



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**  
**CARRERA DE AGRONOMÍA**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TEMA**

**Evaluación del uso eficiente de nutrientes en ají habanero  
(*Capsicum chinense* Jacq.) en el cantón Quinindé**

**AUTOR:**

VILLAREAL VILLAFUERTE LUIS VICENTE

**TUTOR DE TESIS:**

Cuenca Cuenca Edison Wilfrido Ph.D.

**SANTA ANA – MANABÍ – ECUADOR**

**2019**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**  
**CARRERA DE AGRONOMÍA**

La presente tesis de grado titulada “**Evaluación del uso eficiente de nutrientes en ají habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el cantón Quinindé**” realizada por VILLAREAL VILLAFUERTE LUIS VICENTE, bajo la dirección del Ing. Agr. Cuenca Cuenca Edison Wilfrido Ph.D., ha sido aprobada y aceptada por el tribunal de sustentación, como requisito previo para obtener el título de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

Ing. Agr. Fredy Santana Parrales Mg. Eds.  
MIEMBRO PRESIDENTE

---

Ing. Agr. George Cedeño García Dr. Sc.  
MIEMBRO

---

Ing. Agr. Freddy Zambrano Gavilanes PhD.  
MIEMBRO

# CERTIFICACIÓN

Ingeniero Agrónomo

**EDISSON CUENCA CUENCA Ph.D**

CERTIFICO:

Que el trabajo de titulación “**Evaluación del uso eficiente de nutrientes en ají habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el cantón Quinindé**”, es trabajo original del egresado Luis Vicente Villareal Villafuerte, el cual fue realizado bajo mi dirección.

---

Ing. Agr. Edison Cuenca Cuenca Ph.D

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## CERTIFICACIÓN

Ingeniero Agrónomo

**FRANCISCO ARTEAGA ALCÍVAR Mg. Sc.**

CERTIFICO:

Que he revisado, estilo y ortografía del trabajo de titulación “**Evaluación del uso eficiente de nutrientes en ají habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el cantón Quinindé**”, elaborado por Luis Vicente Villareal Villafuerte, el presente trabajo de investigación ha sido escrito de acuerdo a las normas ortográficas y sintaxis vigentes en el REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ.

---

Ing. Agr. Francisco Arteaga Alcívar Mg. Sc.

**REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## DECLARACIÓN

Villareal Villafuerte Luis Vicente, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mí autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración de este trabajo investigativo, es de sumo derecho y de propiedad intelectual del autor.

---

Villareal Villafuerte Luis Vicente

## **DEDICATORIA**

A las personas que me conocen: familiares, allegados y amistades que me brindaron su apoyo a lo largo de mí carrera estudiantil “desde la escuela”, no es necesario nombrarlas porque sé que se sienten identificadas con este logro.

¡Esta meta no es mía, es de cada uno de ustedes quienes lo hicieron posible!...

*Villareal Villafuerte Luis*

## AGRADECIMIENTO

A Dios ante todo por su sabiduría infinita, a mis padres Wilter Villareal y Fancisca Villafuerte. Mis hermanas/o Rocio, William y especialmente a Martha mí hermana-mamá.

A la Ing. Liliana Corozo Mg. Sc. y el Ing. Julio Mero Mg. por permitirme ingresar a la FIAG-UTM, a mí tutor Ing. Edison Cuenca Ph.D por siempre estar pendiente en la dirección de la presente investigación y a mí revisor Ing. Francisco Artega Mg. Sc. por cada enseñanza brindada como profesor.

A la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí FIAG-UTM por convertirme en un profesional del AGRO y gracias a cada uno de sus docentes-Investigadores que aportaron significativamente con sus enseñanzas y conocimientos en mí formación.

Gracias a la Sra. Martha Ramos, Sr. Angel Alonso<sup>+</sup>, Sr. Carlos Choez, Sra. Maritza Alonzo, Wilmer Mera, Alfredo Cedeño y familia; gracias, muchas gracias por su valioso e incondicional apoyo en los momentos cruciales en mí vida estudiantil.

Gracias a todos y cada uno quienes formaron parte a lo largo de esta travesía.

*Villareal Villafuerte Luis*

## CONTENIDO

RESUMEN .....	10
ABSTRACT.....	11
I. INTRODUCCIÓN / PROBLEMÁTICA.....	12
II. ANTECEDENTES.....	14
III. JUSTIFICACIÓN .....	15
IV. OBJETIVOS.....	16
4.1. General.....	16
4.2. Específicos.....	16
V. MARCO TEÓRICO.....	17
5.1. Generalidades del cultivo de ají ( <i>Capsicum sp.</i> ).....	17
5.2. Requerimientos Eco-Fisiológicos .....	17
5.3.1. Suelos.....	18
5.3.2. Nutrientes.....	18
5.4. Uso eficiente de nutrientes (USN).....	21
5.5. Eficiencia agronómica (EA) .....	21
5.6. Eficiencia de recuperación de nutrientes (ERN).....	21
5.7. Factores que afectan al uso eficiente de nutrientes.....	22
5.7.1. Clima.....	22
5.7.2. Temperatura .....	22
5.7.3. Luminosidad .....	22
5.7.4. Humedad.....	22
5.7.5. Materia orgánica .....	23
5.7.6. pH.....	23
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
6.1. Ubicación.....	24
6.2. Condiciones climáticas .....	24

6.3. Caracterización del suelo .....	24
6.4. Material Genético.....	25
6.5. Diseño experimental .....	25
6.5.1. Tratamientos .....	25
6.6.1. Diámetro de tallo (mm) a los 35 y 75 días después del trasplante ( $\emptyset$ ddt) .....	26
6.6.2. Altura de planta (cm) a los 35 y 75 días después del trasplante (ddt) .....	26
6.6.3. Peso fresco de frutos (gramos).....	26
6.6.4. Rendimiento (kg. ha <sup>-1</sup> ) .....	26
6.6.5. Concentración de nutrientes en tallo-ramas, hojas y frutos .....	26
6.6.6. Análisis físico químico de suelo .....	27
6.7. Extracción de Nutrientes.....	27
6.8. Eficiencia de recuperación del fertilizante (ERF).....	28
6.9. Eficiencia agronómica (EA) .....	28
6.10. Análisis estadístico de la Información .....	28
6.11. Manejo del ensayo .....	28
6.11.1. Muestreo de suelo .....	28
6.11.2. Preparación del suelo .....	29
6.11.3. Siembra del semillero .....	29
6.11.4. Trasplante.....	29
6.11.5. Riego .....	29
6.11.6. Fertilización .....	30
6.11.7. Tutorado.....	30
6.11.8. Control fitosanitario .....	30
6.11.9. Cosecha.....	31
6.11.10. Recolección de la muestra de tejidos foliares, tallo y fruto en ají .....	31
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
7.1. Evaluación del desarrollo agronómico y rendimiento del ají habanero ante aplicaciones de diferentes dosis de NPK.....	32
7.2. Evaluación de uso eficiente de nutrientes en ají habanero .....	35

7.2.1. Eficiencia agronómica de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en ají habanero. ....	35
7.2.2. Eficiencia de recuperación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en ají habanero. ....	36
7.3. Absorción de nutrientes (N-P-K-Ca-Mg) en ají habanero.....	37
7.3.1. Absorción de N.....	37
7.3.2. Absorción de P.....	38
7.3.3. Absorción de K.....	39
7.3.4. Absorción de Ca.....	40
7.3.5. Absorción de Mg.....	41
7.4. Efecto de la la absorción de N, P, K, Ca y Mg sobre el rendimiento .....	42
VII. CONCLUSIONES.....	44
IX. RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA .....	46
ANEXOS .....	50

## RESUMEN

El uso eficiente de nutrientes en ají, al igual que en la mayoría de las plantas, es un condicionante para el desarrollo y rendimiento de los cultivos, por lo que una baja eficacia de nutrientes impacta negativamente la productividad y sustentabilidad de los sistemas de producción. Esta investigación tuvo como objetivo determinar el uso eficiente de nutrientes (EUN) para nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y su efecto en el desarrollo y rendimiento en ají habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el cantón Quinindé. El experimento fue ejecutado en la parroquia Malimpia del cantón Quinindé de la provincia Esmeraldas. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos mas un testigo con cuatro repeticiones cada uno. Los Tratamientos consistieron en dosis crecientes de NPK (g pl<sup>-1</sup>): TR (testigo), T1 (N2,0-P1,3-K4,0), T2 (N4,0-P2,7-K8,0), T3 (N5,9-P4,0-K11,9) y T4 (N7,9-P5,3-K15,9). Las variables que se tomaraon fueron: diámetro de tallo, altura de planta, materia seca de tallo, hoja y fruto, rendimiento, eficiencia agronómica y eficiencia de recuperación de nutrientes. Los resultados muestran diferencias altamente significativas para la materia seca (tallo, hojas, fruto), rendimiento, eficiencia agronómica (EA) y de recuperación (ER) de N-P-K; siendo el tratamiento 1 el que tuvo los mayores valores en todas las variables; alcanzando el rendimiento 17 929,53 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que la eficiencia agonomica de N-P-K obtuvieron 235, 816 y 139 kg de rendimiento por cada kg de nutriente aplicado respectivamente. Por otra parte la eficiencia de recuperación de N-P-K presentó valores de 87,1, 24,63 y 46,8% respectivamente. Las mayores dosis de nutrientes empleadas en los distintos tartamientos (T2, T3, T4) produjeron una disminución en el rendimiento y en las eficiencias agronómica y de recuperación de N-P-K, lo que sugiere a que las altas concentraciones de nutrientes pueden causar antagonismo con otros elementos y reducir la absorción de los mismos.

**Palabras claves:** Absorción de nutrientes, antagonismo, eficiencia agronómica, eficiencia de recuperación del fertilizante, nutrientes esenciales.

## ABSTRACT

The use of nutrient efficiency in chili peppers, as in most plants, is a conditioning factor for crop development and yield, so low nutrient efficiency negatively impacts the productivity and sustainability of production systems. This research aimed to determine the efficient use of nutrients (EUN) for nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) and their effect on the development and yield in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) In the Quinindé canton . The experiment was carried out in the Malimpia parish of the Quinindé canton of the Esmeraldas province. A completely randomized experimental block design was used, with four treatments plus a control with four repetitions each. Treatments consisted of increasing doses of NPK (g pl-1): TR (control), T1 (N2,0-P1,3-K4,0), T2 (N4,0 P2,7-K8,0), T3 (N5,9-P4,0-K11,9) and T4 (N7,9-P5,3-K15,9). The variables that were taken were: stem diameter, plant height, dry matter of stem, leaf and fruit, yield, agronomic efficiency and nutrient recovery efficiency. The results show highly significant differences for dry matter (stem, leaves, fruit), yield, agronomic efficiency (EA) and recovery (ER) of N-P-K; treatment 1 being the one with the highest values in all variables; reaching the yield 17 929.53 kg ha<sup>-1</sup>, while the agronomic efficiency of N-P-K obtained 235, 816 and 139 kg of yield for each kg of nutrient applied respectively. On the other hand, the recovery efficiency of N-P-K presented values of 87,1, 24,63 and 46,8% respectively. The higher doses of nutrients used in the different treatments (T2, T3, T4) produced a decrease in the yield and agronomic and recovery efficiencies of NPK, suggesting that high concentrations of nutrients can cause antagonism with other elements and reduce their absorption.

**Keywords:** Nutrient Absorption, antagonism, agronomic efficiency, fertilizer recovery efficiency, essential nutrients

## I. INTRODUCCIÓN / PROBLEMÁTICA

El ají (*Capsicum* sp.) es originario de las regiones tropicales y subtropicales de Centro y Sur América, considerándose a México y Guatemala como las primeras áreas de expansión del cultivo, el ají representa una alternativa de producción para los agricultores, por ser de gran importancia en la alimentación e industria y su demanda es en fresco o procesado (pasta de ají) (Flor *et al.*, 2007). A nivel mundial se cultivan cinco de las especies domesticadas de *Capsicum* de las que solo dos (*C. annuum* y *C. frutescens*) presentan una mayor distribución geográfica como cultivo (Castañón-Nájera *et al.*, 2008).

