



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

Informe del trabajo experimental para la obtención del título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN LA PLANTA DE**  
**PIMIENTA NEGRA (*Piper nigrum*)**

**Autora**

**LILIANA LISBETH ZÚÑIGA SÁNCHEZ**

**Director**

**RODRIGO ALBERTO SAQUICELA ROJAS, MSc.**

**Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador**

**JUNIO - 2017**

**ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN LA PLANTA DE PIMIENTA NEGRA**  
*(Piper nigrum)*

Ing. Rodrigo Saquicela, *MSc.*

**DIRECTOR**

---

**APROBADO**

Dr. Marco Acosta, *MSc.*

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Wilson Rivas, *MSc.*

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Jorge Orellana, *MSc.*

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Santo Domingo,.....de.....2017.

Autor : **LILIANA LISBETH ZÚÑIGA SÁNCHEZ**

Institución: **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

Título: **ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN LA PLANTA  
DE PIMIENTA NEGRA (*Piper nigrum*)**

Fecha: **JUNIO, 2017**

El contenido del presente trabajo, está bajo la responsabilidad de la autora y no ha sido plagiado.



---

**Liliana Lisbeth Zúñiga Sánchez**

**C.I. 1721385217**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

**INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Santo Domingo, 12 de junio de 2017.

Dr. Marco Acosta, *MSc.*

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

Presente.

De mis consideraciones.-

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo escrito de titulación realizado por la señorita: **LILIANA LISBETH ZÚÑIGA SÁNCHEZ**, cuyo título es: “**ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN LA PLANTA DE PIMIENTA NEGRA (*Piper nigrum*)**”; ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, el mismo que no ha sido plagiado, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Atentamente,



---

Ing. Rodrigo Saquicela, *MSc.*

## DEDICATORIA

*Primeramente agradezco al padre creador del cielo y la tierra por haber puesto en mi camino a las personas adecuadas en el momento oportuno y de una manera desinteresada me tendieron una mano y siempre creyeron en mí y estuvieron en los momentos más difíciles y que de mi van a recibir lealtad y eterna gratitud.*

*Agradezco a mi abuelita María Esther por sus consejos y anécdotas ya que han sido una fuente de inspiración y superación ante las adversidades demostrándome así que no existen sueños imposibles, cuando para ellos se trabajan.*

*A mi tío Nelson ya que él fue un apoyo y la clara representación de mi abuelito José Adán ya que el lleno el vacío su ausencia en nuestros corazones.*

*A mis queridos sobrinos Justin, Kerly y Flor porque ellos son mi razón y fuerza para culminar mis estudios ya que tengo que ser un ejemplo para ellos.*

*A mí querido Jimmy por haberme brindado su ayuda, sus consejos y haber estado junto a mí en este arduo camino.*

*A mi Director el Ing. Rodrigo Saquicela por su orientación, y ayuda incondicional para la culminación de este trabajo de titulación, por su apoyo y amistad brindada.*

*A la Prestigiosa Universidad Tecnológica Equinoccial por formarme como una profesional y persona.*

*Y a todas las personas que colaboraron con un granito de arena, no los nombro, no por ser menos importantes, en este sueño hecho realidad ya que sin su ayuda hubiera sido más difícil lograrlo.*

## AGRADECIMIENTO

*El presente trabajo de titulación se lo agradezco a Dios por haberme guiado por el buen camino y darme las fuerzas que he necesitado para no desfallecer y seguir adelante superando las adversidades que se me presentaron en el trayecto.*

*A mis padres por ser un pilar fundamental en todo lo que soy, en mi educación tanto académica como de la vida, porque en gran parte gracias a ustedes voy a alcanzar mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera les agradezco con amor y cariño.*

*A mi Madre Herminia*

*Por haberme apoyado en todo momento, y haber sembrado en mí esa semillita de superación y anhelo de triunfo en la vida, por sus consejos, sus valores, por creer en mí.*

*A mi Padre Gerardo*

*Por haber fomentado en mí la perseverancia, por enseñarme a ser mejor persona, por haberme dado la oportunidad de superarme en la vida; eres el mejor padre del mundo.*

*A mi abuelita Esther por su apoyo, sus palabras, por su ejemplo de superación, sus consejos siempre te llevare en mi corazón eres mi mejor ejemplo a seguir.*

*A mis hermanos Jessica y Joe, sé que tengo que ser un ejemplo de perseverancia y motivarlos a que sean unos profesionales.*

*A mi familia y amigos por ser parte de mi vida y porque me han demostrado que están en las buenas y las malas.*

*A mi Abuelito José Adán, sé que si tú estuvieras aquí te sentirías muy orgulloso y que todos tus esfuerzos y sacrificios valieron la pena.*

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**  
**PROYECTO DE TITULACIÓN**

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1721385217
APELLIDO Y NOMBRES:	Liliana Lisbeth Zúñiga Sánchez
DIRECCIÓN:	Urb. Zambrano
EMAIL:	Lilianalisbeth23@yahoo.es
TELÉFONO FIJO:	2-753507
TELÉFONO MOVIL:	0999411989

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Absorción de nutrientes en la planta de pimienta negra ( <i>Piper nigrum</i> )
AUTOR O AUTORES:	Liliana Lisbeth Zúñiga Sánchez
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Junio 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Rodrigo Saquicela, MSc.
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agropecuaria
RESUMEN: Mínimo 250 y máximo 1000 palabras	El conocer los nutrientes que absorben las plantas es importante para elaborar un plan de fertilización. Se investigó la absorción de macro y micronutrientes por el cultivo de pimienta negra

	<p>(<i>Piper nigrum</i>) en Santo Domingo, Ecuador. En febrero de 2017 se diseccionaron tres plantas de pimienta en sus órganos: raíces, tallos, ramas, inflorescencias, hojas, racimos tiernos, frutos y pedúnculos. El cultivo estuvo establecido y tenía 1,5 años de edad, sembrado a una densidad de 2500 plantas ha<sup>-1</sup>. Se analizó la absorción de nutrientes por la planta por medio de los modelos lineales generales y mixtos. Las medias se compararon con la prueba Di Renzo, García y Casanoves (DGC). Se usó <math>\alpha = 0,05</math>. Se observó que las hojas fue el órgano que produjo más cantidad (<math>P &lt; 0,05</math>) de materia seca (568,6 kg ha<sup>-1</sup> <math>\pm</math> 17,1 kg ha<sup>-1</sup>), así mismo fue el órgano común que absorbió la mayor cantidad de macro y micronutrientes. Los nutrientes más (<math>P &lt; 0,05</math>) absorbidos fueron el Ca, N y K. La planta absorbió, en promedio <math>\pm</math> error estándar, los siguientes macronutrientes, en kilogramos por hectárea: N, 97,9 <math>\pm</math> 1,2; K, 92,6 <math>\pm</math> 4,6; Ca, 86,4 <math>\pm</math> 3,2; Mg, 9,4 <math>\pm</math> 0,2; S, 2,4 <math>\pm</math> 0,6 y P, 2,2 <math>\pm</math> 0,3. Los micronutrientes, en gramos por hectárea: Fe, 801 <math>\pm</math> 82,9 a; Mn, 328,8 <math>\pm</math> 17,8; Zn, 114,7 <math>\pm</math> 7,2; B, 96,3 <math>\pm</math> 4,4; Cu, 75,5 <math>\pm</math> 3,5. Estos resultados indican las cantidades que se tendrían en consideración para la elaboración del plan de fertilización del cultivo.</p>
<p><b>PALABRAS CLAVES:</b></p>	<p>Pimienta negra, absorción de nutrientes, absorción por la cosecha</p>
<p><b>ABSTRACT:</b></p>	<p>Knowing about the nutrients that the plants absorb is important to work out a plan of fertilization. The absorption of macro- and micronutrients by the cultivation of black pepper (<i>Piper nigrum</i>) was investigated in Santo Domingo, Ecuador. By February 2007, three pepper plants were dissected in their roots, stems, branches, inflorescences, leaves, tender bunches, and fruits. The crop was settled with an average age of 1.5</p>



