  $BPN_N$  y  $BPN_K$  tanto en la UTE como en la ULEAM. En general, los valores encontrados en la UTE fueron mayores a los reportados en la ULEAM (Tabla 3). En la UTE para  $BPN_N$  se conformaron tres grupos, distribuidos de la siguiente manera, la dosis  $80-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  presentó el mayor valor de  $BPN_N$  con  $0,56 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $N-K_2O$ , seguido de las dosis de  $120-150$ ,  $120-200$ ,  $120-0$  y  $120-250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  con valores de  $0,41$ ;  $0,39$ ;  $0,37$  y  $0,34 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $N-K_2O$ , respectivamente y por último la dosis de  $160-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  con un valor de  $0,26 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $N-K_2O$  (Tabla 3). En el caso de la ULEAM se conformaron dos grupos constituidos de la siguiente manera, el primer grupo con la dosis  $80-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  presentó el mayor valor de  $BPN_N$  con  $0,38 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $N-K_2O$ , seguido de las dosis de  $120-150$ ,  $120-200$ ,  $120-250$ ,  $120-0$  y  $160-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  con valores de  $0,28$ ;  $0,27$ ;  $0,24$ ;  $0,21$  y  $0,21 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $N-K_2O$ , respectivamente (Tabla 3).

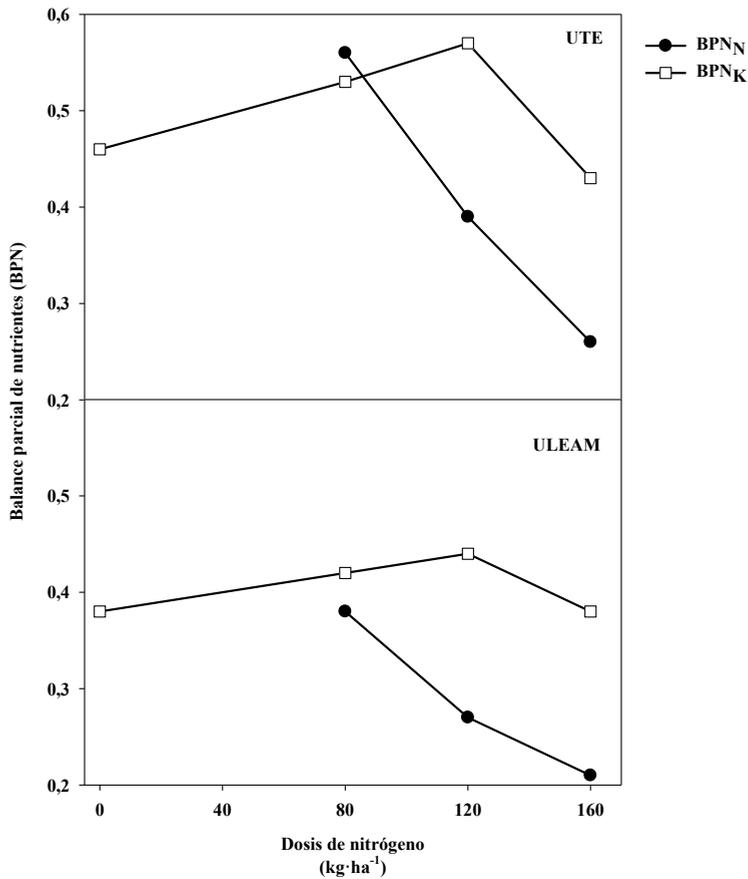
Con relación al  $BPN_K$  en la UTE se conformaron tres grupos de la siguiente manera, la dosis  $120-150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  con el mayor valor ( $0,80 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $N-K_2O$ ), seguido de las dosis  $120-200$ ,  $80-200$ ,  $0-200$  y  $160-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $0,57$ ;  $0,53$ ;  $0,46$  y  $0,43 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $N-K_2O$ , respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos) y por último la dosis  $120-250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $0,36 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $N-K_2O$ ; Tabla 3). En la ULEAM se conformaron dos grupos, establecidos de la siguiente manera, la dosis de  $120-150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $0,64 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $N-K_2O$ ) y el segundo grupo constituido por las dosis de  $120-200$ ,  $80-200$ ,  $0-200$ ,  $160-200$  y  $120-250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $N-K_2O$  ( $0,44$ ;  $0,42$ ;  $0,38$ ;  $0,38$  y  $0,36 \text{ kg de fruto}\cdot\text{kg}^{-1}$  de  $N-K_2O$ , respectivamente), sin diferencias estadísticas entre ellos (Tabla 3).