En Ecuador en la región costa, desde cero hasta los 1.500 msnm se cuenta con las condiciones agro-climáticas propicias para el cultivo de ají, donde se siembran diversos cultivares adaptados a cada zona agroecológica, presentando determinadas características de fruto y requerimientos nutricionales para su desarrollo (Vélez, 2015). Por su parte Salazar & Juárez (2012), mencionan que el rendimiento y la calidad de los cultivos depende de factores, internos como el genotipo y externos como las condiciones agroclimáticas. Además, en muchos casos el rendimiento potencial de un cultivo no se alcanza debido a la limitada disponibilidad de nutrientes y su manejo a través de la fertilización (Grisell *et al.*, 2014).

Una baja eficacia de nutrientes en suelos agrícolas impacta negativamente la productividad y sustentabilidad de los sistemas de producción (Tadeo-Robledo *et al.*, 2015), es así que la eficiencia de nutrientes en ají, al igual que en la mayoría de las plantas, es un condicionante del desempeño y rendimiento de los cultivos. En este sentido, González *et al.* (2016) afirman que el uso eficiente de nutrientes se ve afectado por dosis altas de fertilizante y textura del suelo, y recalca la necesidad de conocer la eficiencia de nutrientes para cada cultivo, por variedad y por zona.

En la actualidad se han determinado los requerimientos nutricionales en cultivos de ají *Capsicum* spp.; sin embargo, son escasas las publicaciones sobre el uso eficiente de nutrientes en este cultivo, lo que se relaciona con el desconocimiento de características decisivas en la eficiencia de los productores (kg de ají/kg de nutriente aplicado, kg de nutriente aplicado al suelo/kg de

nutriente en el cultivo). Lo anteriormente dicho, es consecuencia de la frecuente utilización de dosis iguales para cualquier tipo de ají (Romero-Lozada et al., 2016), lo que justifica la necesidad de racionalizar su empleo, conociendo que un aporte desequilibrado, deficitario o en exceso, determina, no solo un derroche, sino también serios problemas ambientales y al cultivo (Guzmán, 2004; Zamudio-González *et al.*, 2015).

## II. ANTECEDENTES

En investigaciones similares en Colombia se ha podido determinar que en ají habanero se considera una especie de baja eficiencia agronómica para los nutrientes N, P y K (EAN= kilogramos de fruto producido por kg de macro nutriente añadido al suelo), con 44,14, 66,21 y 22,07 kg kg<sup>-1</sup> y de recuperación de dichos nutrientes (ERN= % del nutriente recuperado en la biomasa de la planta) 141,93, 18,64 y 83,3% comparado con el ají tabasco, y que el rendimiento de ambas especies varía considerablemente según la dosis de nutrientes, lo que sugiere una clara influencia del genotipo (Romero-Lozada et al., 2016).

De igual forma, en México se ha estudiado la eficiencia fisiológica de nutrientes (EFN= capacidad del cultivo de transformar el nutriente aplicado biomasa) de N, P, K y Mg en dos híbridos maíz (H-47 y H-59), variable muy relacionada con la EA y la ERN, concluyendo que los valores de EFA varían más en relación al genotipo que en relación a la omisión de algún macro nutriente con diferencias de 5,4 kg kg<sup>-1</sup> para N, 51,3 kg kg<sup>-1</sup> para P, 15,4 kg kg<sup>-1</sup> para K y 331,6 kg kg<sup>-1</sup> para Mg (Tadeo-Robledo *et al.*, 2015).

En cacao (*Theobroma cacao* L.) los valores de EFA también varían con relación al genotipo, se ha estudiado sobre la EA del uso de NPK, se demuestra que los clones ICS-39, TSH565 e ICS-95 alcanzan entre 1 337 y 1 634 kg ha<sup>-1</sup>, a una dosis de 4,7g (N), 66,8g (P) y 278,6g (K), mientras CCN-51 supera a estos clones con un rendimiento de 2020 kg ha<sup>-1</sup> a una dosis de 2,4g (N), 33,0g (P) y 139,3g (K) demostrando además que el cultivo de cacao tiene un potencial de extracción de nutrientes que se traduce en buenos rendimientos, pero si se sobrepasa ese límite se provocaría un desbalance nutricional, lo que evidencia la importancia de conocer la EAN en un cultivo (Puentes-Páramo *et al.*, 2014).

Zamudio-González *et al.*, (2015), investigó sobre la EA en híbridos de maíz en México, logrando determinar la mejor correlación de la cantidad en kg de maíz producido por cada kg de NPK aplicado al suelo, con valores de 20,9 kg kg<sup>-1</sup> (EAN), 10,4 kg kg<sup>-1</sup> (EAP) y 8,41 kg kg<sup>-1</sup> (EAK) de lo que contribuye a un uso eficiente de nutrientes en ese cultivo y disminuir el impacto al medio ambiente.

### III. JUSTIFICACIÓN

La producción nacional de ají en los últimos años ha tenido un notable crecimiento, esto en relación al incremento del área de cultivo, pese a ello, la producción que se obtiene actualmente es insuficiente para el abastecimiento del mercado nacional y más aún del internacional (Almeida & Vásquez, 2014). En Ecuador, el ají es un producto milenario con más de 6 000 años de utilidad gastronómica (Bueno, 2017). Actualmente el país se ha convertido en uno de los principales productores de ají de tabasco en Latinoamérica, pasando este tipo de producción a formar parte importante en la dinámica y crecimiento económico del país (Torres, 2014).

El ají ecuatoriano por más de 20 años es consumido por comensales de varios países del mundo, gracias al impulso de la empresa ecuatoriana PROAJÍ (Cabadiana, 2018). Según FAOSTAT (2016), el área total cultivada de chile (ají), pimiento picante y pimiento verde es de 3 869 ha con un rendimiento calculado de 18 800 kg ha<sup>-1</sup> y una producción de 7 273 Tm año<sup>-1</sup>. Según Almeida & Vásquez (2014), la producción de ají se concentra proporcionalmente en las provincias de Manabí con el 53 %, Guayas con el 19 %, Imbabura con el 11 %, Los Ríos con el 4 % y otras provincias con el 13 %. Consecuentemente, Cabadiana (2018), afirma que el ají picante más cultivado en Ecuador es el Tabasco (*C. frutescens*), donde el 10 % de su producción es comercializa internamente y, el 90 % se exporta a países como Estados Unidos, México, Reino Unido, Alemania, Nigeria y Japón.

En este sentido el ají se convierte en un cultivo de importancia económica, puesto que es consumido en mercados internacionales, generando ingresos para el productor, por lo que se hace necesario incrementar los rendimientos, sin embargo, esto se ve afectado por la baja eficiencia en el uso de fertilizantes, incluso conlleva a un gran impacto negativo en la productividad y sustentabilidad de los sistemas de producción; de tal forma, que el uso eficiente de nutrientes (UEN) puede ser similar al valor promedio de la fertilización del agricultor y a la dosis completa de “alto rendimiento”, sin variar por omitir un macro nutrimento, pero sí por el tipo de cultivar; ya que esta variable puede estar más asociada al genotipo, que a la omisión de algún macro nutrimento (Tadeo-Robledo *et al.*, 2015).

Con base a lo mencionado, se hace necesario incrementar los rendimientos de este cultivo en la misma área, mediante la aplicación de un completo paquete tecnológico, donde la nutrición y especialmente su eficiencia, constituyan un factor determinante en el rendimiento y desempeño.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. General**

- Evaluar el uso eficiente de NPK y su efecto en el desarrollo y rendimiento en ají habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el cantón Quinindé.

### **4.2. Específicos**

1. Evaluar la influencia de las diferentes dosis de NPK en el desarrollo agronómico y rendimiento del ají habanero.
2. Determinar la eficiencia agronómica de NPK y eficiencia de recuperación del nutriente (NPK) en ají habanero.
3. Diagnosticar la absorción de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) por órganos en el cultivo de ají habanero y su efecto sobre el rendimiento.

## V. MARCO TEÓRICO

### 5.1. Generalidades del cultivo de ají (*Capsicum sp.*)

El ají pertenece a la familia botánica Solanaceae y al género *Capsicum* con cerca de 30 especies (Almeida & Vásquez, 2014). Las diferentes especies son conocidas por el nombre común de pimiento, ají o chile; y según su orden de importancia como cultivo se mencionan a: *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. pubescens* (Mendoza, 2006). Según Mendoza (2006), puede afirmarse que en general las plantas de los diferentes tipos de ají presentan características similares: es una dicotiledónea herbácea, en ocasiones sub-arbustiva, considerada de vida corta pero cultivada como anual.

El fruto de *C. chinense* es un ají muy variado y puede ser de color verde, morado, amarillo intenso, rojo, rojo intenso, redondos o ligeramente alargados, muy pequeños y medianos; es una planta pequeña y muy productiva (Ugás & Mendoza, 2012). Dependiendo del cultivar, los rendimientos del cultivo de ají pueden alcanzar en promedio 9 Tm ha<sup>-1</sup> de producción, aunque estos rendimientos rara vez se logran debido al escaso uso de tecnologías adecuadas de cultivo en semilleros, manejo de suelos y aguas, fertilización, manejo integrado de plagas y enfermedades, y manejo poscosecha. Sin embargo, está comprobado que se puede alcanzar 25 Tm ha<sup>-1</sup> aplicando prácticas mejoradas de cultivo (Rodríguez, Bolaños, & Menjivar, 2010).

### 5.2. Requerimientos Eco-Fisiológicos

El ají es una planta que se adapta bien en climas templados y cálidos, y puede resistir cierto período de sequía y alta nubosidad; sin embargo, como su rango óptimo se encuentra de 18 a 24° C de temperatura del aire, 600 y 1 250 mm de precipitación anual, 70 y 90% de humedad relativa y altitud de 0 a 1 600 msnm (Méndez *et al.*, 2004). Necesita menor oxigenación que el pimentón que es su familiar más cercano, y puede crecer bien con mucha o poca luz, aunque requiere de temperaturas del aire relativamente altas para la formación de sus frutos (Flores & Valencia, 2014).

### 5.3.1. Suelos

Para el cultivo se recomiendan suelos livianos, de textura areno-arcilloso con buen drenaje y moderado contenido de materia orgánica. En el caso de suelos arcillosos deben tener buen drenaje y estar bien preparados antes de la siembra para evitar acúmulos de agua que favorecen la incidencia de enfermedades en la raíz. El pH puede oscilar entre 5,5 y 6,5, ya que este cultivo es moderadamente tolerante a la acidez (Proají, 2019).

### 5.3.2. Nutrientes

Existen diecisiete elementos esenciales para la nutrición de las plantas superiores, entre los que se encuentran el grupo CHON, que representan entre el 90 y 95% de la materia seca. El carbono es absorbido con el CO<sub>2</sub> del aire por los estomas de las hojas y fijado mediante la enzima RuBisCo (Ribulosa-1-5 bisfosfato carboxilasa-oxigenasa), el hidrógeno es tomado del agua y el oxígeno del O<sub>2</sub> del aire y del agua, y son tratados ampliamente cuando se estudia la fotosíntesis y el Nitrógeno que es un elemento que se presenta en varias formas, producto de una interconversión continua mediante procesos físicos y biológicos, lo que constituye el ciclo del N (Taiz & Zeiger, 2010). Otros elementos especializados para el crecimiento y desarrollo de las plantas se encuentran en menor proporción en tejidos, órganos y enzimas vegetales y cumplen funciones importantes en los procesos metabólicos, se absorben en forma inorgánica y están disponibles como iones disueltos en el suelo (Marulanda, 2015).

En los tejidos vegetales en general los nutrientes se clasifican en: elementos mayores (N, P, K, Ca, y Mg) y menores (Fe, S, Mn, entre otros); en metales que tienen que ver con propiedades fisicoquímicas (K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo y Ni) y no metales (N, S, P, B y Cl); por sus reacciones bioquímicas en la formación de cadenas carbonadas (N y S), las fuentes de energía (P, Si y B), los nutrientes esenciales para reacciones REDOX (Fe<sup>2+</sup>O<sup>3+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>+</sup>O<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Mo<sup>4+</sup>), y aquellos que forman iones en las plantas (K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup>) (Mejía, 2010).

Se deben manejar varios aspectos para establecer un plan de fertilización en el cultivo de ají. Como primera instancia se deben conocer los requerimientos nutricionales especialmente

Nitrógeno, Fosforo, Potasio, de acuerdo a cada etapa fenológica (Tabla 1) para expresar todo su rendimiento y calidad (Rodríguez, Bolaños, & Menjivar, 2010) y conocer las condiciones químicas y físicas del suelo óptimas para el desarrollo del cultivo.