	<p>years; additionally, it was sown to a thickness of 2500 plants ha-1 and it was analyzed the absorption of nutrients from the plant by the general and mixed linear models. The means were compared with the test Di Renzo, Garcia y Casanoves (DGC). <math>\alpha = 0,05</math> was used. It was noted that the leaves were the organ that produced more quantity of dry matter (<math>P &lt; 0, 05</math>) (<math>568, 6 \text{ kg ha}^{-1} \pm 17, 1 \text{ kg ha}^{-1}</math>), furthermore, it was the common organ that absorbed the greater amount of macro- and micronutrients. The most absorbed nutrients (<math>P &lt; 0, 05</math>) were Ca, N and K. The plant absorbed in average <math>\pm</math> standard error, the following macronutrients, in kilograms per hectare: N, <math>97,9 \pm 1,2</math>; K, <math>92,6 \pm 4,6</math>; Ca, <math>86,4 \pm 3,2</math>; Mg, <math>9,4 \pm 0,2</math>; S, <math>2,4 \pm 0,6</math> and P, <math>2,2 \pm 0,3</math>. Micronutrients, in grams per hectare: Fe, <math>801 \pm 82,9</math> a; Mn, <math>328,8 \pm 17,8</math>; Zn, <math>114,7 \pm 7,2</math>; B, <math>96,3 \pm 4,4</math>; Cu, <math>75,5 \pm 3,5</math> These findings indicate the estimated quantities that should be considered to work out the plan of fertilization.</p>
<p><b>KEYWORDS</b></p>	<p>Black pepper, nutrient absorption, harvest absorption.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: \_\_\_\_\_

LILIANA LISBETH ZÚÑIGA SÁNCHEZ  
CI.1721385217

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **LILIANA LISBETH ZÚÑIGA SÁNCHEZ**, CI: 1721385217, autora del proyecto titulado:

**“ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN LA PLANTA DE PIMIENTA NEGRA (*Piper nigrum*)”** previo a la obtención del título de **INGENIERA AGROPECUARIA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 19 de junio 2017



F: \_\_\_\_\_

LILIANA LISBETH ZÚÑIGA SÁNCHEZ

CI.1721385217

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Portada.....	I
Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal.....	II
Responsabilidad del autor.....	III
Aprobación del Director.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Formulario de registro bibliográfico.....	VII
Declaración y autorización.....	X
Índice de contenido.....	XI
Índice de tablas.....	XII
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Sitio del estudio.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Diseño del muestreo .....</b>	<b>3</b>
<b>2.3. Manejo del cultivo .....</b>	<b>5</b>
<b>2.4. Medición de variables .....</b>	<b>5</b>
<b>2.5. Análisis estadístico .....</b>	<b>6</b>
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Macronutrientes .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Micronutrientes .....</b>	<b>11</b>
<b>IV. CONCLUSIONES.....</b>	<b>17</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>18</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

1	Características físicas, químicas y promedios $\pm$ error estándar del suelo de las plantas muestreadas de pimienta negra ( <i>Piper nigrum</i> ), a 20 cm de profundidad, de 1,5 años de edad y plantadas a una densidad de 2 500 plantas ha <sup>-1</sup> en Santo Domingo, Ecuador. El análisis de suelo se hizo con el método Olsen modificado	4
2	Promedio ( $n = 3$ ) $\pm$ error estándar de la concentración de macronutrientes (%) y de materia seca (%) de los órganos de la planta de pimienta negra ( <i>Piper nigrum</i> ) a los 1,5 años de edad, plantada a una densidad de 2 500 plantas ha <sup>-1</sup> , en Santo Domingo, Ecuador.	8
3	Promedio ( $n = 3$ ) $\pm$ error estándar de la absorción de macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> ) y materia seca (kg ha <sup>-1</sup> ) de los órganos de la planta de pimienta negra ( <i>Piper nigrum</i> ) a los 1,5 años de edad, plantadas a una densidad de 2 500 plantas ha <sup>-1</sup> , en Santo Domingo, Ecuador.	10
4	Promedio ( $n = 3$ ) $\pm$ error estándar del requerimiento de macronutrientes y micronutrientes por los racimos maduros frescos de la pimienta negra ( <i>Piper nigrum</i> ) para producir la 1 t de cosecha de racimos maduros frescos, en una plantación de 1,5 años de edad, plantada a una densidad de 2 500 plantas ha <sup>-1</sup> , en Santo Domingo, Ecuador.	12
5	Promedio ( $n = 3$ ) $\pm$ error estándar de la concentración de micronutrientes (mg [kg de materia seca] <sup>-1</sup> ) y de materia seca (%) de los órganos de la planta de pimienta negra ( <i>Piper nigrum</i> ) de 1,5 años de edad, plantada a una densidad de 2 500 plantas ha <sup>-1</sup> , en Santo Domingo, Ecuador	14
6	Promedio ( $n = 3$ ) $\pm$ error estándar de la absorción de micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> ) y materia seca (kg ha <sup>-1</sup> ) de los órganos de la planta de pimienta negra ( <i>Piper nigrum</i> ) de 1,5 años de edad, plantada a una densidad de 2 500 plantas ha <sup>-1</sup> , en Santo Domingo, Ecuador	15
7	Relación entre los contenidos nutricionales promedios ( $n = 3$ ) del suelo y foliar de las plantas de pimienta negra ( <i>Piper nigrum</i> ), por medio del Sistema de Diagnóstico Integrado de Recomendación (DRIS), en una plantación de 1,5 años de edad, plantada a una densidad de 2 500 plantas ha <sup>-1</sup> , en Santo Domingo, Ecuador. El B no se incluyó en el diagnóstico por la inexistencia de la norma	16

## I. INTRODUCCIÓN

La producción mundial de pimienta negra (*Piper nigrum*) alcanzó las 472 526 t en 2013. En Ecuador se han registrado 1 246 ha cultivadas en el 2010 con una producción total de 2 528 t en el 2013. El rendimiento en Ecuador no ha superado las 2,3 t ha<sup>-1</sup>; mientras que otros países, como Camboya, llega a producir 4,6 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2015). En Santo Domingo de los Tsáchilas se registró 1 053 ha en el 2000 (Cáceres 2002).

El cultivo de pimienta negra es de vital importancia para los agricultores ya que requiere de poca de extensión de terreno.

Es importante investigar la nutrición de la pimienta negra para incrementar producción; ya que constituye uno de los factores más importante del manejo del cultivo. Las plantas adecuadamente nutridas son más productivas.

Los nutrientes cumplen funciones vitales en las plantas. El nitrógeno (N) y azufre (S) son los principales constituyentes de la materia orgánica. El fósforo (P) participa en procesos de transferencia de energía, el boro (B) y el silicio (Si) se esterifica con grupos alcohólicos. El potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y manganeso (Mn) intervienen en la regulación del potencial osmótico, en la activación enzimática, como contra iones y en el control de la permeabilidad de las membranas. El hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo) habilitan el transporte de electrones por cambios en la valencia (Marschner y Marschner, 2012).

Es así que N y K son los elementos más requeridos por la pimienta negra para su producción. Según Ann (2012) esta planta absorbe 293 kg N ha<sup>-1</sup>; 265 kg K ha<sup>-1</sup>; 46,4 kg de P ha<sup>-1</sup>; 35,4 kg de Mg ha<sup>-1</sup>; 74,8 kg de Ca ha<sup>-1</sup> durante un ciclo de 30 meses de producción.