Las dosis bajas de  $N-K_2O$  mostraron los mayores valores de BPN, tanto para el  $BPN_N$  y el  $BPN_K$ , alcanzando  $0,56$  en  $BPN_N$  y  $0,80$   $BPN_K$  en la UTE, en la ULEAM  $0,38$  en el  $BPN_N$  y  $0,66$   $BPN_K$ . Ciampitti y García (2008) encontraron en maíz (*Zea mays*) que el BPN promedió 1, considerando que la cantidad de nutrientes aplicados fue removida del

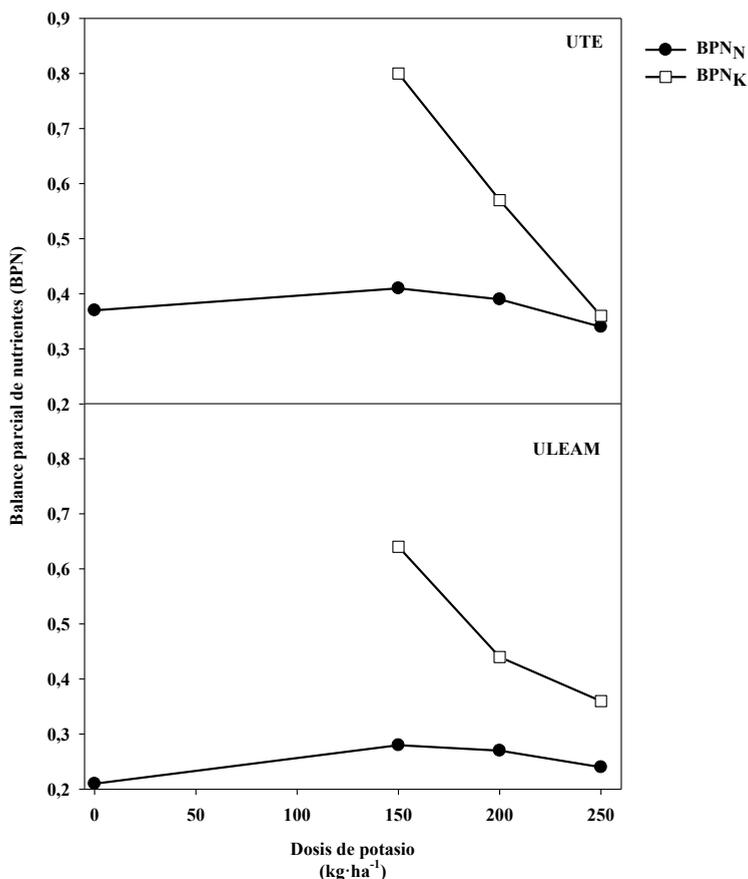
campo a través del grano; a excepción de dos niveles que excedieron el 1, sugiriendo el resultado que se exportó más de los fertilizantes aplicados.

Los resultados encontrados son contrastes al compararlos con los BPN que se han reportado en cereales, los cuales son cercanos a 1; en este sentido, Espinosa y Mite (2008) han señalado que en el caso de las musáceas, como el plátano debería considerarse la cantidad de N que no es aprovechado por la planta y que es retenido en la materia orgánica del suelo o en la biomasa microbiana, que generalmente se pierde por volatilización, nitrificación y/o lixiviación; señalando además, que en plátano la eficiencia de recuperación podría alcanzar valores entre 0,5 y 0,7; mientras que en bananos podría estar entre 0,3 a 0,5. El BPN en plátano, obtenido por los mencionados autores anteriormente, contrastó con los obtenidos en esta investigación, que en general fueron inferiores, en particular en plátano 'Barraganete' el  $BPN_N$  tanto en la UTE como en la ULEAM; el  $BPN_K$  presentó valores más cercanos a los indicados por Espinosa y Mite (2008).