**Tabla 1.** *Requerimientos nutricionales de cultivo de ají*

Etapas	kg ha <sup>-1</sup>			Relación		
	N	P	K	N	P	K
Trasplante (1-20 d)	31,25	16,66	16,66	2	1	1
Desarrollo (21 - 55d)	46,86	16,66	32,32	3	1	2
Fructificación (56 - 85d)	31,24	49,98	33,32	2	3	2
Producción (86 - 147d)	15,62	16,66	66,66	1	1	4
<b>TOTAL</b>	125,00	100,00	150,00	1,25	1,0	1,5

Con el mismo criterio Salazar & Juárez (2012), afirman que el requerimiento nutricional específico del cultivo de ají o chile que sirva de base para el cálculo de dosis de fertilización es (en kg t<sup>-1</sup>): Nitrógeno (N), 2,4 – 4,0; Fósforo (P<sub>2</sub> O<sub>5</sub>), 0,4 – 1,0; Potasio (K<sub>2</sub> O), 3,4 – 5,29, Calcio (CaO): 0,55 – 1,80 y Magnesio (MgO), 0,28 – 0,49.

### 5.3.2.1. Nitrógeno

El Nitrógeno se encuentra disponible en muchas formas, producto de una conversión continua mediante procesos físicos y biológicos, lo que constituye el ciclo del N. En la atmósfera existen grandes cantidades de N<sub>2</sub> (78% con base en volumen), las plantas no fijan directamente a pesar de que entra por los estomas con todos los componentes del aire, ya que estas carecen de las enzimas para asimilarlo, por este motivo el N<sub>2</sub> sale de las plantas tan rápido como entra. Para que ocurra la asimilación de este elemento por las plantas, primero debe ser fijado al suelo, función que lo cumplen ciertos microorganismos procariotas que se encuentran en las raíces de leguminosas o mediante la fijación (Marulanda, 2015).

Con adecuadas condiciones de luz, temperatura y disponibilidad de agua, el requerimiento de nitrógeno es elevado, por lo que las especies C4 demandan mayor cantidad de N cuando las condiciones ambientales son óptimas, debido a las altas tasas de fotosíntesis (Marschner, 1995).

### 5.3.2.2. Fósforo

El P es tomado por las plantas principalmente como anión monovalente fosfato H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> cuando el pH es menor de 7 y con menor rapidez como anión divalente HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> cuando el pH es mayor de

7. El P se asimila mejor a pH entre 5.6 y 6.7; por fuera de estos dos límites se combina con el Fe, Al y Ca formando fosfatos no asimilables por las plantas, es un elemento estructural cuya función está representada en los ácidos nucleicos que como unidades de la molécula de ADN, que transportan la información genética mediante el RNA, es la estructura responsable de la transducción (translación) de la información genética (Mejía, 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

#### **5.3.2.3. Potasio**

La presentación de este elemento es en forma de citosol a una concentración de 100 – 200 mM (Leigh y WynJones, 1984), y no puede ser reemplazado por ningún otro catión ( $\text{Na}^+$ ). De otro lado, la concentración de K en las vacuolas varía entre 10 – 200 mM y puede alcanzar los 500 mM en las células guardas de los estomas. En la función osmótica puede ser reemplazado en diferentes grados por otros cationes como  $\text{Na}^+$   $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  o por solutos orgánicos como los azúcares (Marschner, 1995).

#### **5.3.2.4. Calcio**

El Ca es tomado por las plantas divalente ( $\text{Ca}^{2+}$ ) es poco móvil en la planta. Actúa como enlace entre los fosfolípidos y las proteínas de la membrana; provee enlaces intermoleculares estables pero reversibles, especialmente en las paredes celulares y en membrana plasmática. El contenido de Ca en las plantas varía entre el 0.1 y > el 5 % del peso seco; el requerimiento de las monocotiledóneas es menor que en las dicotiledóneas. La deficiencia se reconoce por la deformación de los tejidos los cuales muestran un aspecto torcido en las zonas meristemáticas hasta la muerte de las mismas (Marschner, 1995; Mejía, 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

#### **5.3.2.5. Magnesio**

Según el nivel nutricional de Mg entre el 6 y el 25 % del mismo se destina a la síntesis de la clorofila, del 5 al 10 % a la síntesis de pectatos de las paredes celulares o se precipita como sales solubles a la vacuola; el otro 60 y 90% es extractable con agua (Marschner, 1995; Buchanan, Gruissem, y Jones, 2000; Mejía, 2010; Taiz y Zeiger, 2010), la concentración de Mg en los tejidos vegetales está entre el 0,15 y 0,35% del peso seco (Marschner, 1995).

#### **5.4. Uso eficiente de nutrientes (USN)**

El uso eficiente de nutrientes o de fertilizantes hace referencia a la capacidad de uso de los nutrientes que presentan las plantas o un sistema de producción, o cuán eficiente las plantas o un sistema de producción usan los nutrientes, la eficiencia puede verse a corto o largo plazo y puede basarse en el rendimiento, recuperación o remoción; entre las expresiones más comunes de la eficiencia de los fertilizantes está la eficiencia de recuperación del fertilizante (ERF): capacidad de la planta para tomar nutrientes aplicados al suelo (Stewart, 2007; Romero, 2018).

#### **5.5. Eficiencia agronómica (EA)**

La eficiencia de los fertilizantes que se le aplican a un cultivo, es un factor de suma importancia para incrementar los rendimientos bajo un manejo sostenible (Apaez et al., 2013). Tadeo-Robledo *et al.* (2015), definen la eficiencia agronómica de fertilizante (EAF) como la relación de “cuantos kilogramos de fruto se cosechan marginalmente en una hectárea entre los kg adicionados de un nutrimento contra el testigo sin tratar”. La eficiencia en el uso de fertilizantes o nutrientes, puede incrementarse significativamente cuando su disponibilidad se sincroniza con la demanda de cultivos (Johnston & Bruulsema, 2014).

#### **5.6. Eficiencia de recuperación de nutrientes (ERN)**

El Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI) mediante uno de sus representantes Stewart (2007), define la eficiencia de recuperación de nutrientes (ERN) como la proporción de nutrientes aplicados que el cultivo absorbe, y afirma que aún con las mejores prácticas de manejo, los cultivos no utilizan el 100% del fertilizante aplicado (Bruulsema, Fixen, & Sulewski, 2015; Johnston & Bruulsema, 2014). La eficiencia de recuperación de nutrientes (ERN) de un nutriente específico como el N, P, K, Ca, Mg, S, etc., frecuentemente se define como “el porcentaje del nutriente recuperado en la biomasa de la planta, que se encuentra sobre el suelo durante el ciclo de crecimiento” (Stewart, 2007).

## **5.7. Factores que afectan al uso eficiente de nutrientes**

### **5.7.1. Clima**

El ají es un cultivo que se adapta a un rango muy amplio de altitudes, desde el nivel del mar hasta los 3000 msnm, de acuerdo con la especie cultivada, el rango de temperatura en que se cultiva este fruto también es variable; en Costa Rica se cultiva en zonas con temperaturas entre 18 y 30° C. Pluviosidad entre 600 a 1250 mm año<sup>-1</sup> y humedad relativa promedio del 80% (Proají, 2019).

### **5.7.2. Temperatura**

La temperatura influye en la tasa de liberación de nutrientes de las reservas orgánicas e inorgánicas, y en la absorción por las raíces así como la posterior translocación y utilización en las plantas (Baligar, Fageria, & He, 2001).

### **5.7.3. Luminosidad**

La radiación solar tiene un efecto directo sobre la fotosíntesis, que a su vez influye en la demanda de nutrientes de las plantas, dado que la calidad de la radiación y el sombreado de los cultivos reduce el crecimiento de estos, la fijación de N<sub>2</sub> y los iones (Baligar et al., 2001).

### **5.7.4. Humedad**

La humedad en el suelo juega un rol de gran importancia ya que los iones de los nutrientes deben estar disueltos en el agua del suelo (solución del suelo) para que las plantas puedan absorberlos, si la humedad del suelo disminuye la movilidad de los nutrimentos se reduce y la concentración puede aumentar, pero no llegar hasta la rizósfera de las plantas de tal forma que la eficiencia de los nutrientes se ve limitada (Millar, Foth y Turk, 1975).

### **5.7.5. Materia orgánica**

Dependiendo del cultivar, los rendimientos del cultivo de ají pueden alcanzar, en promedio, 9 t/ha, producción que rara vez se logra debido a escaso uso de tecnologías adecuadas de cultivo en semilleros, manejo de suelos y aguas, fertilización, manejo integrado de plagas y enfermedades, y manejo poscosecha (Marulanda, 2015). La incorporación de materia orgánica más la inclusión de micorrizas al suelo constituyen una valiosa alternativa para lograr un incremento muy notorio en la producción de ají en  $\text{kg ha}^{-1}$ , convirtiéndose en un complemento ideal a en el plan nutrición del cultivo en conjunto a la fertilización sintética (Rodríguez, Bolaños, & Menjivar, 2010).

### **5.7.6. pH**

El pH del suelo afecta el uso eficiente de nutrientes en las plantas, ya que existe una fuerte relación entre la acidez y la solubilidad de los nutrientes. Los suelos muy ácidos pueden sufrir un empobrecimiento en nutrientes, debido a la saturación del complejo de cambio por  $\text{H}^+$  o  $\text{Al}^{3+}$ , lo que provoca la expulsión de otros cationes a la solución del suelo, estos cationes resultarán más accesibles para las plantas, pero también pueden perderse por lavado (López, 2006).

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en la parroquia Malimpia del cantón Quinindé en la provincia de Esmeraldas, localizada geográficamente a 0°22'25.19" Latitud Norte y 79°24'32.31" Longitud Oeste, a una altura de 137 msnm.

### 6.2. Condiciones climáticas

La zona donde se realizó la investigación presentó las siguientes condiciones agroclimáticas: temperatura media anual de 25° C, humedad relativa del 82% y precipitación promedio anual 2 800 mm año<sup>-1</sup>, heliofanía 650 horas sol/año, evaporación 700 mm, topografía regular, textura del suelo franco arcilloso y drenaje bueno (INHAMI, 2017).

### 6.3. Caracterización del suelo

Las características del suelo y su contenido nutricional se las puede observar en la Tabla 2 (anexo 1).

*Tabla 2. Características del suelo y su fertilidad*

<b>Características</b>		<b>Valor</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Clase textural</b>	(----	---	<b>Arcilla</b>
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	(----	5,5	Acido
<b>Materia Orgánica (M.O)</b>	(%)	8	Alta
<b>Conductividad eléctrica (C.E.)</b>	dS m <sup>-1</sup>	0,23	No salino
<b>NH<sup>4+</sup></b>	(mg kg <sup>-1</sup> )	15	Bajo
<b>P (olsen)</b>	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	29	Alto
<b>K<sup>+</sup></b>	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,85	Alto
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	7	Medio
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,6	Medio
<b>S<sup>2+</sup></b>	(ppm)	25	Alto
<b>Zn<sup>2+</sup></b>	(ppm)	8,2	Alto
<b>Cu<sup>2+</sup></b>	(ppm)	8,0	Alto
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	(ppm)	358	Alto
<b>Mn<sup>2+</sup></b>	(ppm)	15,3	Alto
<b>B<sup>2+</sup></b>	(ppm)	0,16	Bajo

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2019.

## 6.4. Material Genético

El material vegetal evaluado fue: la especie de ají de tipo habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) (Pepper Hot Habanero Red) de SeedWay proporcionado por la empresa ProAjí (anexo 2).

## 6.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizado (DBCA), con cuatro tratamientos más un testigo y cuatro repeticiones, para un total de 20 unidades experimentales. Se considerará una densidad poblacional de 16 667 plantas ha<sup>-1</sup>, donde cada unidad experimental (UE) consistió en una parcela de 4.5 m de ancho por 3.2 m de largo (14.4 m<sup>2</sup>), con un distanciamiento de 0.4 m entre plantas y 1.5 m entre hilera y un total de 24 plantas, de las que se evaluarán cinco plantas del área útil.

### 6.5.1. Tratamientos

Los tratamientos fueron elaborados con base al mejor tratamiento que obtuvo Romero-Lozada *et al.* (2016) en su investigación, mismo que en la presente investigación hacen referencia al tratamiento cuatro (T4) (100%), y sirve de base para el T3, T2, T1 y Testigo, fijando la dosis con una reducción gradual del 25% hasta llegar a 0% en el Testigo. Éstos valores se detallan en la tabla 3.