La cosecha de los cultivos también absorbe nutrientes como el resto de órganos de la planta. La cosecha sale del campo y se lleva consigo los nutrientes absorbidos (Bertsch, 2003). Un aspecto del manejo de la nutrición vegetal a largo plazo es la reposición de nutrientes de la cosecha (Bruuselma et al., 2013).

Se ha reportado que la cosecha de 1 ha de pimienta absorbe en los frutos 52,4 kg de N; 5 kg de P; 28,8 kg de K; 17,9 kg de Ca; 5,5 kg de Mg (Partelli, 2009).

El conocer la absorción de nutrientes por los órganos de la pimienta negra permitirá afinar su manejo para mantener la fertilidad del suelo, a través de la devolución de los elementos extraídos por el cultivo (Bertsch, 2003). Existe información; de otros países como Brasil; sobre este tema absorción de nutrientes por los órganos de la pimienta negra, sin embargo se limita al N, P, K, Ca y Mg, quedando pendiente el S y micronutrientes (Costa y Maklouf, 1999). Por lo tanto, existe la necesidad de investigar la absorción de macro y micronutrientes en plantaciones en producción.

Los beneficiados de la investigación serán los pequeños y medianos productores de pimienta negra, estudiantes e investigadores ya que se sentará un precedente de la nutrición, indicando la correlación entre los elementos del suelo con relación a los absorbidos por estas plantas, en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

El objetivo de este proyecto fue determinar la absorción de macro y micronutrientes por la planta de pimienta negra de 1,5 años de establecida y correlacionar los contenidos de los elementos del suelo con los absorbidos por los órganos de la planta.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Sitio del estudio

Esta investigación se realizó en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador Parroquia Valle Hermoso, localizada entre las coordenadas  $0^{\circ} 5' 13,58''$  de latitud sur y  $79^{\circ} 16' 49,44''$  de longitud oeste. El lugar del muestreo se ubicó al centro noroeste del país, está a una altura de 307 m sobre el nivel del mar, propiedad de la Señora Herminia Sánchez.

La zona tiene una temperatura en el rango de  $22^{\circ}\text{C}$  a  $29,6^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa de 78,7 % (febrero) a 48,4 % (agosto), precipitación promedio de 737,5 mm en la época lluviosa (diciembre a mayo) y 334,7 mm en la época seca (junio a noviembre). (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio, NASA, 2017). La zona de vida del lugar es Bosque Húmedo Tropical (Jiménez, 1980).

El suelo donde estuvo cultivada la pimienta negra presentó en promedio las siguientes características: pH, muy ácido; acidez, de medio a tóxico; materia orgánica, media; N amoniacal, P, K y B bajo; Ca y Mn, medio; S, Cu y Fe, alto; Zn, de bajo a medio; la clase textural, franco-arenoso (Tabla 1).

### 2.2. Diseño del muestreo

En febrero de 2017 se muestrearon tres plantas de pimienta negra, en fase de producción, de un cultivo establecido de 1,5 años de edad, sembrado a un distanciamiento de 2 m entre plantas y 2 m entre hileras. Tuvo 500 plantas de las cuales se eligieron las más productivas por medio del muestreo por criterios (Ann, 2012; Bertsch, 2003).

Las plantas fueron cosechadas y diseccionadas al inicio de la fase productiva (Ann, 2012). Se pesó en fresco cada órgano diseccionado y se muestreó entre 30 g y 300 g de cada uno de ellos, según el respectivo peso. Las flores fueron los órganos que pesaron menos; las hojas, pesaron más.

Tabla 1. Características físicas, químicas y promedios  $\pm$  error estándar del suelo de las plantas muestreadas de pimienta negra (*Piper nigrum*), a 20 cm de profundidad, de 1,5 años de edad y plantadas a una densidad de 2 500 plantas ha<sup>-1</sup> en Santo Domingo, Ecuador. El análisis de suelo se hizo con el método Olsen modificado

a) Contenido de macronutrientes, acidez y materia orgánica del suelo

Planta	pH <sup>a</sup>	Acidez (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )		MO <sup>d</sup> (%)	Macronutrientes bases (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )			Macronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )		
		Al <sup>b</sup>	Al + H <sup>c</sup>		Ca <sup>e</sup>	Mg <sup>f</sup>	K <sup>g</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>h</sup>	P <sup>i</sup>	S <sup>j</sup>
1	4,9	0,62	2,98	3,9	6	0,9	0,18	15	2	34
2	4,7	0,79	3,25	4,2	6	0,8	0,16	13	2	21
3	4,8	0,71	3,11	3,9	6	0,8	0,18	16	2	25
Promedio	4,8 $\pm$ 0,06	0,71 $\pm$ 0,05	3,11 $\pm$ 0,08	4 $\pm$ 0,1	6 $\pm$ 0	0,8 $\pm$ 0,03	0,17 $\pm$ 0,01	15 $\pm$ 1	2 $\pm$ 0	27 $\pm$ 4

<sup>a</sup> Potencial de hidrógeno medido en agua. <sup>b</sup> Acidez activa expresada como aluminio. <sup>c</sup> Acidez potencial expresada como aluminio más hidrógeno. <sup>d</sup> Materia orgánica. <sup>e</sup> Calcio. <sup>f</sup> Magnesio. <sup>g</sup> Potasio. <sup>h</sup> Nitrógeno amoniacal. <sup>i</sup> Fósforo. <sup>j</sup> Azufre

b) Contenido de micronutrientes y textura del suelo

Planta	Micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )					Textura (%)			
	Zn <sup>k</sup>	Cu <sup>l</sup>	Fe <sup>m</sup>	Mn <sup>n</sup>	B <sup>ñ</sup>	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
1	1,7	6,9	100	5	0,42	45	49	6	Franco-arenoso
2	2	7,5	102	5,4	0,32	41	53	6	Franco-limoso
3	2,2	7,8	98	5,1	0,35	51	43	6	Franco-arenoso
Promedio	2 $\pm$ 0,1	7,4 $\pm$ 0,3	100 $\pm$ 1,2	5,2 $\pm$ 0,1	0,36 $\pm$ 0,03	46 $\pm$ 2,9	48 $\pm$ 2,9	6 $\pm$ 0	Franco-arenoso

<sup>k</sup> Zinc. <sup>l</sup> Cobre, <sup>m</sup> Hierro. <sup>n</sup> Manganese. <sup>ñ</sup> Boro



El muestreo por planta tomó un tiempo de 6 h entre dos personas, que incluyó la disección, pesaje de órganos en fresco, pesaje de la muestra en fresco para el análisis de laboratorio, muestreo del suelo de cada planta e identificación de las muestras.

Además, se analizó el estado nutricional del suelo al inicio del muestreo y se registró el manejo histórico del cultivo (Berstch, 1998).

### **2.3. Manejo del cultivo**

Se aplicó  $184 \text{ kg ha}^{-1}$  de 10-30-10 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) al momento de la siembra. Las malezas se controlaron por medio de chapias en la época seca; con herbicidas, durante la época lluviosa, debido a su agresividad.

### **2.4. Medición de variables**

Se midió la concentración de los siguientes nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S, zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y boro (B) en los órganos indicados, Considerados esenciales (Marschner y Marschner, 2012).

Las variables fueron evaluadas en las raíces, tallos, ramas, hojas, flores, pedúnculos y frutos. Los órganos se secaron en estufa a  $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$  por 48 h para analizar la materia seca y fueron molidos a 1 mm para el análisis de laboratorio (Murillo, 2013).