En las dos localidades el  $BPN_N$  y el  $BPN_K$  no presentaron una tendencia clara a incrementarse o disminuir en función de la dosis de N-K<sub>2</sub>O aplicados (Figuras 16 y 17). Al considerar las dosis de N aplicadas, el  $BPN_N$  disminuyó al aumentar la dosis aplicada de este nutriente en ambas localidades, pero incrementó el  $BPN_K$ , con las dosis de 80-200 y 120-200 kg·ha<sup>-1</sup> N-K<sub>2</sub>O; no obstante, disminuyó con la dosis de 160-200 kg·ha<sup>-1</sup> N-K<sub>2</sub>O, lo cual sugiere que el N interviene en la absorción y extracción del K. El  $BPN_K$  con relación a la nutrición con K, muestra similar tendencia que con el N, la disminución del  $BPN_K$  aumenta con el incremento de la dosis de K<sub>2</sub>O; en la Figura 16 el  $BPN_N$  fue poco influenciado con el incremento de los niveles de K<sub>2</sub>O, se generó casi una línea recta del  $BPN_N$ , manteniendo una tendencia horizontal sin un incremento notable; lo que indica que el K<sub>2</sub>O tuvo poca influencia sobre la absorción y extracción del N en el cultivo, especialmente hacia el fruto.



**Figura 16.** Balance parcial de nutrientes para nitrógeno y potasio (BPN<sub>N</sub> y BPN<sub>K</sub>) en plátano 'Barraganete' sometido a diferentes dosis de nitrógeno en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE) y en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. Las círculos (●) corresponden al BPN<sub>N</sub> y los cuadrados (□) corresponden al BPN<sub>K</sub>.



**Figura 17.** Balance parcial de nutrientes para nitrógeno y potasio (BPN<sub>N</sub> y BPN<sub>K</sub>) en plátano ‘Barraganete’ sometido a diferentes dosis de potasio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (UTE) y en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión en El Carmen. Las círculos (●) corresponden al BPN<sub>N</sub> y los cuadrados (□) corresponden al BPN<sub>K</sub>.

De acuerdo con Soto (1992) y López y Espinosa (1995) en la producción de plátanos y bananos los dos nutrientes más importantes son el N y el K; no obstante, las estrategias de manejo de estos dos nutrientes han tenido pocos cambios a lo largo del tiempo, por lo que se presume que es muy baja su eficacia de uso. Espinosa y Mite (2008) señalaron que para determinar con exactitud la cantidad total de nutrientes requerida por el cultivo se hace necesario conocer la cantidad total de nutrientes absorbidos para un rendimiento determinado; además, del suministro de nutrientes nativos del suelo. Por otro lado, la absorción total de nutrientes está determinada por la oferta ambiental o las condiciones de la plantación, que son determinantes para la obtención del rendimiento en cada sitio. En este mismo

sentido, señalaron que las recomendaciones que se realizan en plátanos y bananos sobre el N y el K, generalmente no consideran en su totalidad los rendimientos obtenidos en diferentes condiciones agroclimáticas, tampoco la contribución de los nutrientes nativos presentes en el suelo y con frecuencia se recomiendan dosis fijas de nutrientes para áreas de producción muy grandes.

Ciampitti y García (2008) y Fixen *et al.* (2015) han señalado que el balance de nutrientes es la manera más sencilla de establecer la eficiencia de recuperación de los nutrientes, generalmente expresada como la cantidad de nutrientes que son absorbidos y que son exportados en un sistema definido en el espacio y el tiempo (una relación de “eliminación a uso”). En general, estos balances se consideran para la capa de suelo explorada por las raíces en períodos anuales. Los balances pueden resultar deficitarios o acumulativos generándose situaciones de pérdida (egreso > ingreso) o de ganancia (ingreso > egreso).

En la medida que el BPN es cercano a 1 sugiere que la fertilidad del suelo se mantendrá estable. Sin embargo, dado que el cálculo del balance es parcial y la pérdida de nutrientes por procesos, como la erosión y la lixiviación, generalmente no se incluyen, el uso de un BPN de 1 como indicador de la sostenibilidad de la fertilidad del suelo puede ser engañoso, particularmente en regiones con suelos de baja fertilidad natural, bajos insumos y producción (Fixen *et al.*, 2015). Cuando el BPN es mayor que 1 significa que se eliminan más nutrientes con el cultivo cosechado que los que se aplican con fertilizantes y/o estiércol, una situación equivalente a la “extracción de nutrientes del suelo”. Esta situación puede ser deseable si se sabe que los contenidos de nutrientes disponibles en el suelo son más altos de lo recomendado. Sin embargo, en los casos en que la concentración de nutrientes del suelo es igual o inferior a los niveles recomendados, BPN > 1 debe considerarse insostenible (Brentrup y Palliere, 2010).

La fijación biológica de N, los nutrientes recuperables del estiércol, los biosólidos, el agua de riego y la atmósfera pueden ser fuentes de nutrientes además del fertilizante. Los valores muy por debajo de 1, donde los aportes de nutrientes superan con creces la eliminación de nutrientes, podrían sugerir pérdidas de nutrientes evitables y, por lo tanto, la necesidad de mejorar EUN (Snyder y Bruulsema, 2007).

## CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

Los nutrientes con mayor exportación por los frutos tanto en la UTE como en la ULEAM fueron K, Ca y N, lo cual corrobora la importancia de realizar un adecuado balance de estos elementos ya que la relación N/K es crucial para el paso de la planta de la fase de crecimiento vegetativo a reproductivo; por otro lado, el K es elemento importante en la calidad de los frutos. Los excesos de Ca y Mg pueden conducir a deficiencias de K.

LA  $EA_N$ , el  $FPP_N$  y  $BPN_N$  fue mayor en ambas localidades que los mismos índices relacionados al K; por lo que, los índices de eficiencia del uso de los nutrientes están influenciados por las cantidades de nutrientes aplicados, por la fertilidad natural del suelo y por factores tales como lixiviación, absorción, exportación, retención y etapa fenológica en la cual se encuentre el cultivo bajo evaluación.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avellán, L., Calvache, M. y Cobeña, N.** (2015). Curvas de absorción de nutrientes por el cultivo del plátano Barraganete (*Musa paradisiaca* L.). *Revista Tzafiqui*, 7, 116. doi: <https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v0i7.271>
- Bates, T.R. y Lynch, J.P.** (1996). Stimulation of root hair elongation in *Arabidopsis thaliana* by low phosphorus availability. *Plant Cell Environ*, 19, 529-538. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1996.tb00386.x>
- Baule, B.** (1917). Mitscherlich's law of physiological relations (In German). *Landwirtschaftl Jahrb*, 51, 363-385.
- Bertsch, F.** (2005). Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones Agronómicas*, 57, 1-10. Recuperado de: [http://www.nuprec.com/Nuprec\\_Sp\\_archivos/CAFE/CAFETO\\_archivos/Literatura%20Cafe/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf](http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/CAFE/CAFETO_archivos/Literatura%20Cafe/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf)
- Blackman, F.F.** (1905). Optima and limiting factors. *Annals of Botany*, 19(2), 281-296. doi: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a089000>
- Brentrup, F. y Palliere, C.** (2010). Nitrogen use efficiency as an agroenvironmental indicator. En *Proceedings of the OECD Workshop on Agrienvironmental Indicators, March 23-26. Leysin, Switzerland*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/312595805\\_Nitrogen\\_Use\\_Efficiency\\_as\\_an\\_Agro-Environmental\\_Indicator](https://www.researchgate.net/publication/312595805_Nitrogen_Use_Efficiency_as_an_Agro-Environmental_Indicator)
- Bruulsema, T.W., Witt, C., García, F., Li, S., Rao, T.N., Chen, F. y Ivanova, S.** (2008). A global framework for fertilizer BMPs. *Better Crops with Plant Food*, 92, 13-15. Recuperado de: [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/606B-93C6282AC53F852579800080110A/\\$FILE/Better%20Crops%202008-2%20p13.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/606B-93C6282AC53F852579800080110A/$FILE/Better%20Crops%202008-2%20p13.pdf)
- Cadahía, C.** (2005). *Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales* (3ª ed.). Madrid, España: Mundi Prensa.
- Cakmak, I. y Yazici, A.** (2010). Magnesio: El elemento olvidado en la producción de cultivos. *Informaciones Agronómicas*, 94(2), 23-25. Recuperado de: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahep.nsf/0/80910020DC5AEE-A6852579A0006A1A3D/\\$FILE/2.%20Magnesio.%20El%20elemento%20olvidado.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahep.nsf/0/80910020DC5AEE-A6852579A0006A1A3D/$FILE/2.%20Magnesio.%20El%20elemento%20olvidado.pdf)