**Tabla 3. Dosis de nutrientes en g pl<sup>-1</sup> por Tratamientos.**

Tratamientos.	Dosis de nutrientes en g pl <sup>-1</sup>		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Testigo NPK (0%)</b>	0,0	0,0	0,0
<b>T1 - NPK (25%)</b>	2,0	1,3	4,0
<b>T2 - NPK (50%)</b>	4,0	2,7	8,0
<b>T3 - NPK (75%)</b>	5,9	4,0	11,9
<b>T4 - NPK (100%)</b>	7,9	5,3	15,9

## **6.6. Variables**

### **6.6.1. Diámetro de tallo (mm) a los 35 y 75 días después del trasplante ( $\emptyset$ ddt)**

Se realizó esta medición en cinco plantas por cada unidad experimental (UE) con la ayuda de un calibrador, a una altura de 5 cm sobre la superficie del suelo.

### **6.6.2. Altura de planta (cm) a los 35 y 75 días después del trasplante (ddt)**

La medición de esta variable se la realizó utilizando un flexómetro, considerando el área a medir desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, en el mismo orden se realizó la medición en cinco plantas por cada UE.

### **6.6.3. Peso fresco de frutos (gramos)**

En cada pase de cosecha, se contabilizaron y se pesaron todos los frutos del área útil de cada unidad experimental (UE) y se promedió con el número de frutos cosechados. Esto se lo realizó utilizando una balanza digital con una precisión de una décima de gramo (+-) (anexo 3).

### **6.6.4. Rendimiento ( $\text{kg. ha}^{-1}$ )**

Se realizaron siete pases de cosecha una por semana donde se llevó un registro del peso y número de frutos cosechados en cinco plantas de cada UE, y posteriormente con los valores registrados se realizó una proyección a valores de  $\text{kg ha}^{-1}$  (anexo 3).

### **6.6.5. Concentración de nutrientes en tallo-ramas, hojas y frutos**

En la tabla cuatro se detalla el método de extracción y determinación para los elementos que se analizaron en los tejidos de tallo-ramas, hojas y frutos.

**Tabla 4.** Determinación de muestras de tejidos foliares.

<b>ELEMENTO</b>	<b>MÉTODO DE EXTRACCIÓN</b>	<b>MÉTODO DE DETERMINACIÓN</b>
<b>Nitrógeno (N)</b>	Kjeldhal	Titulación
<b>Fósforo (P)</b>	Molibdato-Vanadato	Colorimetría
<b>Potasio (K)</b>	Digestión con HCL 6M	Espectrofotometría de absorción Atómica
<b>Calcio (Ca)</b>	Digestión con HCL 6M	
<b>Magnesio (Mg)</b>	Digestión con HCL 6M	

Fuente: Rodríguez y Rodríguez, 2011.

#### 6.6.6. Análisis físico químico de suelo

La caracterización química de las muestras se determinaron según la Tabla 5.

**Tabla 5.** Determinación de muestras de suelo.

<b>ELEMENTO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>MÉTODO DE DETERMINACIÓN</b>
<b>pH</b>	Agua destilada con relación 1:2.5	-
<b>Fósforo (P)</b>	Olsen	Espectrofotometría ultravioleta visible
<b>Bases cambiables (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup>) y CIC</b>	Acetato de amonio 1N a pH 7	Espectrofotometría de absorción Atómica
<b>Carbono orgánico</b>	Walkey-Black	-
<b>Nitrógeno (N)</b>	Kjeldhal	Titulación
<b>Textura</b>	Pipeta	-
<b>Densidad aparente</b>	Cilindro o volumen conocido	-
<b>Densidad real</b>	Picnómetro	-

#### 6.7. Extracción de Nutrientes

La extracción de nutrientes se determinó mediante el producto de la concentración de nutrientes (%) por el rendimiento de materia seca (kg) de tallos-ramas, hojas y frutos de ají, y los resultados del laboratorio se presentan en el análisis de tejidos (anexo 4).

### 6.8. Eficiencia de recuperación del fertilizante (ERF)

Esta eficiencia se la calculó mediante la fórmula propuesta por Baligar, *et al.* (2001).

$$ERF(\%) = \frac{EN(f) - EN(t)}{NA} \times 100$$

Dónde:

EN (f)= Extracción de nutrientes (raíz, tallos-ramas, hojas y fruto) del tratamiento fertilizado.

EN (t)= Extracción de nutrientes (raíz, tallos-ramas, hojas y fruto) del tratamiento sin fertilizar.

NA= Cantidad de nutriente aplicado por medio del fertilizante.

### 6.9. Eficiencia agronómica (EA)

Se determinó con la fórmula usada por Baligar *et al.* (2001).

$$EA = \frac{R(f) - R(t)}{NAF} \text{ kg.kg}^{-1}$$

Dónde:

R (f)= Rendimiento (fruta fresca) del tratamiento fertilizado.

R (t)= Rendimiento (fruta fresca) del tratamiento sin fertilizar.

NAF= Cantidad del nutriente aplicado con el fertilizante

### 6.10. Análisis estadístico de la Información

Para el análisis funcional se aplicó un análisis de Varianza, y en la variables que se encontró diferencias significativas se aplicó una prueba de comparación de medias de Duncan ( $P < 0,05$ ), correlaciones y regresiones utilizando InfoStat versión 1.2.

### 6.11. Manejo del ensayo

#### 6.11.1. Muestreo de suelo

Se recolectó una muestra de suelo misma que estuvo conformada por 10 submuestras que fueron extraídas con un barreno, de cada una de estas se colectó 100 g, luego se mezcló hasta que la

muestra quedara homogénea y se utilizó 1 kg de suelo mismo que fue enviado al laboratorio para su respectivo análisis.

### **6.11.2. Preparación del suelo**

Un mes antes del trasplante se desmalezó de forma manual el terreno, luego se aró con la ayuda de un pico y un azadón para preparar las camas, mismas que se ubicaban a 1,5 m una de la otra, luego de realizar las camas se procedió a ubicar el plástico de 0.3 mm de espesor color negro con 1 m de ancho, colocado 0,5 m a cada lado de la cama, finalmente se ubicó en toda la periferia del ensayo una malla con perforaciones de una pulgada con un altura de 2 m con el fin de proteger el área y así quedó listo para el trasplante (anexo 5).

### **6.11.3. Siembra del semillero**

En esta actividad se emplearon bandejas plásticas para semillero con capacidad de 128 cavidades, mismas que fueron llenas con un sustrato que se lo preparó utilizando 50% de materia orgánica, 25% de suelo y 25% de arena, luego de realizar esta mezcla el sustrato fue expuesto al sol por cuatro días consecutivos; luego de ser llenas todas las cavidades de las bandejas con el sustrato se sembró una semilla de ají a una profundidad de 0.5 cm por cada cavidad, es decir, 128 semillas por bandeja (anexo 6).

### **6.11.4. Trasplante**

El trasplante se la realizó a los 45 días después de la siembra, cuando las plantas presentaron una altura mínima de 15cm y seis hojas verdaderas. Primero se realizó una perforación del plástico a cada 40 cm de longitud y posteriormente se hizo un pequeño hoyo en el suelo y se colocó una planta por sitio manteniendo la precaución de que quede cubierta de suelo sólo hasta el nivel que tenía en el semillero. La densidad poblacional fue de 16 667 plantas ha<sup>-1</sup> distribuidas a 0,4 m entre plantas y 1,5 m entre hileras (anexo 7).

### **6.9.5. Riego**

No se utilizó riego dado que en la zona y temporada donde se realizó la investigación se contó con la humedad suficiente para el cultivo.

### 6.11.6. Fertilización

La fertilización se realizó según los fraccionamientos que se detalla en la tabla 6, donde cada tratamiento recibió la aplicación con el porcentaje correspondiente de acuerdo a los días después del trasplante, las fuentes utilizadas fueron urea (46%N), fosfato diamónico (18% N - 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), y muriato de potasio (60% K<sub>2</sub>O) (anexo 8).

**Tabla 6.** Fertilización para el cultivo de ají

Elemento	Días después del trasplante				
	10	30	45	60	75
Nitrógeno	20%	20%	20%	20%	20%
Fósforo	40%	20%	20%	20%	0%
Potasio	20%	20%	20%	20%	20%

La dosis de los macronutrientes secundarios (Ca, Mg y S) se las calculó con base a los resultados del análisis de suelo (anexo 1), y se aplicaron vía foliar y en drench (al suelo) de forma estándar para todos los tratamientos.

Se utilizó Cytokin (anexo 9) dos aplicaciones via foliar a los 21 y 45 días después del trasplante (ddt). Y Seaweed extract (anexo 10) tres aplicaciones en drench a los 5, 21 y 45 ddt.

### 6.11.7. Tutorado

La labor de tutorado se la realizó a los 50 y 70 días después del trasplante, en el proceso se colocaron estacas de 1.20 m de altura en cada extremo de cada línea y parcela, luego se extendía dos piolas de polietileno intercalando en la misma dirección a las plantas simulando un amarre de las mismas, hasta llegar de extremo a extremo de las estacas, la piola se colocó de la misma forma a los 35 y 55 cm de altura de la planta de tal forma que quedaran lo más erectas posible y así evitar el volcamiento por el peso de los frutos (anexo 11).

### 6.11.8. Control fitosanitario

#### A. Control de insectos

Para esta labor se realizaron monitoreos frecuentes donde se identificaron los principales problemas de plagas en el cultivo. Los principales problemas insectiles registrados fueron

cortadores de orden Orthoptera inmediatamente después al trasplante. Luego se presentaron dos tipos de defoliadores; en la etapa vegetativa se presentó *Chrysodeixis includens* L. (anexo 12) y en la etapa reproductiva se presentó *Manduca sexta* L. (anexo 13), las plagas antes mencionadas se presentaron en bajas proporciones, sin embargo, fueron controladas con lambdacialotrina en dosis de 1,5 cc/l de agua realizando dos aplicaciones con un intervalo de 12 días respectivamente.

### **B. Control de enfermedades**

La enfermedad que se presentó con frecuencia durante todo el ciclo del cultivo fue pudrición al cuello de raíz (*Phytophthora capsici*) (anexo 14), para el control de esta enfermedad se aplicó metalaxil + mancozeb en dosis de 4 g/l de agua intercalados con fosetil de Aluminio en dosis de 50 g/l de agua con un intervalo de 21 días entre producto o aplicación.

### **C. Control de malezas**

El control de malezas se lo realizó de forma manual en la apertura del plástico y el cuello de raíz de la planta; y mecánico con machete en las entrelineas, esta labor se la realizó con una frecuencia de tres semanas (anexo 15).

#### **6.11.9. Cosecha**

Esta labor se la inició a los 75 días después del trasplante, en el momento que los frutos llegaron a su madurez comercial presentando un color rojo intenso. Se realizaron siete pases de cosecha para cada tratamiento uno por semana (anexo 16).

#### **6.11.10. Recolección de la muestra de tejidos foliares, tallo y fruto en ají**

Las muestras de tallos-ramas, hojas y frutos se recolectaron en penúltima cosecha, en muestras de tres plantas seleccionadas al azar en el área útil de cada unidad experimental. Con respecto a los frutos, la muestra fue de 10 frutos fisiológica y comercialmente maduros en las mismas plantas de las que se extrajo las muestras de tallos-ramas, hojas. A cada muestra se le tomó el peso de materia húmeda y se las empacó en fundas ziploc para inmediatamente después ser enviadas al laboratorio para su respectivo análisis (anexo 17).

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Evaluación del desarrollo agronómico y rendimiento del ají habanero ante aplicaciones de diferentes dosis de NPK.

Al evaluar el efecto de las dosis de fertilizante sobre el crecimiento de ají habanero no se reportaron diferencias estadísticas tanto en la longitud como también en el diámetro de tallo a los 35 ni a los 75 días después del trasplante (ddt), estos caracteres posiblemente se encuentran gobernados por el genotipo. A los 35 ddt las plantas presentaron una longitud promedio de 27,12 cm, mientras que a los 75 ddt se registró una longitud promedio de 52,49 cm, observándose una velocidad del crecimiento de 0.63 cm d<sup>-1</sup>. Los coeficientes de variación en esta variable fluctuaron entre 12,22 y 12,59%.

**Tabla 6:** Respuesta del crecimiento (Longitud de planta y diámetro de tallo) del ají habanero ante diferentes dosis de NPK.