La concentración de N, P, K, Ca y Mg de las hojas y tallos se analizó por el método de digestión húmeda con ácido nítrico y perclórico relación 2:1. El P se determinó por colorimetría, el N por el método Kjeldhal, el K, Ca y Mg con el espectrómetro de absorción atómica (Román, 2013). El Cu, B, Mn, Fe y Zn se determinaron después de la destrucción de la materia orgánica por medio de una digestión ácida, finalmente se midió la concentración con la espectrofotometría de absorción atómica. El B se analizó por el método de valoración colorimétrica con azometina-H (McKean, 1993).<sup>1</sup>

En análisis del suelo se hizo por medio del extractante Olsen Modificado (Bertsch, 1998).

La cantidad de nutrientes absorbidos por los órganos fue el producto de la materia seca de dichos órganos por la concentración de nutrientes en su materia seca (Ann, 2012). La cantidad de nutrientes requeridos para producir 1 t de racimos de frutos frescos se calculó relacionando la cantidad absorbida de nutrientes con base en materia seca por los racimos de frutos maduros; inflorescencias más racimos tiernos; y las partes vegetativas: raíces, tallo, ramas más hojas; con la producción de racimos de frutos maduros y frescos.

El diagnóstico del estado nutricional de la planta y la probabilidad de respuesta a la fertilización se analizó por medio del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (Freire et al., 1998). El diagnóstico se relacionó con la fertilidad del suelo.

## **2.5. Análisis estadístico**

Se comparó la absorción de nutrientes entre órganos. Las variables se modelaron con el modelo lineal general y mixto en interfaz con paquetes de R (The R Core Team, 2016). La comparación de medias se hizo con la prueba de Di Renzo, González y Casanoves (DGC) (Di Renzo, et al., 2002). La significancia fue de  $P < 0,05$ . Se utilizó el programa InfoStat versión 2016 para el análisis estadístico (Di Renzo et al., 2016).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Macronutrientes

Se observaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la concentración de materia seca y de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg y S de los órganos de la planta de pimienta negra. Las hojas tuvieron mayor concentración de N y Ca; las inflorescencias, de P; los pedúnculos de racimos maduros, de K; las raíces e inflorescencias, de Mg; la planta, las hojas, inflorescencias y racimos tiernos, de S (Tabla 2).

Hubieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la cantidad de macronutrientes absorbidos por los órganos. Se observó que las hojas absorbieron mayor cantidad de N y Ca; las ramas y hojas, de K y Mg; las hojas y racimos tiernos, de S; las ramas, hojas, racimos tiernos, frutos maduros y racimos maduros, de P (Tabla 3).

Las hojas produjeron la mayor cantidad de materia seca y fue el órgano común que absorbió la mayor cantidad de todos los macronutrientes. Este comportamiento se debería a que las hojas dan soporte a las flores (Ann, 2012), situación que incrementaría la mayor producción de materia seca de las hojas (Tabla 3).

La cantidad de materia seca de los racimos tiernos y maduros fue igual; sin embargo los racimos maduros tuvieron menor cantidad de N y S que los racimos tiernos. Este comportamiento sugiere que habría reciclaje de esos elementos desde los racimos maduros hacia la planta. El K, Ca, Mg y P tuvieron iguales cantidades de nutrientes en los racimos maduros y tiernos (Tabla 3).

Según Ann (2012) el cultivo de pimienta negra; hasta los 1,5 años de edad; absorbe 197,9 kg de N ha<sup>-1</sup>; 26,4 kg de P ha<sup>-1</sup>; 193,4 kg de K ha<sup>-1</sup>; 17,6 kg de Mg ha<sup>-1</sup> y 56,3 kg de Ca ha<sup>-1</sup>. Estos valores son mayores a los observados en esta investigación, con excepción del Ca.

El N estaría absorbiéndose en mayor cantidad por las hojas debido a que produce un mayor índice de área foliar, intercepta más radiación solar, mayor cobertura de suelo, por ende estas condiciones estarían produciendo mayor biomasa en las hojas (Escalante, 1999).

Tabla 2. Promedio ( $n = 3$ )  $\pm$  error estándar de la concentración de macronutrientes (%) y de materia seca (%) de los órganos de la planta de pimienta negra (*Piper nigrum*) a los 1,5 años de edad, plantada a una densidad de 2 500 plantas ha<sup>-1</sup>, en Santo Domingo, Ecuador. Letras distintas junto a los promedios indican diferencias con la prueba Di Renzo, García y Casanoves (DGC),  $\alpha = 0,05$  y se leen por columnas

Órganos	N <sup>a</sup>	P <sup>b</sup>	K <sup>c</sup>	Ca <sup>d</sup>	Mg <sup>e</sup>	S <sup>f</sup>	Materia seca
Raíz	0,97 $\pm$ 0,12 d	0,03 $\pm$ 0,003 d	1,39 $\pm$ 0,24 c	1,99 $\pm$ 0,14 b	0,25 $\pm$ 0,005 a	0,02 $\pm$ 0,003 b	25,1 $\pm$ 1,3 b
Tallo	1,6 $\pm$ 0,1 c	0,02 $\pm$ 0,003 d	1,68 $\pm$ 0,15 c	1,53 $\pm$ 0,09 b	0,22 $\pm$ 0,01 b	0,02 $\pm$ 0,01 b	28 $\pm$ 1,3 a
Ramas	1,6 $\pm$ 0,2 c	0,03 $\pm$ 0,003 d	2,17 $\pm$ 0,08 b	1,58 $\pm$ 0,1 b	0,18 $\pm$ 0,01 c	0,02 $\pm$ 0,003 b	21,7 $\pm$ 1,3 c
Hojas	2,8 $\pm$ 0,3 a	0,04 $\pm$ 0,01 c	1,78 $\pm$ 0,09 c	2,86 $\pm$ 0,24 a	0,17 $\pm$ 0,01 c	0,07 $\pm$ 0,01 a	27,1 $\pm$ 0,2 a
Inflorescencias	1,7 $\pm$ 0,2 c	0,17 $\pm$ 0,01 a	1,96 $\pm$ 0,14 c	1,26 $\pm$ 0,07 c	0,25 $\pm$ 0,005 a	0,06 $\pm$ 0,03 a	12,4 $\pm$ 1,3 d
Racimos tiernos	2 $\pm$ 0,03 b	0,08 $\pm$ 0,01 b	1,81 $\pm$ 0,17 c	0,97 $\pm$ 0,05 d	0,2 $\pm$ 0,01 c	0,1 $\pm$ 0,06 a	22,1 $\pm$ 1,3 c
Racimos maduros <sup>g</sup>	1,6 $\pm$ 0,2 c	0,05 $\pm$ 0,01 c	1,85 $\pm$ 0,1 c	0,92 $\pm$ 0,04 d	0,19 $\pm$ 0,01 c	0,03 $\pm$ 0,01 b	30,7 $\pm$ 2,6 a
Pedúnculos	1,2 $\pm$ 0,2 d	0,02 $\pm$ 0,003 d	3,14 $\pm$ 0,28 a	1,15 $\pm$ 0,06 c	0,19 $\pm$ 0,01 c	0,03 $\pm$ 0,01 b	18,9 $\pm$ 1,3 c
Frutos maduros	1,6 $\pm$ 0,2 c	0,05 $\pm$ 0,01 c	1,8 $\pm$ 0,09 c	0,91 $\pm$ 0,04 d	0,19 $\pm$ 0,01 c	0,03 $\pm$ 0,01 b	31,4 $\pm$ 2,6 a
Planta <sup>g</sup>	2 $\pm$ 0,03 b	0,04 $\pm$ 0,01 c	1,86 $\pm$ 0,04 c	1,74 $\pm$ 0,11 b	0,19 $\pm$ 0,01 c	0,05 $\pm$ 0,01 a	25 $\pm$ 0,2 b
P valor <sup>h</sup>	<0,0001	<0,0001	0,0019	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

<sup>a</sup> Nitrógeno. <sup>b</sup> Fósforo. <sup>c</sup> Potasio. <sup>d</sup> Calcio. <sup>e</sup> Magnesio. <sup>f</sup> Azufre. <sup>g</sup> Promedio ponderado con el peso de la materia. <sup>h</sup> Probabilidad de la prueba F

Las inflorescencias tendrían mayor concentración de P ( $0,17 \pm 0,01$ ) debido a que estimula la floración y formación de la semilla (Guerrero 2015). Es así que el fósforo permite que haya una buena maduración, de las inflorescencias y se dé la formación completa de la semilla. El K interviene en la descarga de los fotoasimilados, promoviendo en llenado de los frutos (Meléndez y García, 2002). Por esta razón, el K tendría mayor concentración en los pedúnculos.