- Cheesman, E.E.** (1947-1949). *Classification of the bananas*. Kew Bulletin, 1947:106-117. 1948: 11-28, 145-157, 323-328. 1949: 23-28, 133-137, 265-272, 445-449.
- Cheraghi, M., Lorestani, B., Merrikhpour, H. y Rouniasi, N.** (2013). Heavy metal risk assessment for potatoes grown in overused phosphate-fertilized soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 1825-1831. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2670-5>
- Ciampitti, I. A. y García, F.O.** (2008). Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. *Revista Horizonte*, IV, 22-28. Recuperado de: [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/53b43dad9c126e27032579050071b657/\\$FILE/Ciampitti%20y%20Garcia%20-%20Balances%20y%20Eficiencia%20Nutrientes%202007.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/53b43dad9c126e27032579050071b657/$FILE/Ciampitti%20y%20Garcia%20-%20Balances%20y%20Eficiencia%20Nutrientes%202007.pdf)
- Clarkson, D.T. y Hanson, J.B.** (1980). The mineral nutrition of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 31(1), 239-298. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.001323>
- Combatt, E.M., Martínez, G. y Barrera, J.L.** (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 Uraba-Antioquia. *Revista de Temas Agrarios*, 9, 5-12. doi: <https://doi.org/10.21897/rta.v9i1.618>
- Conyers, M.K., Bell, M.J., Wilhelm, N.S., Bell, R., Norton, R.M. y Walker, C.** (2013). Making better fertiliser decisions for cropping systems in Australia (BFDC): Knowledge gaps and lessons learnt. *Crop and Pasture Science*, 64(5), 539-547. doi: <https://doi.org/10.1071/CP13068>
- Craine, J.M., Morrow, C. y Stock, W.D.** (2008). Nutrient concentration ratios and co-limitation in South African grasslands. *New Phytologist*, 179, 829-836. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02513.x>
- Cruzate, G. y Casas R.** (2009). Extracción de nutrientes en la agricultura Argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur (IPNI)*, 44, 21-26. Recuperado de: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-extraccion\\_de\\_nutrientes.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-extraccion_de_nutrientes.pdf)
- Cruzate, G.A. y Casas, R.R.** (2012). Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *IAH*, 6, 7-14. Recuperado de: [http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/20982/mod\\_resource/content/1/Nutrientes%20%20Cruzate%20%20Casas.pdf](http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/20982/mod_resource/content/1/Nutrientes%20%20Cruzate%20%20Casas.pdf)

- Cruz, J., Casanova, E.L., Lobo, D.E., Rodríguez y., Martínez, G., Rey, J.C. y Figueroa, R.** (2011). *Eficiencia agronómica y económica del manejo de la fertilización en banano en un suelo de la depresión del Lago de Valencia*. Universidad Central de Venezuela. Recuperado de: [http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/CVCS19/uso\\_manejo\\_suelo/UMS15.pdf](http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/CVCS19/uso_manejo_suelo/UMS15.pdf)
- Davidson, E.A. y Howarth, R.W.** (2007). Environmental science: nutrients in synergy. *Nature*. 449, 1000-1001. doi: <https://doi.org/10.1038/4491000a>
- DeVries, O.** (1939). Yield curves and yield laws; the interaction of the growth factors (In Dutch). *Landbouwk Tijdschr*, 51, 727-763.
- De Wit, C.D.** (1992). Resource use efficiency in agriculture. *Agricultural Systems*, 40, 125-151. doi: [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(92\)90018-J](https://doi.org/10.1016/0308-521X(92)90018-J)
- Dobermman, A.R.** (2005). *Nitrogen use efficiency. State of the art*. Agronomy & Horticulture. Faculty Publications. Recuperado de: <http://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/316>
- Elser, J.J., Bracken, M.E., Cleland, E.E., Gruner, D.S., Harpole, W.S. y Hillebrand, H.** (2007). Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10, 1135-42. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x>
- Escudero, A. y Mediavilla, S.** (2003). Dinámica interna de los nutrientes. *Ecosistemas*, XII(1), 1-8.
- Espinosa, J. y Belalcázar, S.** (1998). *Fertilization of plantain in high densities*. Recuperado de: [http://www.ipni.net/publication/bci.nsf/0/5CA8DBC-8F51A6A4385257BBA006D6110/\\$FILE/Better%20Crops%20International%202000-1%20p16.pdf](http://www.ipni.net/publication/bci.nsf/0/5CA8DBC-8F51A6A4385257BBA006D6110/$FILE/Better%20Crops%20International%202000-1%20p16.pdf). Fecha de consulta: octubre 2019.
- Espinosa, J. y López, A.** (1995). *Manual de fertilización y nutrición del banano*. Quito, Ecuador: INPOFOS.
- Espinosa, J. y Mite, F.** (2008). *Búsqueda de eficiencia en el uso de nutrientes en banano*. Publicaciones IPNI.
- European Commission.** (1991). *Official Journal of the European Communities*. Brussels, Belgium.
- European Environment Agency.** (2017). *NEC Directive reporting status 2017- The need to reduce air pollution in Europe*. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency.