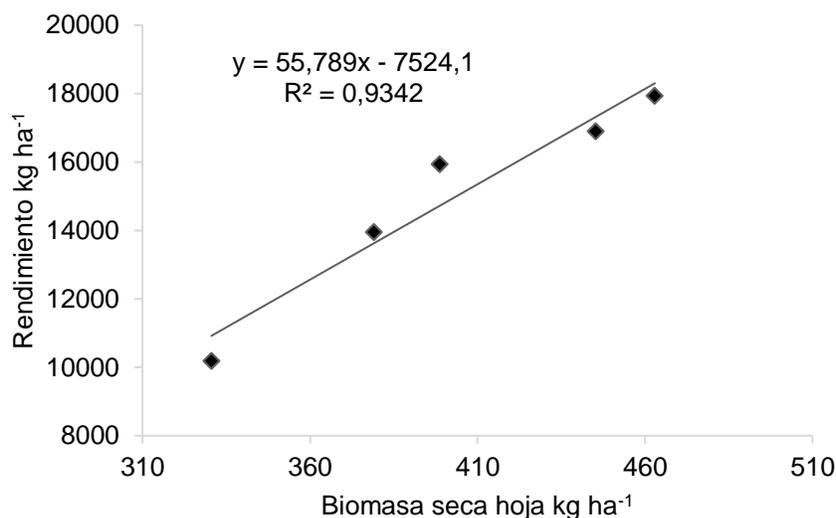
Tratamientos	Longitud (cm) 35 ddt	Longitud (cm) 75 ddt	Diámetro (mm) 35 ddt	Diámetro (mm) 75 ddt
T0. NPK (0%)	24,1 ± 2,04	50,00 ± 5,25	2,61 ± 0,76	12,13 ± 2,12
T1. NPK (25%)	30,0 ± 0,59	58,48 ± 2,28	4,33 ± 0,03	15,43 ± 0,79
T2. NPK (50%)	27,7 ± 2,56	52,53 ± 1,65	3,80 ± 0,57	13,43 ± 0,98
T3. NPK (75%)	27,7 ± 2,48	50,90 ± 3,95	3,50 ± 0,50	12,20 ± 1,47
T4. NPK (100%)	26,1 ± 1,37	50,53 ± 3,78	3,43 ± 0,49	13,27 ± 1,23
CV(%)	12,59	12,22	24,21	16,58
p-valor	0,3704	0,150	0,2600	0,4183

**ddt:** días después del trasplante

El diámetro de tallo tuvo un crecimiento promedio inicial de 3,53 mm a los 35 ddt que se incrementó 13,29 mm a los 75 ddt, notándose una velocidad de crecimiento de 0,24 mm d<sup>-1</sup>. los coeficientes de variación registrados en esta variable oscilaron entre 16,58 y 24,21%.

**Tabla 7:** Respuesta a la generación de biomasa seca y rendimiento del ají habanero ante diferentes dosis de NPK.

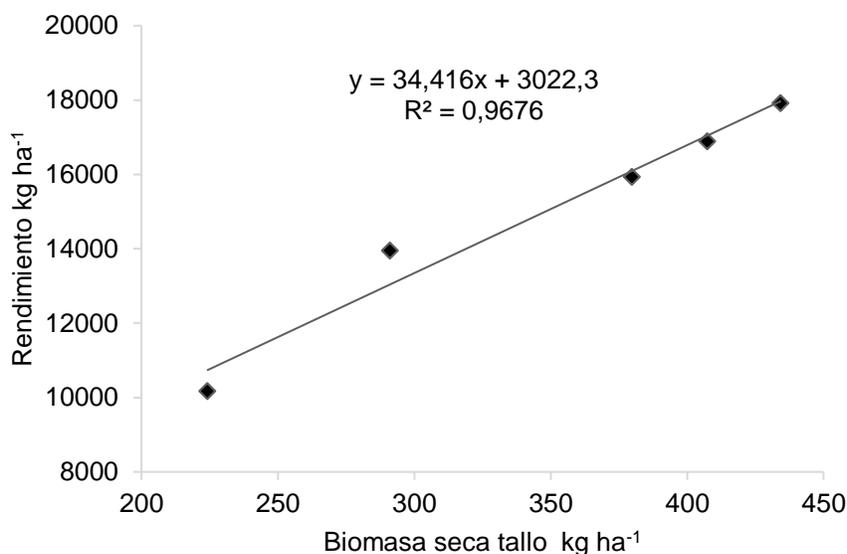
Tratamientos	Biomasa de hoja kg ha <sup>-1</sup>	Biomasa de tallo kg ha <sup>-1</sup>	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>
T0. NPK (0%)	330,57 ± 34,37 c	224,27 ± 13,78 c	10176,63 ± 257,24 e
T1. NPK (25%)	462,96 ± 2,26 a	434,23 ± 11,57 a	17929,53 ± 32,65 a
T2. NPK (50%)	445,33 ± 12,63 ab	407,51 ± 35,82 ab	16890,73 ± 49,51 b
T3. NPK (75%)	398,72 ± 61,06 abc	379,83 ± 46,28 ab	15935,27 ± 75,97 c
T4. NPK (100%)	379,14 ± 29,52 bc	291,08 ± 46,83 bc	13957,37 ± 45,69 d
CV(%)	9,87	18,73	1,18
p-valor	0,0218	0,0208	<0,0001



**Gráfico 1:** Relación entre la biomasa seca de hoja y el rendimiento en ají habanero

En la etapa reproductiva la generación de biomasa seca de hoja y tallo al igual que el rendimiento reportaron diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ). Entre 310 y 460 kg ha<sup>-1</sup> existió un efecto lineal positivo significativo ( $b = 55,789$ ), indicando que a medida que se incrementó la cantidad de biomasa aumentó el rendimiento. Se observó que con 460 kg ha<sup>-1</sup> se puede incrementar los rendimientos en 8 000 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 7, Gráfico 1). Entre 200 y 400 kg ha<sup>-1</sup> de biomasa de tallo existió un efecto lineal positivo significativo ( $b = 34,416$ ), indicando que también a medida que se incrementó la biomasa seca del tallo, se incrementaron los rendimientos, se

observó que con 475 kg de biomasa seca de tallo se puede incrementar el rendimiento en 8 000 kg ha<sup>-1</sup> (Gráfico 2).

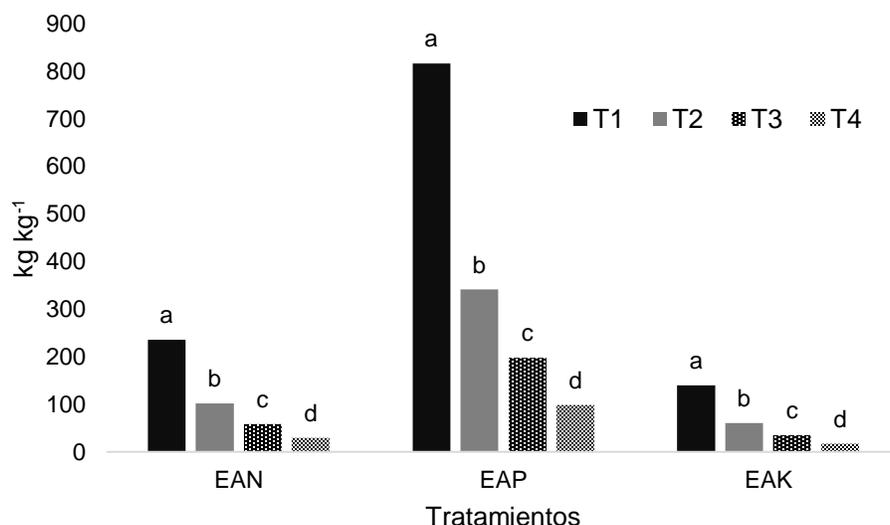


**Gráfico 2:** Relación entre la biomasa seca de tallo y el rendimiento en ají habanero

El mejor rendimiento lo presentó el tratamiento T1. NPK (25%) con un promedio de 17929,53 kg ha<sup>-1</sup>, inferior a los rendimientos alcanzados por (Romero-Lozada, Puentes-Páramo, & Menjivar-Flores, 2017), quienes al determinar la extracción y distribución de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en hojas y frutos, de dos especies de ají: *Capsicum frutescens* L. (tipo Tabasco) y *Capsicum chinense* J. (tipo Habanero), y su influencia en el rendimiento, obtuvieron 23 807 kg ha<sup>-1</sup> en ají habanero. Sin embargo, este promedio fue superior al rendimiento obtenido en ají tabasco que presentó apenas 10 195 kg ha<sup>-1</sup>. Este resultado se atribuye posiblemente a la adición del 25% de N al suelo, que mostró bajos contenidos de amonio, en el análisis químico realizado al previo a la investigación, por lo expuesto aplicando una mayor cantidad de N existe un mayor efecto sobre el rendimiento (Ayodele *et al.*, 2015). Estos rendimientos se consideran altos respecto a los reportados por Reyes *et al.* (2014) y muy superiores, comparados con Pardey *et al.* (2009), para ají tipo Habanero.

## 7.2. Evaluación de uso eficiente de nutrientes en ají habanero

### 7.2.1. Eficiencia agronómica de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en ají habanero.

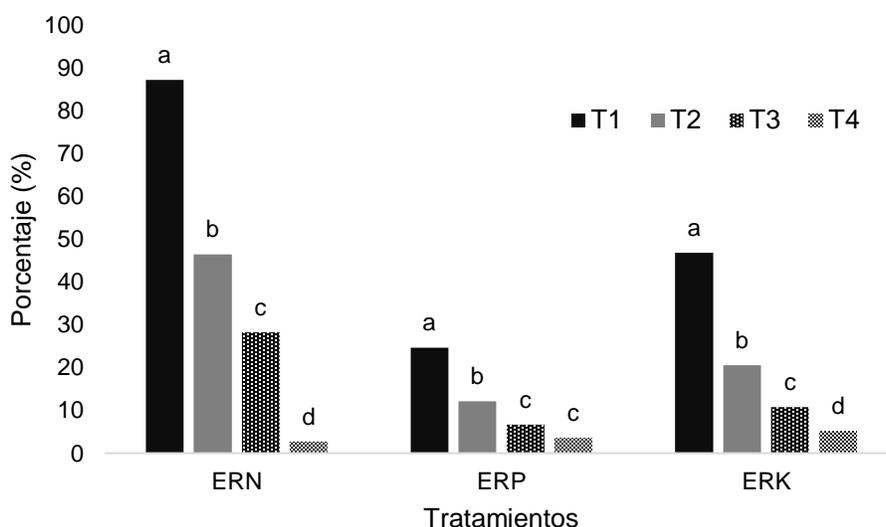


**Gráfico 3:** Eficiencia Agronomica de NPK en ají habanero

La eficiencia agronómica presentó un efecto altamente significativo entre las dosis aplicadas, la mayor Eficiencia Agronómica de NPK se evidenció en el tratamiento T1 (2.0N-1.3P-4.0K), donde por cada kg de nutrientes aplicado se obtuvo valores de 234,97N; 816,10P y 139,43K kg de rendimiento (Gráfico 3), el P presentó el mayor incremento en rendimiento por cada kg de nutriente aplicado, luego N y posteriormente K, estos valores resultaron superiores a los reportados por Romero-Lozada *et al* (2016), quienes encontraron un efecto significativo en la evaluación de la eficiencia agronómica para ají tabasco (*C. frutescens* L.) y habanero (*C. chinense* J.) y los mayores valores de EA para N-P-K en tabasco se presentaron en el tratamiento T2 (N: 150, P2O5:100 y K2O:300), mostrando superioridad la EAP con respecto a la EAN y EAK, en este sentido, se puede apreciar que con la dosis mínima propuesta se logró obtener una EA superior.

Esto se atribuye a que el suelo donde se plantó el experimento, presentó condiciones adecuadas para su desarrollo (Mejia, 2010). En el mismo sentido Proají (2019), indica que las propiedades físicas adecuadas para los cultivos permiten que la absorción de nutrientes sea mayor, lo cual facilita muchos de los procesos fisiológicos de las plantas.