Las hojas tendrían mayor concentración de Ca porque la planta de pimienta requiere de hojas para mantener las inflorescencias y la producción. Este elemento forma el pectato de Ca que da rigidez a la hoja, condición que sería adecuada para la producción de la pimienta (Martínez et al., 2009; Monge et al., 1994)

Las raíces ( $0,25 \% \pm 0,005 \%$ ) y las inflorescencias ( $0,25 \% \pm 0,005 \%$ ) tendrían altas concentraciones de Mg porque el elemento es un medio de transporte de los carbohidratos a los órganos en crecimiento, especialmente la raíz, donde se reduce el  $\text{NH}_4^+$  (Heldt et al., 2011). Este elemento en las inflorescencias previene la malformación de las yemas florales y el amarillamiento de las hojas alrededor de los frutos, favoreciéndose la producción (Guerrero, 2015).

Las hojas, inflorescencias y racimos tendrían mayor concentración de S porque es uno de los constituyentes de la materia seca de la planta. El S ingresa por las hojas también en forma de gas  $\text{SO}_2$ , situación que puede incrementar su concentración en la hojas (Fernández, 2012).

La producción de 1 t de dichos racimos requiere de los siguientes macronutrientes de mayor a menor: K ( $5,6 \text{ kg t}^{-1} \pm 0,5 \text{ kg t}^{-1}$ ) igual a N ( $4,7 \text{ kg t}^{-1} \pm 0,5 \text{ kg t}^{-1}$ ), Ca ( $2,8 \text{ kg t}^{-1} \pm 0,3 \text{ kg t}^{-1}$ ), Mg ( $0,58 \text{ kg t}^{-1} \pm 0,11 \text{ kg t}^{-1}$ ), P ( $0,16 \text{ kg t}^{-1} \pm 0,05 \text{ kg t}^{-1}$ ) igual a S ( $0,09 \text{ kg t}^{-1} \pm 0,03 \text{ kg t}^{-1}$ ). La absorción de los micronutrientes tuvo el siguiente orden: Fe ( $41,7 \text{ g t}^{-1} \pm 6,5 \text{ g t}^{-1}$ ), Mn ( $8,4 \text{ g t}^{-1} \pm 0,5 \text{ g t}^{-1}$ ), e iguales Zn ( $4,7 \text{ g t}^{-1} \pm 0,4 \text{ g t}^{-1}$ ), B ( $4,7 \text{ g t}^{-1} \pm 0,4 \text{ g t}^{-1}$ ) y Cu ( $4,2 \text{ g t}^{-1} \pm 0,4 \text{ g t}^{-1}$ ) (Tabla 4).

Las cantidades indicadas de nutrientes salen del suelo y no regresan, por tanto se sugiere considerar dichas cantidades para los planes de fertilización del cultivo de pimienta negra.

Tabla 3. Promedio ( $n = 3$ )  $\pm$  error estándar de la absorción de macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de los órganos de la planta de pimienta negra (*Piper nigrum*) a los 1,5 años de edad, plantadas a una densidad de 2 500 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , en Santo Domingo, Ecuador. Letras distintas junto a los promedios indican diferencias con la prueba Di Renzo, García y Casanoves (DGC),  $\alpha = 0,05$  y se leen por columnas

Órganos	N <sup>a</sup>	K <sup>b</sup>	Ca <sup>c</sup>	Mg <sup>d</sup>	S <sup>e</sup>	P <sup>f</sup>	Materia seca
Raíz	1,5 $\pm$ 0,08 f	2,1 $\pm$ 0,2 e	3 $\pm$ 0,28 e	0,38 $\pm$ 0,04 e	0,03 $\pm$ 0,01 d	0,04 $\pm$ 0,005 d	152,8 $\pm$ 11,2 f
Tallo	8,6 $\pm$ 0,2 e	9 $\pm$ 0,7 d	8,2 $\pm$ 0,18 d	1,2 $\pm$ 0,07 d	0,09 $\pm$ 0,03 d	0,13 $\pm$ 0,01 c	541,9 $\pm$ 29,7 e
Ramas	19,2 $\pm$ 1,4 c	26,4 $\pm$ 1,7 b	19,2 $\pm$ 0,16 c	2,2 $\pm$ 0,05 b	0,2 $\pm$ 0,04 c	0,33 $\pm$ 0,06 b	1219 $\pm$ 69,4 c
Hojas	39,9 $\pm$ 4,6 b	25,3 $\pm$ 1,6 b	40,5 $\pm$ 3,4 b	2,4 $\pm$ 0,3 b	1 $\pm$ 0,1 b	0,62 $\pm$ 0,11 b	1421 $\pm$ 42,7 b
Inflorescencias	0,09 $\pm$ 0,02 h	0,1 $\pm$ 0,02 g	0,06 $\pm$ 0,009 g	0,01 $\pm$ 0,001 g	0,003 $\pm$ 0,001 f	0,008 $\pm$ 0,001 e	5 $\pm$ 0,4 h
Racimos tiernos	16,7 $\pm$ 1,1 c	15,3 $\pm$ 1,1 c	8,2 $\pm$ 0,05 d	1,7 $\pm$ 0,02 c	0,82 $\pm$ 0,47 b	0,65 $\pm$ 0,05 b	850 $\pm$ 47,9 d
Racimos maduros <sup>g</sup>	11,9 $\pm$ 1,1 d	14,4 $\pm$ 1,1 c	7,2 $\pm$ 0,56 d	1,5 $\pm$ 0,2 c	0,24 $\pm$ 0,07 c	0,42 $\pm$ 0,12 b	782,2 $\pm$ 75,7 d
Pedúnculos	0,36 $\pm$ 0,06 g	00,9 $\pm$ 0,1 f	0,33 $\pm$ 0,03 f	0,05 $\pm$ 0,004 f	0,009 $\pm$ 0,001 e	0,007 $\pm$ 0,001 e	29,2 $\pm$ 1,7 g
Frutos maduros	11,5 $\pm$ 1,1 d	13,5 $\pm$ 1 c	6,8 $\pm$ 0,54 d	1,4 $\pm$ 0,2 c	0,23 $\pm$ 0,07 c	0,41 $\pm$ 0,12 b	753 $\pm$ 74,1 d
Planta <sup>h</sup>	97,9 $\pm$ 1,2 a	92,6 $\pm$ 4,6 a	86,4 $\pm$ 3,2 a	9,4 $\pm$ 0,2 a	2,4 $\pm$ 0,6 a	2,2 $\pm$ 0,3 a	4973 $\pm$ 134,8 a
P valor <sup>i</sup>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

<sup>a</sup> Nitrógeno. <sup>b</sup> Potasio. <sup>c</sup> Calcio. <sup>d</sup> Magnesio. <sup>e</sup> Azufre. <sup>f</sup> Fósforo. <sup>g</sup> Suma de los pedúnculos y frutos maduros. <sup>h</sup> Suma de los órganos excepto los pedúnculos y frutos maduros. <sup>i</sup> Probabilidad de la prueba F

El total de la planta de pimienta negra absorbió los macronutrientes de mayor a menor, así: Ca ( $296,2 \text{ kg ha}^{-1} \pm 8,2 \text{ kg ha}^{-1}$ ), K ( $267,2 \text{ kg ha}^{-1} \pm 7,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ) igual a N ( $279,8 \text{ kg ha}^{-1} \pm 7,9 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Mg ( $25,9 \text{ kg ha}^{-1} \pm 1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ), P ( $4,9 \text{ kg ha}^{-1} \pm 0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) igual a S ( $5,6 \text{ kg ha}^{-1} \pm 0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ), para producir 1 t de racimos maduros frescos (Tabla 4). Los resultados sugieren que esas cantidades se requieren en el suelo para que sean absorbidas por el cultivo y produzcan 1 t de racimos maduros frescos, en plantaciones de 1,5 años de edad.