- Evans, L.T.** (1998). *Feeding the ten billion: plants and population growth*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. y Li y.C.** (2008). The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 1121-1257. doi: <https://doi.org/10.1080/01904160802116068>
- Fang, Z., Shao, C., Meng y., Wu, P. y Chen, M.** (2009). Phosphate signaling in *Arabidopsis* and *Oryza sativa*. *Plant Science*, 176(2), 170-180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.09.007>
- Fixen, P.** (2005). *Decision support systems in integrated crop nutrient management*. Proceedings, 569. York, United Kingdom: The International Fertiliser Society.
- Fixen, P.** (2009). *Eficiencia de uso de nutrientes en el contexto de agricultura sostenible*. p. 1-10. En Espinosa J. y García, F. (Eds.). *Memorias del Simposio Uso eficiente de nutrientes. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Fixen, P.** (2016). Evidence-based agronomy: Filling the gaps in soil fertility/nutrient management data. *Great Plains Soil Fertility Conference. Vol. 16. Denver, CO*.
- Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema, T.W., García, F., Norton, R. y Zingore, S.** (2015). Nutrient fertilizer use efficiency: Measurement, current situation and trends, 8-38. En Drechsel, P., Heffer, P., Magen, H., Mikkelsen, R. y Wichelns, D. (Eds.). *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification. International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI), and International Potash Institute (IPI)*. Paris, France: Copyright 2015 IFA, IWMI, IPNI and IPI.
- Frink, C.R., Waggoner, P.E. y Ausubel, J.H.** (1999). Nitrogen fertilizer: retrospect and prospect. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(4), 1175-1180. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.96.4.1175>
- Furcal-Beriguete, P. y Barquero-Badilla, A.** (2014). Fertilización del plátano con nitrógeno y potasio durante el primer ciclo productivo. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 267-278. doi: <https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15429>
- Garnier, E. y Aronson, J.** (1998). Nitrogen-use efficiency from leaf to stand level: clarifying the concept, 515-538. En Lambers, H., Poorter, H. y Van Vuuren, M.M.I. (Eds.). *Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences*. Backhuys Publishers, Leyden.

- Gleeson, S.K. y Tilman, D.** (1992). Plant allocation and the multiple limitation hypothesis. *The American Naturalist*, 139, 1322-1343. doi: <https://doi.org/10.1086/285389>
- González, O.H., Luna, G.R. y Quintero, V.F.** (2006). Respuesta del plátano África a la fertilización edáfica con nitrógeno y potasio. *Agronomía*, 14(1), 81-88.
- Guo, W.** (2017). Magnesium homeostasis mechanisms and magnesium use efficiency in plants. p. 197-213. En Anwar Hossain, M., Kamiya, T., Burritt, D.J., Phan Tran, L.-S. y Fujiwara, T. (Eds.). *Plant macronutrient use efficiency*. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811308-0.00011-9>
- Halliday, D.J. y Trenkel, M.E.** (1992). *IFA World fertilizer use manual*. Paris, Francia.
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S. y Nelson, W.** (2005). *Soil fertility and fertilizers* (7ª ed.). Upper Saddle River, New Jersey, EE.UU.: Pearson Education Inc.
- Hinsinger, P.** (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*, 237(2), 173-195.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2015). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC 2015)*. Producción de banano. Recuperado de: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2014-2015/2015/Presentacion%20de%20resultados%20ESPAC\\_2015.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2014-2015/2015/Presentacion%20de%20resultados%20ESPAC_2015.pdf). Fecha de consulta: septiembre 2019.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2017). *Anuario meteorológico*. Recuperado de: [www.serviciometereologico.gob.ec/wpcontent/uploads/anuarios/metereologicos/Am2017.pdf](http://www.serviciometereologico.gob.ec/wpcontent/uploads/anuarios/metereologicos/Am2017.pdf)
- Jiménez, F.** (2017). La importancia de la nutrición con magnesio y azufre en el cultivo de la papa. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 26(3), 30-34.
- Kho, R.M.** (2000). On crop production and the balance of available resources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 80, 71-85.
- Kratz, S., Godlinski, F. y Schnug, E.** (2011). *Heavy metal loads to agricultural soils in Germany from the application of commercial phosphorus fertilizers and their contribution to background concentration in soils*. p. 755-762. En *The New Uranium Mining Boom*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Koerselman, W. y Meuleman, A.F.** (1996). The vegetation N: P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 33, 1441-1450. doi: <https://doi.org/10.2307/2404783>