### 7.2.2. Eficiencia de recuperación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en ají habanero.



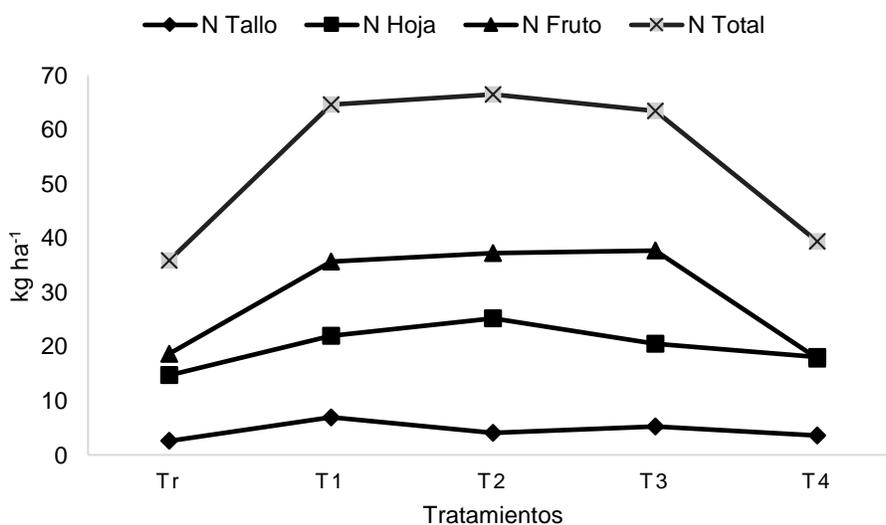
**Gráfico 4:** Eficiencia de Recuperación de NPK en ají habanero

La Eficiencia de Recuperación también presentó un efecto altamente significativo entre las dosis aplicadas, la mayor eficiencia de recuperación de NPK se evidenció también en el tratamiento T1 (2.0N-1.3F-4.0K), que presentó valores de 87,1N; 24,63P y 46,8K % (Gráfico 4), mostrando la mayor recuperación de fertilizante en el orden  $N > K > P$ , los resultados permiten observar que T1, presenta alta eficiencia de recuperación de nutrientes para N y K, lo que implica menor aplicación de dichos nutrientes. Sin embargo, se registró una baja eficiencia de recuperación de P, lo cual conlleva a una mayor aplicación de este elemento, en términos generales se estima para T1, que del 100% de nutriente aplicado al suelo la planta solo aprovecha 87,1% del N, el 24,63% del P y 46,8% del K. Estos valores fueron inferiores a los reportados por Romero-Lozada *et al* (2016), quienes también encontraron un efecto significativo en la evaluación de la eficiencia de recuperación para ají tabasco (*C. frutescens* L.) y habanero (*C. chinense* J.), destacándose el T3 con 141,93ERN y 83,3ERK, y el T2 con 18,64ERP. Posiblemente se atribuye a un problema en la absorción de este elemento puesto que en un suelo de pH ácido (5,5 RC) se dificulta en cierto grado la absorción de este elemento, por su parte Taiz & Zeiger (2010) manifiestan que el P se asimila mejor a pH entre 5,6 y 6,7; por fuera de estos dos límites se combina con el Fe, Al y Ca formando fosfatos no asimilables por las plantas.

### 7.3. Absorción de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en ají habanero

#### 7.3.1. Absorción de N

La distribución de Nitrógeno en la planta de ají habanero presentó un efecto significativo en fruto, hojas y tallo (Gráfico 5). Se observa que la mayor parte del N se direcciona al fruto y la mayor absorción lo registraron los tratamientos T3, T2 y T1, con valores de 37,67, 37,23 y 35,65 kg ha<sup>-1</sup> en su orden, valores que fueron superiores a los reportados por Romero-Lozada, Puentes-Páramo, & Menjivar-Flores (2017), quienes en fruto, obtuvieron una concentración de 27,09 g kg<sup>-1</sup> al incrementar en un 100% el programa de fertilización del CEUNP (N: 150, P2O5: 100 y K2O: 300), mientras que el T2 presentó una baja absorción debido posiblemente a que dichos contenidos fueron desviados a nivel de hoja, con un valor de 21,98; este promedio fue inferior al reportado por Romero-Lozada, Puentes-Páramo, & Menjivar-Flores (2017), quien obtuvo contenidos de P de 48,15 g kg<sup>-1</sup> en la hoja de ají habanero al incrementar en un 50% el programa de fertilización del CEUNP (N: 150, P2O5: 100 y K2O: 300); mientras que a nivel de tallo se destacaron el tratamientos T1 con un valor de 6,94.



**Gráfico 5:** Absorción de nitrógeno en ají habanero

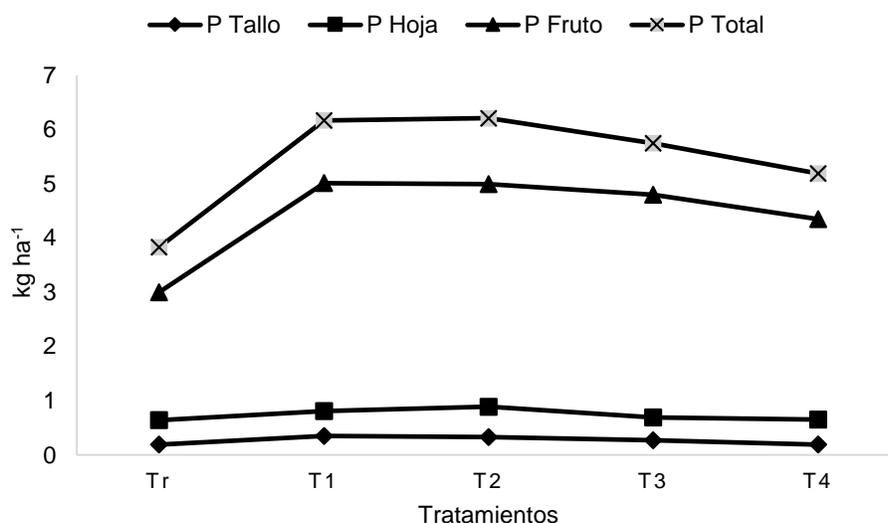
Es común observar que a medida que crece el contenido de N, disminuye el de carbohidratos y aumenta el contenido de N proteico y el N soluble, los cuales son abundantes en los tejidos foliares (hojas y tallos) y órganos de almacenamiento (frutos) que tienen altos contenidos de

agua, pero son escasos en los granos y semillas, lo cual lo hace el elemento más importante en la composición de la planta, mucho más que cualquier otro nutriente mineral (Marulanda, 2015). Debido a que es el componente de todos los aminoácidos y nucleótidos que intervienen en las reacciones químicas de la planta (Mejia, 2010).

Para que el nitrógeno sea asimilado por las plantas, primero debe ser fijado al suelo, proceso que se realiza a través de microorganismos procariotas, algunos de los cuales se encuentran en las raíces de leguminosas (Marulanda, 2015), por lo que con un suelo con un 8% de materia orgánica (INIAP, 2019), es un indicador de que existen este tipo de microorganismos de forma natural.

### **7.3.2. Absorción de P**

La distribución de fósforo en la planta de ají habanero presentó un efecto significativo en fruto, hojas y tallo (Gráfico 6). Se indica que la mayor parte del P estuvo concentrado en el fruto y la mayor absorción lo registraron los tratamientos T1, T2, T3 y T4, con promedios de 5,01, 4,99, 4,80 y 4,35, respectivamente en comparación con el testigo Tr que presentó una baja absorción, esto se atribuye a que es un elemento que interviene en la etapa de floración, fructificación y formación de semillas (Mejia, 2010), además es un componente de los nucleótidos y los lípidos que forman las membradas celulares del crecimiento (Margulis & Sagan , 2019); a nivel de hoja la mayor absorción se produjo en el tratamiento T2, con un promedio de 0,89; mientras que a nivel de tallo se destacó el tratamiento T1 con 0,35. A esto se suma el pH ácido del suelo (5,5 RC) que dificulta en cierto grado la absorción, se asimila mejor a pH entre 5,6 y 6,7; por fuera de estos dos límites se combina con el Fe, Al y Ca formando fosfatos no asimilables por las plantas, la mayor parte del fosfato se convierte a formas orgánicas cuando entra a la raíz o después de que es transportado por el xilema a tallos y hojas (Taiz & Zeiger, 2010).

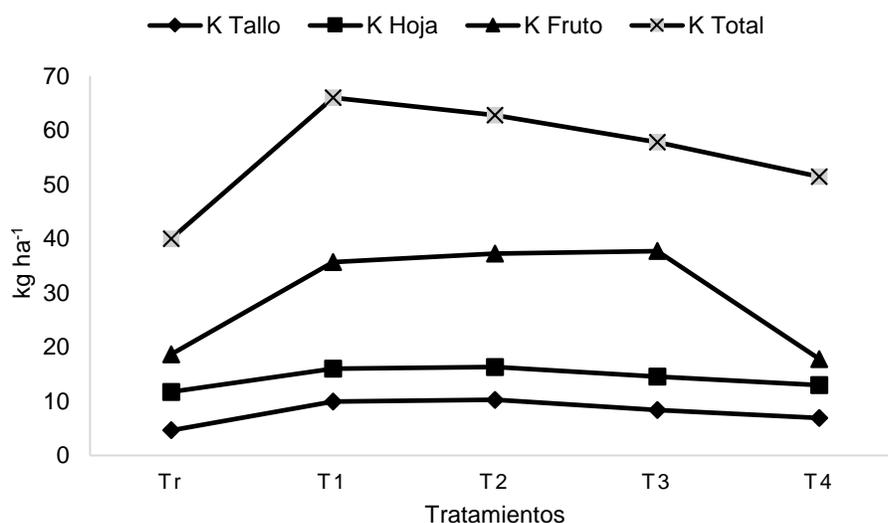


**Gráfico 6:** Absorción de fósforo en ají habanero

### 7.3.3. Absorción de K

La distribución de Potasio en la planta de ají habanero presentó un efecto significativo en fruto, hojas y tallo (Gráfico 7). Se muestra que la mayor parte del K estuvo concentrado en el fruto y la mayor absorción lo registraron los tratamientos T3, T2, T1, con promedios de 37,67, 37,23 y 37,23, en su orden, en comparación con el testigo Tr que presentó una baja absorción, estos promedios fueron superiores a los reportados por Buczkowska *et al.* (2015) y Romero-Lozada, Puentes-Páramo, & Menjivar-Flores (2017) quien reportó contenidos de K en fruto de 30,82 g kg<sup>-1</sup> al adicionar un 50% el programa de fertilización del CEUNP (N: 150, P2O5: 100 y K2O: 300), esto se atribuye a que fue la dosis mínima de evaluación, que fue aplicada oportunamente y logró cubrir las necesidades al momento de la floración (Margulis & Sagan, 2019); a nivel de la hoja la mayor absorción se produjo en los tratamientos T2 y T1, con promedios de 16,51 y 16,31, respectivamente, dado que el K interviene en la apertura y cierre de los estomas y afecta a la fotosíntesis en varios niveles, principalmente afecta en la fijación del CO<sub>2</sub>, se expresa en cloroplastos aislados, en concentraciones adecuadas puede estimular la fijación de CO<sub>2</sub> hasta un nivel equivalente a tres veces la asimilación normal (Marschner, 1995); mientras que a nivel de tallo se destacaron los mismos tratamientos, con 10,27 y 9,94, en su orden. Los dos tratamientos mostraron igual comportamiento en el orden de concentración de nutrientes en hoja: N>K>P y

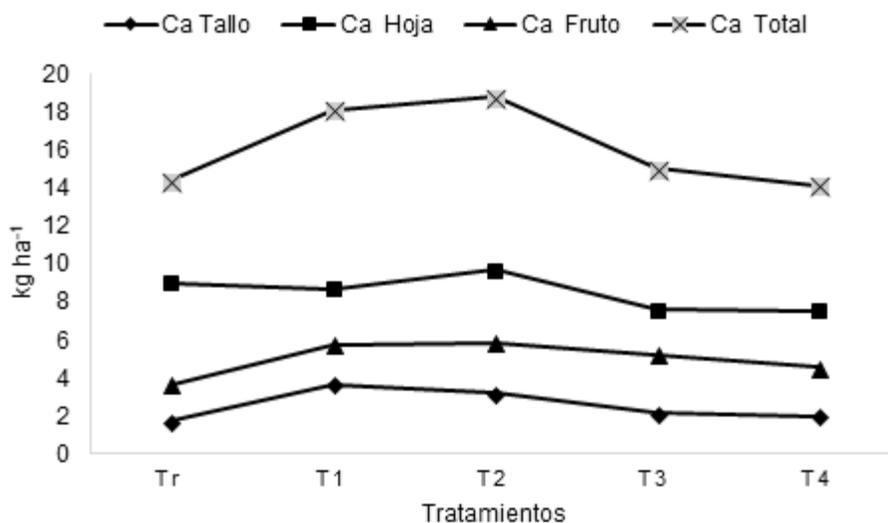
en fruto:  $K > N > P$ , como lo sugieren Constantino et al. (2008) y Azofeifa y Moreira (2005). Así, la mayor concentración de N se encontró en hojas y la mayor concentración de K en frutos,