Se observó que el Ca fue el macronutriente más absorbido por el cultivo para la producción de 1 t de racimos maduros frescos, esto se debería a que el Ca fue el nutriente más absorbido por las hojas ( $40,5 \text{ kg ha}^{-1} \pm 3,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Tabla 3).

La producción de racimos de fruta fresca requirió de los macronutrientes en el siguiente orden de mayor a menor: potasio y nitrógeno iguales, calcio mayor que magnesio, fósforo igual que azufre. Según Ravindran (2010) 1 t de frutos de pimienta negra absorben 6,35 kg de N; 6,33 kg de K; 1,11 kg de Ca; 0,47 kg de Mg; 0,44 kg de P y 0,29 kg de S. Se observa que el orden es similar al encontrado en esta investigación. Sin embargo, las cantidades de K, N, Ca y Mg son mayores a las reportadas por Ravindran (2000); mientras que el P y S en menor.

### 3.2. Micronutrientes

Hubieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la concentración de micronutrientes de los órganos de la pimienta negra. La raíz, hojas, racimos tiernos y pedúnculos de racimos maduros tuvieron la mayor concentración de B; la raíz, de Fe; las hojas, de Mn; la raíz, hojas e inflorescencias, de Zn; la raíz, tallo e inflorescencias, de Cu (Tabla 5).

Se observaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la cantidad de micronutrientes absorbidos por los órganos de la planta de pimienta negra. Las hojas absorbieron la mayor cantidad de B, Fe, Mn y Zn; las ramas, de Cu (Tabla 6). Se observa que las hojas son el órgano que absorbió la mayor cantidad de la mayoría de micronutrientes. La producción de racimos maduros y tiernos fue igual. Los racimos maduros tuvieron menor cantidad de Mn, Zn y B que los racimos tiernos. Estos resultados indicarían que dichos elementos se reciclarían desde los racimos maduros hacia la planta.

Tabla 4. Promedio ( $n = 3$ )  $\pm$  error estándar del requerimiento de macronutrientes y micronutrientes por los racimos maduros frescos de la pimienta negra (*Piper nigrum*) para producir la 1 t de cosecha de racimos maduros frescos, en una plantación de 1,5 años de edad, plantada a una densidad de 2 500 plantas ha<sup>-1</sup>, en Santo Domingo, Ecuador. Letras distintas junto a los promedios indican diferencias con la prueba Di Renzo, García y Casanoves (DGC),  $\alpha = 0,05$  y se leen para cada columna

Macronutrientes	Absorción (kg t <sup>-1</sup> )	Micronutrientes	Absorción (g t <sup>-1</sup> )
N <sup>a</sup>	4,7 $\pm$ 0,5 a	Fe <sup>g</sup>	41,7 $\pm$ 6,5 a
P <sup>b</sup>	0,16 $\pm$ 0,05 d	Mn <sup>h</sup>	8,4 $\pm$ 0,5 b
K <sup>c</sup>	5,6 $\pm$ 0,5 a	Cu <sup>i</sup>	4,2 $\pm$ 0,4 c
Ca <sup>d</sup>	2,8 $\pm$ 0,3 b	B <sup>j</sup>	4,7 $\pm$ 0,4 c
Mg <sup>e</sup>	0,58 $\pm$ 0,11 c	Zn <sup>k</sup>	4,7 $\pm$ 0,4 c
S <sup>f</sup>	0,09 $\pm$ 0,03 d		

<sup>a</sup>Nitrógeno. <sup>b</sup>Potasio. <sup>c</sup>Potasio. <sup>d</sup>Calcio. <sup>e</sup>Magnesio. <sup>f</sup>Azufre. <sup>g</sup>Hierro. <sup>h</sup>Manganeso. <sup>i</sup>Cobre. <sup>j</sup>Boro. <sup>k</sup>Zinc

Los racimos maduros y tiernos tuvieron iguales cantidades de Fe y Cu (Tabla 6).

El B tuvo las mayores concentraciones en las raíces, hojas, racimos tiernos y pedúnculos. El B estaría en altas concentraciones en la raíz porque ayuda con la translocación de azúcares (Copoica, 1998); en las hojas estaría elevado porque contribuye con la redistribución de fotoasimilados producidos en la hoja hacia otros órganos (Andrade et al., 1995).

En los pedúnculos cumpliría la función de transporte de azúcares, lignificación de la pared celular y elongación celular (Martínez et al., 2009). En los frutos ayudaría a alcanzar el tamaño normal.

El Fe estaría más concentrado en la raíz debido a que se reduce por medio de la enzima reductasa, proceso realizado en la membrana plasmática de las células de la raíz (Navarro y Navarro, 2000).

Las hojas tuvieron la mayor concentración de Mn, el mismo que estaría transportando los carbohidratos de las hojas a las células en crecimiento, como la raíz (Hedt et al., 2011).



El Zn tuvo mayor concentración en raíces, hojas e inflorescencias. En las raíces estaría interviniendo en la integridad y función de la membrana celular, evitando la desintegración de la célula (Sadeghzadeh, 2013). En las hojas estaría interviniendo en la formación de carbohidratos (Resendez, 2007). En las inflorescencias intervendría en la viabilidad del polen (Kirkby y Römheld, 2007).

Las raíces, tallos e inflorescencias tuvieron la mayor concentración de Cu. El Cu en las raíces regularía su crecimiento sin interferir en el crecimiento medio del tallo (Fernández et al., 2012). En el tallo estaría participando en la lignificación de las paredes celulares (Navarro y Navarro, 2000). En las inflorescencias actúa en la formación de polen y ovarios (Mengel y Kirkby, 2000).

El Fe fue el micronutriente más absorbido por el cultivo de pimienta negra para producir 1 t de racimos maduros frescos.

Según Ravindrán (2000) el cultivo de pimienta absorbe los micronutrientes en el siguiente orden de mayor a menor: Fe, Mn y Zn. En la presente investigación se observó el mismo comportamiento.

Ravindrán (2000) indica que 1 t de racimos de frutos de pimienta negra absorbe 42,82 g de Fe; 34,45 g de Mn y 4,2 g Zn. En la presente investigación el Mn se absorbió en menor cantidad; mientras que el Fe y Zn se absorbieron en cantidades similares a las reportadas.

Según el índice DRIS se observó que el P y S estuvieron en el nivel de deficiente en la planta; el Mg, N, K, Ca, Mn, Fe y Zn estuvieron equilibrados y el Cu estuvo en exceso. El P del suelo estuvo en el nivel bajo y el S fue alto; mientras que los elementos que estuvieron equilibrados en la planta mostraron niveles entre alto, medio y bajo en el suelo. El Cu estuvo alto en el suelo (Tabla 7).

Se observa que no hay una relación directa entre los contenidos de nutrientes del suelo y los contenidos foliares. Con base a esta interpretación se podría sugerir que los elementos que limitarían la producción de las plantas muestreadas serían el Cu por ser absorbido en exceso; el P y S, por ser absorbidos deficientemente.