- Leigh, R.A. y Wyn Jones, R.G.** (1984). A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytologist*, 97(1), 1-13. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1984.tb04103.x>
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., Simpson, D., Sutton, M.A., De Vries, W., Weiss, F. y Westhoek, H.** (2015). Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 10, 1-13.
- Liebscher, G.** (1895). Untersuchungen über die Bestimmung des Düngerbedürfnisses der Ackerböden und Kulturpflanzen. *J. Landwirtschaft*, 43, 49-125.
- López, A. y Espinosa, J.** (1995). *Manual de nutrición y fertilización del banano*. International Plant Nutrition Institute. Quito, Ecuador. 86 p.
- Marschner, H.** (2012). *Mineral nutrition of higher plants* (3ª ed.). Academic Press. London.
- Melgar, R.** (2014). Las innovaciones en la eficiencia del uso de nutrientes. *Fertilizar*, 28(4), 1-5.
- Mitra, G.N.** (2015). *Regulation of nutrient uptake by plants*. India: Springer.
- Mitscherlich, E.A.** (1909). The law of the minimum and the law of diminishing soil productivity (In German). *Landwirtschaftl Jahrb*, 38, 537-552.
- Muñoz, R.** (1995). Fertilización del plátano (*Musa AAB*, Simonds) en suelos de clima medio en Colombia. p. 175-184. En: Guerrero, R. (Ed.). *Fertilización de cultivos en clima medio*. Capítulo 11. Venezuela: Monómeros Colombo Venezolano S.A.
- Navarro, G. y Navarro, S.** (2003). *Química agrícola* (2ª ed.). Mundi-Prensa Libros.
- Norton, R., Davidson, E. y Roberts, T.** (2015). *Nitrogen use efficiency and nutrient performance indicators*. Global Partnership on Nutrient Management Task Team Workshop. Washington, DC. p. 1-14.
- Oenema, J., Burgers, S., Verloop, K., Hooijboer, A., Boumans, L. y Ten Berge, H.** (2010). Multiscale effects of management, environmental conditions, and land use on nitrate leaching in dairy farms. *Journal of Environmental Quality*, 39, 2016-2028. doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0035>

- Palencia, G.E., Gómez, S.R. y Martín S., J.E.** (2006). *Manejo sostenible del cultivo de plátano*. Colombia: CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria).
- Patiño, M.** (2015). *Efecto de la fertilización convencional y orgánica en el rendimiento de fruta y en la evolución de la macrofauna edáfica del cultivo del plátano*. Tesis para optar al título de Magister. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial, Dirección General de Posgrados.
- Power, A.G.** (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365, 2959-2971. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
- Quintero, R.** (1995). Fertilización y nutrición, 153-177. En Cassalet, D., Torres, A., e Isaacs, E. (Eds.). *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Cali, Colombia.
- Rabinowitch, E.L.** (1951). *Photosynthesis and related processes*. Vol. II, Part 1. New York: Interscience Publishers, pp. 858-885.
- Reich, M.** (2017). *The significance of nutrient interactions for crop yield and nutrient use efficiency*, 65-82. En *Plant macronutrient use efficiency*. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811308-0.00004-1>
- Rillo, S. y Richmon, P.** (2005). Evaluación de tres criterios de fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz en siembra directa en un suelo Hapludol. *Revista de Tecnología Agropecuaria INTA*, 9, 43-47.
- Sadras, V.O.** (2005). A quantitative top-down view of interactions between stresses: theory and analysis of nitrogen- water co-limitation in Mediterranean agro-ecosystems. *Crop & Pasture Science*, 56, 1151-1157. doi: <https://doi.org/10.1071/AR05073>
- Shin, R.** (2017). Potassium sensing, signaling, and transport: toward improved potassium use efficiency in plants, 149-163. En: Anwar Hossain, M., Kamiya, T., Burritt, D.J., Phan Tran, L.-S. y Fujiwara, T. (Eds.). *Plant macronutrient use efficiency*. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811308-0.00008-9>
- Simmonds, N.W. y Shepherd, K.** (1955). The taxonomy and origins of the cultivated bananas. *Journal of the Linnaean Society*, 55, 302-312. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1955.tb00015.x>
- Sims, J.T.** (2000). *Soil fertility evaluation*, 113-153. En Sumner M.E. (Ed.). *Handbook of Soil Science*. Boca Raton, FL.: CRC Press.