**Gráfico 7:** Absorción de potasio en ají habanero

#### 7.3.4. Absorción de Ca

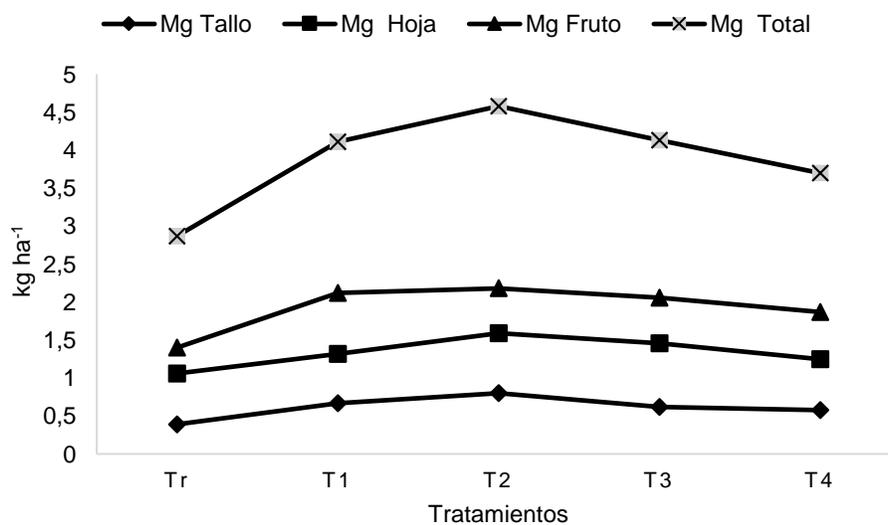
La distribución de Calcio en la planta de ají habanero presentó un efecto significativo en fruto y tallo (Gráfico 8). Se aprecia que la mayor parte del Ca estuvo concentrado en el fruto y la mayor absorción lo registraron los tratamientos T2, T1, con promedios de 5,90 y 5,78, respectivamente, estos valores fueron superiores a los reportados por Azofeifa y Moreira (2005), este último obtuvo un contenido de 1,81 en el fruto, en comparación con el testigo Tr que presentó una baja absorción, esto se atribuye a la interacción de esta dosis de NPK que fue la mínima de evaluación; mientras que a nivel de tallo se destacaron los mismos tratamientos, con 3,21 y 3,66, en su orden. En cierta forma la baja concentración en hojas se atribuye quizás a que el Ca en un suelo con pH ácido dificulta en cierto grado la absorción de fósforo, pues con pH fuera de 5,6 y 6,7 el Ca se combina con el Fe y Al formando fosfatos no asimilables por las plantas y la planta se ve afectada en la producción de biomasa foliar, lo cual responde a su crecimiento y desarrollo ya que está directamente relacionado con la división celular (Mejia, 2010).



**Gráfico 8:** Absorción de Calcio en ají habanero

### 7.3.5. Absorción de Mg

La distribución de Magnesio en la planta de ají habanero se concentró a nivel de la hoja, pues dicho contenido está relacionado con la síntesis de clorofila al constituir el átomo central de la molécula (Taiz & Zeiger, 2010).



**Gráfico 9:** Absorción de Magnesio en ají habanero

Sin embargo, presentó un efecto significativo en fruto y tallo (Gráfico 9). Se aprecia que la mayor absorción lo registraron los tratamientos T3, T1 y T4 con promedios de 2,18, 2,12 y 2,06, en su orden, estos promedios fueron inferiores a los reportados por Romero-Lozada, Puentes-Páramo, & Menjivar-Flores, 2017, quienes alcanzaron un valor de 2,46, esto se atribuye a la interacción esta dosis de NPK que fue la mínima de evaluación; mientras que a nivel de tallo se destacaron los tratamientos T2 y T1, con 0,80 y 0,67, respectivamente. Se puede observar que a nivel de tallo los contenidos de Mg son inferiores respecto a los contenidos registrados en hojas, esto corresponde posiblemente a que en este órgano existe una mínima síntesis de clorofila (Margulis & Sagan, 2019).

#### **7.4. Efecto de la absorción de N, P, K, Ca y Mg sobre el rendimiento**

En la correlación realizada entre el rendimiento y los macronutrientes en ají habanero (Tabla 8), se observó que la absorción de nutrientes en hojas tuvo una fuerte correlación para N, mientras que para P, K y Mg fue débil, siendo significativos en todos los casos, por otra parte, en la absorción de calcio no fue significativa para el incremento del rendimiento, lo cual se puede originar por el movimiento del calcio, ya que este se mueve en función de la transpiración, y los frutos son los órganos que transpiran menos (Marschner, 1995).

La absorción de nutrientes en tallo fue altamente significativa para K, mientras que en N, P, Ca y Mg fue significativa, pero en todos los casos se obtuvo una correlación fuerte. Consecuentemente, la absorción de todos los nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) en fruto fue altamente significativa, obteniendo una correlación fuerte en todos los casos, es decir que una variable (rendimiento) depende de la otra (absorción).

En resumen, se pudo evidenciar que la absorción de nutrientes que más incidió para que haya un incremento en el rendimiento, es la del fruto, en este sentido Constantino *et al.*, (2008); Romero-Lozada, Puentes-Páramo, & Menjivar-Flores (2017), sugieren que si existe una mayor concentración de nutrientes en fruto, el rendimiento se puede incrementar.

**Tabla 8:** Correlaciones entre el rendimiento y la absorción de macronutrientes en ají habanero

Variable (1)	Variable (2)	Pearson	p-valor	
<b>Rendimiento</b>	<b>Hoja</b>	<b>N</b>	0,75	0,0013*
		<b>P</b>	0,54	0,0381*
		<b>K</b>	0,56	0,0313*
		<b>Ca</b>	0,05	0,8485 <sup>NS</sup>
		<b>Mg</b>	0,52	0,0447*
	<b>Tallo</b>	<b>N</b>	0,73	0,0022*
		<b>P</b>	0,75	0,0012*
		<b>K</b>	0,87	<0,0001**
		<b>Ca</b>	0,72	0,0027*
		<b>Mg</b>	0,69	0,0046*
	<b>Fruto</b>	<b>N</b>	0,82	0,0002**
		<b>P</b>	0,89	<0,0001**
		<b>K</b>	0,93	<0,0001**
		<b>Ca</b>	0,95	<0,0001**
		<b>Mg</b>	0,92	<0,0001**

**NS:** no significativo \* **p-valor** <0,05= significativo \*\* **p-valor** <0,001= altamente significativo

## VII. CONCLUSIONES

- Las diferentes dosis de fertilizante a base de NPK en ají habanero presentaron un efecto significativo en la producción de biomasa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), así como también en el rendimiento del fruto ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) destacándose el T1. NPK (25%), demostrándose que estas variables están íntimamente relacionadas.
- Las mejores Eficiencias Agronómicas y de recuperación de nutrientes las presentó el T1. NPK (25%), por cada kg de nutriente aplicado se aumentó el rendimiento en mayor proporción por P, luego N y K, así mismo, mostró la mayor recuperación de fertilizante en el orden N, K y P.
- La mayor absorción de nutrientes tanto en el fruto, tallo y hojas, la presentó el T1. NPK (25%), que presentó las mejores absorciones de los elementos N, P, K, Ca y Mg.

## IX. RECOMENDACIONES

- En posteriores investigaciones tratar de encontrar el efecto de estas dosis con relación a la calidad del fruto de ají habanero, ya que al momento de comercialización es de mucho interés presentar al mercado frutos de excelente calidad física y organoléptica.
- Difundir estos resultados a la comunidad científica e industrial, para dar a conocer la importancia del uso eficiente de los fertilizantes en el cultivo de ají habanero, para evitar abusos que incidan en la contaminación del ambiente y agravante al cambio climático.
- Empezar a trabajar con la especie *Capsicum annuum* ya que es la que más utiliza el agricultor.

## BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, M., & Vásquez, R. (2014). *Estudio de factibilidad para la creación de un acopio e industrialización de ají en el Valle del Chota*. Universidad Técnica del Norte - Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas. Obtenido de: [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1412/1/02 ICA 197 TESIS.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1412/1/02_ICA_197_TESIS.pdf)
- Apaez Barrios, P., Escalante Estrada, J., Ramirez Vallejo, P., Koch Olt, S., Sosa Montes, E., & Olalde Gutierrez, V. íctor. (2013). Eficiencia agronómica de Nitrógeno y Fósforo en la producción de frijol chino en espaldera de maíz. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 285–293. Obtenido de: <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&CSC=Y&NEWS=N&PAGE=fulltext&D=caba6&AN=20143037423http://oxfordfx.hosted.exlibrisgroup.com/oxford?sid=OVID:cabadb&id=pmid:&id=doi:&issn=0187-5779&isbn=&volume=31&issue=4&spage=285&pages=285-293&date=2013&title=Terra>
- Ayodele, O.J, E.O. Alabi y M. Aluko. 2015. Nitrogen fertilizer effects on growth, yield and chemical composition of hot pepper (Rodo). *Int. J. Agr. Crop Sci.* 8 (5), 666-673.
- Azofeifa A. y M.A. Moreira. 2005. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annum* CV. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica. *Agron. Costarr.* 29(1), 77-84.
- Baligar, V., Fageria, N., y He, Z. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Volume 32 (7), 921-950.
- Bruulsema, T. W., Fixen, P. E., & Sulewski, G. D. (2015). Review: 4R Plant Nutrition - A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition. *Sulewski - IPNI*. Obtenido de: [http://seap.ipni.net/ipniweb/region/seap.nsf/e0f085ed5f091b1b85257900057902e/9370ab87e8406ad38525808e004f61b6/\\$FILE/July 2017.pdf](http://seap.ipni.net/ipniweb/region/seap.nsf/e0f085ed5f091b1b85257900057902e/9370ab87e8406ad38525808e004f61b6/$FILE/July%202017.pdf)
- Bueno Castillo, D. G. (2017). *Plan para la creación de una línea de ají artesanal utilizando ingredientes autóctonos del país*. UDLA - Escuela de gastronomía. Obtenido de: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/6577/1/UDLA-EC-TLG-2017-14.pdf>
- Cabadiana Pantoja, A. C. (2018). *Desarrollo de un producto gourmet en base al ají ecuatoriano*. Universidad Regional Autónoma de los Andes “UNIANDES.” Obtenido de: <http://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/7939/1/PIUAESC006-2018.pdf>
- Castañón-Nájera, G., Latournerie-Moreno, L., Mendoza-Elos, M., Vargas-López, A., & Cárdenas-Morales, H. (2008). Colección y caracterización de Chile (*Capsicum* spp) en Sampling and characterization of pepper chilli (*Capsicum* spp) in Tabasco, Mexico Castañón-Nájera 2 G, L Latournerie-Moreno 3. Obtenido de: <http://revistaphyton.fundromuloraggio.org.ar/vol77/CASTANION.pdf>
- Constantino M.R., A.J.D. Gómez, S.V. Álvarez, G.E, Huerta y E. Barba. 2008. Effect of inoculation with rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of

*Capsicum chinense* Jacquin. J. Agric. Rural Develop. Trop. Subtrop. 109, 169-180.

FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Estadísticas). (2016). Datos de cultivos de chiles, pimientos picantes, pimientos (verdes). Acceso Junio 18, 2018, en: from <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

Flor Ronquillo, C., Ruíz gómez, W., Tobar Mesa, J., Gallo Corredor, J., & Rengifo, E. (2007). Evaluación agronómica de ocho variedades de ají en la vereda “ Villanueva ”, Municipio de Popayán.