Tabla 5. Promedio ( $n = 3$ )  $\pm$  error estándar de la concentración de micronutrientes (mg [kg de materia seca]<sup>-1</sup>) y de materia seca (%) de los órganos de la planta de pimienta negra (*Piper nigrum*) de 1,5 años de edad, plantada a una densidad de 2 500 plantas ha<sup>-1</sup>, en Santo Domingo, Ecuador. Letras distintas junto a los promedios indican diferencias con la prueba Di Renzo, García y Casanoves (DGC),  $\alpha = 0,05$  y se leen por columnas

Órganos	B <sup>a</sup>	Fe <sup>b</sup>	Mn <sup>c</sup>	Zn <sup>d</sup>	Cu <sup>e</sup>	Materia seca
Raíz	28 $\pm$ 2,7 a	315 $\pm$ 22,7 a	29,7 $\pm$ 2,9 d	28 $\pm$ 0,6 a	26,7 $\pm$ 3,6 a	25,1 $\pm$ 1,3 b
Tallo	9,3 $\pm$ 2,2 d	191,7 $\pm$ 83,7 b	30 $\pm$ 0,6 d	17,7 $\pm$ 2 c	24 $\pm$ 2,6 a	28 $\pm$ 1,3 a
Ramas	17 $\pm$ 2,5 c	116,7 $\pm$ 22,7 b	31,3 $\pm$ 0,3 d	25 $\pm$ 0,6 b	16 $\pm$ 0,7 b	21,7 $\pm$ 1,3 c
Hojas	23 $\pm$ 1,7 a	159 $\pm$ 8,5 b	152,3 $\pm$ 6,4 a	30,3 $\pm$ 1,7 a	11,3 $\pm$ 0,2 c	27,1 $\pm$ 0,2 a
Inflorescencias	7,7 $\pm$ 0,9 d	135,7 $\pm$ 8,5 b	48,3 $\pm$ 5,4 c	31,7 $\pm$ 1,7 a	23 $\pm$ 2,2 a	12,4 $\pm$ 1,3 d
Racimos tiernos	26 $\pm$ 2,7 a	198 $\pm$ 83,7 b	36,7 $\pm$ 1,3 c	17,7 $\pm$ 0,3 c	14,3 $\pm$ 0,5 b	22,1 $\pm$ 1,3 c
Racimos maduros <sup>f</sup>	15,3 $\pm$ 0,9 c	136 $\pm$ 22,7 b	25,3 $\pm$ 0,3 e	15,4 $\pm$ 0,01 d	13,7 $\pm$ 0,4 b	30,7 $\pm$ 2,6 a
Pedúnculos	28,7 $\pm$ 3,8 a	192,7 $\pm$ 22,7 b	27,7 $\pm$ 1,5 d	24,7 $\pm$ 0,3 b	12 $\pm$ 0,5 c	18,9 $\pm$ 1,3 c
Frutos maduros	14,7 $\pm$ 0,7 c	133,7 $\pm$ 22,7 b	27,7 $\pm$ 1,5 d	15 $\pm$ 1 d	13,7 $\pm$ 0,4 b	31,4 $\pm$ 2,6 a
Planta <sup>f</sup>	19,3 $\pm$ 0,9 b	161 $\pm$ 22,7 b	66,3 $\pm$ 1,8 b	23 $\pm$ 0,6 b	15,3 $\pm$ 0,6 b	25 $\pm$ 0,2 b
P valor <sup>g</sup>	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

<sup>a</sup> Boro. <sup>b</sup> Hierro. <sup>c</sup> Manganeseo. <sup>d</sup> Zinc. <sup>e</sup> Cobre. <sup>f</sup> Promedio ponderado con el peso de la materia seca. <sup>g</sup> Probabilidad de la prueba F

Tabla 6. Promedio ( $n = 3$ )  $\pm$  error estándar de la absorción de micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ ) y materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de los órganos de la planta de pimienta negra (*Piper nigrum*) de 1,5 años de edad, plantada a una densidad de 2 500 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , en Santo Domingo, Ecuador. Letras distintas junto a los promedios indican diferencias con la prueba Di Renzo, García y Casanoves (DGC),  $\alpha = 0,05$  y se leen por columnas

Órganos	Fe <sup>a</sup>	Mn <sup>b</sup>	Zn <sup>c</sup>	B <sup>d</sup>	Cu <sup>e</sup>	Materia seca
Raíz	48,7 $\pm$ 7,3 d	4,6 $\pm$ 0,7 g	4,3 $\pm$ 0,4 f	4,3 $\pm$ 0,5 e	4,1 $\pm$ 0,6 e	152,8 $\pm$ 11,2 f
Tallo	100,7 $\pm$ 42,3 c	16,3 $\pm$ 1,2 f	9,6 $\pm$ 0,8 e	5,1 $\pm$ 1,3 e	12,9 $\pm$ 1,1 d	541,9 $\pm$ 29,7 e
Ramas	143,5 $\pm$ 27,8 c	38,2 $\pm$ 2,4 c	30,4 $\pm$ 2,2 c	20,5 $\pm$ 2,7 c	19,4 $\pm$ 0,7 b	1219 $\pm$ 69,4 c
Hojas	226,6 $\pm$ 17,2 b	217,1 $\pm$ 15,5 b	43,2 $\pm$ 3 b	32,6 $\pm$ 2,1 b	16,1 $\pm$ 1 c	1421 $\pm$ 42,7 b
Inflorescencias	0,67 $\pm$ 0,05 f	0,24 $\pm$ 0,05 i	0,16 $\pm$ 0,02 h	0,04 $\pm$ 0,003 g	0,11 $\pm$ 0,01 g	5 $\pm$ 0,4 h
Racimos tiernos	175,5 $\pm$ 80,1 c	31 $\pm$ 0,7 d	15 $\pm$ 1,2 d	21,9 $\pm$ 1,5 c	12,2 $\pm$ 0,5 d	850 $\pm$ 47,9 d
Racimos maduros <sup>f</sup>	105,4 $\pm$ 14,5 c	21,4 $\pm$ 1,1 e	12 $\pm$ 1 e	11,8 $\pm$ 0,9 d	10,7 $\pm$ 1,2 d	782,2 $\pm$ 75,7 d
Pedúnculos	5,7 $\pm$ 1,2 e	0,74 $\pm$ 0,04 h	0,72 $\pm$ 0,08 g	0,82 $\pm$ 0,06 f	0,35 $\pm$ 0,02 f	29,2 $\pm$ 1,7 g
Frutos maduros	99,7 $\pm$ 14,9 c	20,6 $\pm$ 1,1 e	11,3 $\pm$ 0,9 e	11 $\pm$ 0,9 d	10,3 $\pm$ 1,2 d	753 $\pm$ 74,1 d
Planta <sup>g</sup>	801 $\pm$ 82,9 a	328,8 $\pm$ 17,8 a	114,7 $\pm$ 7,2 a	96,3 $\pm$ 4,4 a	75,5 $\pm$ 3,5 a	4973 $\pm$ 134,8 a
<i>P</i> valor <sup>h</sup>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

<sup>a</sup>Hierro. <sup>b</sup>Manganeso. <sup>c</sup>Zinc. <sup>d</sup>Boro. <sup>e</sup>Cobre. <sup>f</sup>Suma de pedúnculos y frutos maduros. <sup>g</sup>Suma de los órganos excepto los pedúnculos y frutos maduros. <sup>h</sup>Probabilidad de la prueba F

Tabla 7. Relación entre los contenidos nutricionales promedios ( $n = 3$ ) del suelo y foliar de las plantas de pimenta negra (*Piper nigrum*), por medio del Sistema de Diagnóstico Integrado de Recomendación (DRIS), en una plantación de 1,5 años de edad, plantada a una densidad de 2 500 plantas ha<sup>-1</sup>, en Santo Domingo, Ecuador. El B no se incluyó en el diagnóstico por la inexistencia de la norma