- Snyder, C. y Bruulsema, T.** (2007). *Nutrient use efficiency and effectiveness in North America: Indices of agronomic and environmental benefit*. Norcross, USA: International Plant Nutrition Institute.
- Snyder, C., Bruulsema, T., Casarin, V., Chen, F., Jaramillo, R., Jensen, T., ... Tu, S.** (2011). Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero por medio de la intensificación agrícola. *Información Agronómicas de Hispanoamérica*, 1, 30-32. Recuperado de: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/FF5A04A9EA65B3FB8525799E0055DD0F/\\$FILE/Reducci%C3%B3n%20de%20la%20emisi%C3%B3n%20de%20gases%20de%20efecto%20invernadero.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/FF5A04A9EA65B3FB8525799E0055DD0F/$FILE/Reducci%C3%B3n%20de%20la%20emisi%C3%B3n%20de%20gases%20de%20efecto%20invernadero.pdf)
- Snyder, C., Bruulsema, T. y Jensen, T.** (2007). Best management practices to minimize greenhouse gas emissions associated with fertilizer use. *Better Crops*, 91(4), 16-18.
- Snyder, C.S., Davidson, E.A., Smith, P. y Venterea, R.T.** (2014). Agriculture: sustainable crop and animal production to help mitigate nitrous oxide emissions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 9-10, 46-54.
- Soto, M.** (1992). *Bananos: Cultivo y comercialización* (2ª ed.). San José, Costa Rica: Litografía e Imprenta LIL.
- Spiertz, J.H.J. y Ewert, F.** (2009). Crop production and resource use to meet the growing demand for food, feed and fuel: opportunities and constraints. *Njas- Wageningen Journal of Life Sciences*, 56, 281-300. doi: [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(09\)80001-8](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(09)80001-8)
- Stoate, C., Boatman, N.D., Borralho, R.J., Carvalho, C.R., De Snoo, G.R. y Eden, P.** (2001). Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Economics and Management*, 63(4), 337-365. doi: <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0473>
- Stover, R.H. y Simmonds, N.W.** (1987). *Bananas*. London : Longmans.
- Taiz, L. y Zeiger, E.** (2012). *Mineral nutrition*. p. 107-130. En *Plant physiology*. Sinauer Associates Inc. Massachusetts, USA: Publishers Sunderland.
- Thompson, A.K.** (2011). *Banana (Musa spp.)*. p. 216–244e. En: *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Capítulo 10.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. y Polasky, S.** (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. doi: <https://doi.org/10.1038/nature01014>

- Tumbaco, A., Patiño, M., Tumbaco, J. y Ulloa, S.** (2015). *Manual del cultivo de plátano de exportación*. Ulloa, S. (Ed.). EDI-ESPE, Sangolquí, Ecuador.
- Vaca, D. y Calvache, M.** (2008). Fertiliego y fertilización sólida en el cultivo de plátano *Musa AAB*. El Carmen. Manabí. *Revista Eidos*, 1, 1-8.
- Van Es, H.M., Sogbedji, J.M. y Schindelbeck, R.R.** (2006). Effect of manure application timing, crop, and soil type on nitrate leaching. *Journal of Environmental Quality*, 35, 670-679. doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0143>
- Van Leeuwen, M.M.W.J., van Middelaar, C.E., Oenema, J., van Dam, J.C., Stoorvogel, J.J., Stoof, C.R. y de Boer, I.J.M.** (2019). The relevance of spatial scales in nutrient balances on dairy farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 269, 125-139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.09.026>
- Vázquez, C.R., Romero, C.A., Figueroa, V.J. y Munro, O.D.** (2005). *Paquete tecnológico para el cultivo de plátano*. México: Gobierno del Estado de Colima.
- Ventimiglia, L., Carta, H. y Rillo, S.** (2003). *Exportación de nutrientes en campos agrícolas*.
- Vivas-Cedeño, J.S., Robles-García, J.O., González-Ramírez, I., Álava-Cruz, D.A. y Meza-Loor, M.A.** (2018). Fertilización del plátano con nitrógeno, fósforo y potasio en cultivo establecido. *Dominio de las Ciencias*, 4, 633-647.
- Von Liebig, J.** (1855). *Die Grundsätze der Agriculture–Chemie mit Rücksicht auf die in England angestellten Untersuchungen*. Braunschweig, Germany: Vieweg und Sohn.
- Weissert, C. y Kehr, J.** (2017). *Macronutrient sensing and signaling in plants*. p. 45-64. En Anwar Hossain, M., Kamiya, T., Burritt, D.J., Phan Tran, L.-S. y Fujiwara, T. (Eds.). *Plant macronutrient use efficiency: Molecular and genomic perspectives in crop plants*. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-8111308-0.00003-x>

Ingeniería y Tecnología