Elemento	Planta			Suelo Interpretación
	Índice DRIS	Estado nutricional	Respuesta a la fertilización	
P <sup>a</sup>	-2535,4	Deficiente	Positiva, con alta probabilidad	Bajo
S <sup>b</sup>	-1986,3	Deficiente	Positiva, con baja probabilidad	Alto
Mg <sup>c</sup>	-1206,8	Equilibrado	Nula	Bajo
N <sup>d</sup>	-958,4	Equilibrado	Nula	Bajo
K <sup>e</sup>	-6239	Equilibrado	Nula	Bajo
Ca <sup>f</sup>	-290,9	Equilibrado	Nula	Medio
Mn <sup>g</sup>	-224,1	Equilibrado	Nula	Medio
Fe <sup>h</sup>	95,1	Equilibrado	Nula	Alto
Zn <sup>i</sup>	467,5	Equilibrado	Nula	Medio
Cu <sup>j</sup>	7263,2	Exceso	Negativa, con alta probabilidad	Alto
IBN <sup>k</sup>	15651,6			
IBNm <sup>l</sup>	1565,2			

<sup>a</sup>Fósforo. <sup>b</sup>Azufre. <sup>c</sup>Magnesio. <sup>d</sup>Nitrógeno. <sup>e</sup>Potasio. <sup>f</sup>Calcio. <sup>g</sup>Manganeso. <sup>h</sup>Hierro. <sup>i</sup>Zinc. <sup>j</sup>Cobre. <sup>k</sup>Índice de balance nutricional. <sup>l</sup>Índice de balance nutricional medio.

#### IV. CONCLUSIONES

Las hojas de la planta de pimienta negra fue el órgano que absorbió mayor cantidad de nutrientes. Los nutrientes más absorbidos por la planta fueron el calcio, nitrógeno y potasio.

Se observó que las hojas fue el órgano principal que produjo las mayores cantidades de materia seca y absorción de los macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre; entre los órganos de la planta de pimienta negra de 1,5 años de edad. El mismo órgano absorbió las mayores cantidades de los micronutrientes: hierro, manganeso, zinc y boro; mientras que el cobre fue absorbido en mayor cantidad por las ramas.

La producción de 1 t de fruta fresca extrae los macronutrientes en el siguiente orden de mayor a menor: potasio igual que nitrógeno, calcio, magnesio; fósforo igual que azufre. Los micronutrientes fueron absorbidos en el siguiente orden: hierro, manganeso, zinc; boro y cobre iguales.

No se observó una relación directa entre el estado nutricional de la planta y la fertilidad del suelo.

Se sugiere continuar la investigación de absorción de nutrientes según el manejo del cultivo y considerar los resultados para los planes de fertilización.

## REFERENCIAS

- Andrade, S. et al. (1995). Exigencia y distribución de boro en plantas de eucalipto. *Bosque* 16(1): 53-59,
- Ann, Yap Chin. (2012). Determination of nutrient uptake characteristic of black pepper (*Piper nigrum* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*. B 2, no 10B: 1091-1099.
- Bertsch H., F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. 1a ed. Colorgraf S.A., Costa Rica.
- Bertsch, F. (1998). *La fertilidad de los suelos y su manejo*. 1a ed. ACCS, San José, Costa Rica.
- Bruuselma W., T.; P.E. Fixen; G.D. Sulewski. (2013). *4R Plant nutrition. A manual for improving the management of plant nutrition*. International Plant Nutrition Institute. Georgia, USA.
- Cáceres, L. (2002). *Proyecto de pre-factibilidad técnica y económica del cultivo de pimienta negra en la península de Santa Elena*. Tesis de grado. Escuela Politécnica del Litoral.
- Corpoica. (1998). *Actualización tecnológica en ajonjolí, caucho, hortalizas y frutales para la Orinoquia colombiana*. Plantae, Villavicencio.
- Costa, C, y Mackloug, E. (1999). Absorção e extração de alguns nutrientes pela cultivar 'Guajarina' de pimenta-do-reino. *Scientia Agricola*, 56 (2). Consultado el 17-may-2017. Disponible en [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90161999000200026](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161999000200026)
- Christensen, P., A. Kasimatis y F. Jensen. (2001). Síntomas de deficiencia de nutrientes en la uva. *Informaciones agronómicas* 42: 8-14.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, Y. C. (2016). *InfoStat versión 2016*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado el 12 de enero de 2016, de <http://www.infostat.com.ar>.
- Di Renzo, J.A., A.W. Guzman, y F. Casanoves. (2002). A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree.

- Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 7(2):129-142.
- Escalante, J. (1999). Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17(2): 149-157.
- Fernández, M. (2012). Determinación de los contenidos de azufre asimilable en suelos de uso agrícola de la provincia de Tucumán. (Tesis inédita de grado). Universidad nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán.
- Fernández et al. (2012). Repicado químico de raíces de plantas de vivero de *Eucalyptus* y *Pinus* con  $\text{CuCO}_3$ . Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva. Campus Universitario de La Rábida. 21819. Palos de la Frontera. Huelva.
- FOASTAT. (2015). Food and agriculture organization of the United Nations. STATISTICS DIVISION. Disponible en <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>
- Freire et al., (1998). Utilização do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na determinação do estado nutricional da Pimenta-do-reino em Paragominas, PA. Embrapa, Bélem.
- Guerrero, A. (2015). Efecto de la fertilización fosfórica sobre el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) híbrido PM - 213 en suelos calizos en el valle del medio Piura, Cieneguillo sur. (Tesis inédita de grado). Universidad Nacional de Piura. Lima, Perú.
- Heldt, H., B. Piechulla, F. Heldt. (2011). *Plant biochemistry*. 4th ed. Elsevier, United States of America.
- Jiménez S., H. (1980). Anatomía del sistema de clasificación de Holdridge. CATIE: Turrialba, Costa Rica.
- Kirkby, E., V. Römheld. (2007). Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad. Proceedings 543, the International Fertilizer Society, P. O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom.
- Marschner, H., y Marschner, P. (Eds.). (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd Ed). London ; Waltham, MA: Elsevier/Academic Press.
- Martinez, F. et al. (2009). Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana* 27(2): 169-178.

- McKean, S. J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejidos vegetales. Una guía práctica y teórica de metodologías. CIAT, Costa Rica.
- Melendez, G. y Molina G. (2002). Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Mengel, K., y E.A. Kirkby. (2000). Principios de nutrición vegetal. 1a ed. EEA INTA Pergamino, Argentina.
- Monge, E. et al. (1994). El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza), 21(3): 189-201.
- Murillo, H. (2013). Producción y calidad de cinco genotipos de brachiaria en el Trópico húmedo del Ecuador. Tesis de Grado. Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo-Ecuador.
- NASA. (2017). NASA Surface meteorology and Solar Energy – Location. Consultado el 16-mayo-2017. Disponible en <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>
- Navarro B., S., y G. Navarro G. (2000). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2ª ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Partelli, F (2009). Nutrition of black pepper (*Piper nigrum* L.) - a Brazilian experience. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 18 (2): 73-83.
- Ravindran, P. N. (2000). Black Pepper: *Piper Nigrum*. Australia: Harwood Academic. Recuperado A Partir De <Http://Www.Crcnetbase.Com/Isbn/9789057024535>
- Resendez, A. (2007). Elementos Nutritivos. Asimiliación, Funciones, Toxicidad E Indisponibilidad En Los Suelos. Libros en Red.
- Román, D. (2013). Asociación entre la absorción de nutrientes y la acumulación y distribución de biomasa en las hojas y tallos de cinco variedades del género brachiaria. Tesis de Grado. Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo, Ecuador.
- Sadeghzadeh, B. (2013). A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13 (4), 905-927.