Flores Torres, G. M., & Valencia Villalba, A. R. (2014). *Estudio de factibilidad para el incremento de la producción y mejoramiento de la comercialización de la pasta de ají en la empresa Sumak Mikuy de la ciudad de Cotacachi, provincia de Imbabura*. Universidad Técnica del Norte - Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas. Obtenido de: [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4033/1/02\\_ICO\\_428\\_TESIS.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4033/1/02_ICO_428_TESIS.pdf)

Grisell, S., Ravelo, M., Reyes, F. G., Chávez, L. T., Moreno, J. P., José, J., & Cabriales, P. (2014). Evaluación de la recuperación del nitrógeno y fósforo de diferentes fuentes de fertilizantes por el cultivo de trigo irrigado con aguas residuales y de pozo. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v63n1/v63n1a04.pdf>

González, T.A., Figueroa V.U., Preciado R.P., Núñez, H.G., Luna O.J., & Antuna, G.O. (2016). Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. Rev. Mex. Cienc. Agríc., 7(2), 301-309. Chapingo, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Guzmán, M. (2004). Población, agua, suelo y fertilizantes: el ferti-riego, 5–10(84-96023-27–3). Retrieved from <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3138/F01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

INHAMI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (2017). Información tomada directamente de la Estación meteorológica La Teodomira. Santa Ana – Ecuador.

Johnston, A. M., & Bruulsema, T. W. (2014). 4R nutrient stewardship for improved nutrient use efficiency. *Procedia Engineering*, 83, 365–370. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.029>

López, Jordán A. (2006). *Nanual de Edafología*. Sebilla: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química.

Margulis, L., & Sagan, D. (14 de 07 de 2019). *El proceso de nutrición en las plantas*. Obtenido de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448180895.pdf>

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Orlando. Academic Press. P.889

Marulanda, A. C. (2015). *Requerimientos nutricionales del ají Capsicum annumL. y su relación*

*con rendimiento bajo condiciones ambientales de Palmira, Valle del Cauca.* Palmira, Valle del Cauca, Colombia: UNAL

- Mejia, M. (2010). *Conceptos sobre fisiología de absorción y funciones de los minerales en la nutrición de plantas.* Cali, Colombia: Feriva
- Méndez, M. A., Ligarreto, G. A., Hernández, M. S., & Melgarejo, L. M. (2004). Agronomía colombiana. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 7–17. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317823002>
- Mendoza, R. (2006). Sistemática e historia de ají *Capsicum tourn.* *Universalía*, 11(2), 80–88. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2924765>
- Millar, C. R.; Foth, H. D.; y Turk, L. M. (1975). Edafología: Fundamemntos de la Ciencia del Suelo. México: C.EC.S.A.
- Pardey, R.K., D.M.A. García y C.F.A. Vallejo. 2009. Evaluación agronómica de accesiones de Capsicum del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. *Acta Agron.* 58(1), 23-28.
- Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., & Aranzazu-Hernández, F. (2014). Eficiencias en el uso de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Bioagro*, 26(2), 99–106. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85731100004>
- Proají. (30 de 06 de 2019). *Uso de Buenas Prácticas Agrícolas para Acceder a Mercados de Exportación.* Obtenido de <http://portal.uasb.edu.ec/UserFiles/385/File/AJI.pdf>
- Reyes, A. J., Alvarez-Herrera, J. G., & Fernández, J. P. (2013). Papel del calcio en la apertura y el cierre estomático y sus interacciones con solutos compatibles. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícola*, 7(1), 111-122. Reyes, R.A., A.M. López, S.E. Ruiz, M.L. Latournerie, G.A. Pérez, C.M.G. Lozano y L.M.J. Zavala. 2014.
- Ribeiro, C., Souza, K., Carvalho, S., & Reifschneider, F. (2015). BRS Juruti: the first Brazilian habanero-type hot pepper cultivar. *Hortic. Bras.*, 3, 3. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000400020>.
- Rodríguez Araujo, E., Bolaños Benavides, M., & Menjivar Flores, J. (2010). Efecto de la fertilización en la nutrición y rendimiento de ají (*Capsicum* spp.) en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 55–64. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v59n1/v59n1a07.pdf>
- Romero-Lozada, M., Felipe, C., Murillo, E., Garcia, S. M., Wagner Guerrero, J. J., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2016). Eficiencia de uso de nutrientes en ají tabasco (*Capsicum frutescens* L.) y habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), (2145–6097), 121–126. Obtenido de: <http://oaji.net/articles/2017/5565-1508030588.pdf>

- Romero-Lozada, M. d., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Extracción de nutrientes minerales en hojas y frutos de ají (*Capsicum* sp.), y su influencia en el rendimiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 114-121.
- Romero-Lozada, M., Enciso Murillo, C., García, S. M., Wagner Guerrero, J. J., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2016). Eficiencia de uso de nutrientes en ají tabasco (*Capsicum frutescens* L.) y habanero (*Capsicum chinense* Jacq). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(2), 121-127.
- Salazar, F., & Juárez, P. (2012). Requerimiento macronutricional en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). *Revista Bio Ciencias*, 2(2), 27-34. Obtenido de: [https://doi.org/10.15741/rev\\_bio\\_ciencias.v2i2.32](https://doi.org/10.15741/rev_bio_ciencias.v2i2.32)
- Stewart, W. M. (2007). Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *IPNI - Informes Agronómicos*, 67. Obtenido de: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/EC5D7D4A78BB6D6D852579A3006CB4D4/\\$FILE/Consideraciones en el Uso Eficiente de Nutrientes.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/EC5D7D4A78BB6D6D852579A3006CB4D4/$FILE/Consideraciones%20en%20el%20Uso%20Eficiente%20de%20Nutrientes.pdf)
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Rodríguez Martínez, J. N., Celis Euan, D. I., Turrent Fernández, A., & Bernal Valdivia, R. (2015). Eficiencia fisiológica de N, P, K y Mg en maíces H-47 y H-59. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1807-1818. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263142750009>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5 ed.). (I. P. Sinauer Associates, Ed.) Massachusetts, Sunderland.
- Torres Paredes, H. P. (2014). *Proyecto de factibilidad para el cultivo de ají de tabasco en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*. Universidad Tecnológica Equinoccial - Facultad de Ciencias Económicas y Negocios. Obtenido de: [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/7982/1/58218\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/7982/1/58218_1.pdf)
- Ugás, R., & Mendoza, V. (2012). Serie El punto de ají. Investigaciones en *Capsicum* nativos Números 1 y 2. *Con El Apoyo Del Programa de Cooperación Universitaria UNALM - VLIR (Consejo de Universidades Flamencas de Bélgica)*, (978-612-4147-8-1). Obtenido de: [http://www.lamolina.edu.pe/hortalizas/webdocs/PUNTO DE AJI .pdf](http://www.lamolina.edu.pe/hortalizas/webdocs/PUNTO_DE_AJI.pdf)
- Vélez Bustos, L. E. (2015). *Respuesta del ají escabeche (Capsicum baccatum L.) A cuatro dosis diferentes de fertilizantes en la granja experimental Santa Inés*. Universidad Técnica de Machala. Obtenido de: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1137/7/CD336\\_TESIS.pdf#11](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1137/7/CD336_TESIS.pdf#11)
- Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Martínez Rodríguez, J. N., Celis Euan, D. I., Valdivia Bernal, R., & Zaragoza Esparza, J. (2015). Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrientes en híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(7), 1557-1569. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263142146011>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. Análisis químico del suelo



**ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"**  
**LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS**  
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme, Apartado 24  
 Quevedo - Ecuador Telef. 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

**REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS**

**DATOS DEL PROPIETARIO**

Nombre : Villareal Villafuerte Luis Vicente  
 Dirección : ivillareal@hotmail.com  
 Ciudad : Portoviejo  
 Teléfono : 0991247245  
 Fax :

**DATOS DE LA PROPIEDAD**

Nombre : Sin Nombre  
 Provincia : Manabi  
 Cantón : Portoviejo  
 Parroquia :  
 Ubicación :

**PARA USO DEL LABORATORIO**

Cultivo Actual : Aji  
 N° de Reporte : 5512  
 Fecha de Muestreo : 09/04/2019  
 Fecha de Ingreso : 09/04/2019  
 Fecha de Salida : 02/05/2019

N° Muest. Laborat.	meq/100ml		dS/m	C.E.		M.O.
	Al+H	Al Na				
94853			0,23	NS	8,0	A

Ca	Mg	Ca+Mg		(meq/l)½	ppm	Textura (%)	
		K	Σ Bases			RAS	Cl
4,3	1,88	10,12	9,45				

INTERPRETACION		M.O. y Cl	
C.E.			
NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo	
LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino	M = Medio	
T = Tóxico		A = Alto	

ABBREVIATURAS		METODOLOGIA USADA	
C.E. = Conductividad Eléctrica	M.O. = Materia Orgánica	C.E. = Conductímetro	M.O. = Titulación de Welsley Black
RAS = Relación de Adsorción de Sodio		APH = Titulación con NaOH	

*X. W. Jure*

**RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUA**

*+ [Signature]*

**RESPONSABLE LABORATORIO**



**ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"**  
**LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS**  
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24  
 Quevedo - Ecuador. Teléf. 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

**REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS**

<p><b>DATOS DEL PROPIETARIO</b></p> <p>Nombre : Villareal Villafuerte Luis Vicente          Dirección : ivillareal@hotmail.com          Ciudad : Portoviejo          Teléfono : 0991247245          Fax :</p>	<p><b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b></p> <p>Nombre : Sin Nombre          Provincia : Manabí          Cantón : Portoviejo          Parroquia :          Ubicación :</p>	<p><b>PARA USO DEL LABORATORIO</b></p> <p>Cultivo Actual : Aji          N° Reporte : 5512          Fecha de Muestreo : 09/04/2019          Fecha de Ingreso : 09/04/2019          Fecha de Salida : 02/05/2019</p>
---	---	--

N° Muest. Laborat.	Datos del Lote		ppm				meq/100ml				ppm			
	Identificación	Area	pH	NH <sub>4</sub>	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
94853	Muestra 1(Capsiun Chinnense)		5,5 <b>Ac</b>	15 <b>B</b>	29 <b>A</b>	0,85 <b>A</b>	7 <b>M</b>	1,6 <b>M</b>	25 <b>A</b>	8,2 <b>A</b>	8,0 <b>A</b>	358 <b>A</b>	15,3 <b>A</b>	0,16 <b>B</b>

La muestra será devuelta al Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptan reclamos en los resultados

INTERPRETACION		Elementos: de N a B	
<b>M<sub>Ac</sub></b> = Muy Acido	<b>L<sub>Ac</sub></b> = Liger. Acido	<b>LAI</b> = Lige. Alcalino	<b>RC</b> = Requiere Cal
<b>Ac</b> = Acido	<b>PN</b> = Pnc. Neutro	<b>MeAI</b> = Media. Alcalino	
<b>MeAc</b> = Media. Acido	<b>N</b> = Neutro	<b>AI</b> = Alcalino	

*X. W. Infante*

**RESPONSABLE D<sup>O</sup>. SUELOS Y AGUAS**



*+ Infante*

**RESPONSABLE LABORATORIO**

METODOLOGIA USADA	EXTRACTANTES
pH = Suelo: agua (1:2,5)	Olsen Modificado
N,P,B = Colorimetría	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn
S = Turbidimetría	Fosfato de Calcio Monobásico
K,Cu,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica	B,S

## ANEXO 2. Material vegetal



## ANEXO 3. Peso fresco de frutos (gr)



## ANEXO 4. Análisis de tejidos (extracción de utrientes tallos-ramas, hojas y frutos de ají)



**INIAP**  
**ESTACION EXPERIMENTAL PICHILINGUE**  
**SERVICIO DE LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS**

Propietario:	LUIS VICENTE VILLARREAL VILLAFUERTE			Nº. Reporte	5512
Remitente:				Fecha Muestreo:	09/04/2018
Hacienda:	Sin nombre			Fecha Ingreso:	09/04/2018
Cultivo:	Ají			Fecha Salida:	29/04/2019
Localización:	Manabí	Portoviejo		Parroquia	Sitio
	Provincia	Cantón			Ubicación

**INFORMACIÓN PARA ANALISIS FOLIARES**

Codigo	Identificación	Concentración %						ppm	
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	M. Seca		
69744	Tratamiento 1 R1 Hojas	4.0	0.19	3.71	2.83	0.26	17		
69745	Tratamiento 2 R1 Hojas	4.3	0.20	3.92	1.98	0.26	20		
69746	Tratamiento 3 R1 Hojas	5.7	0.18	3.92	1.71	0.27	18		
69747	Tratamiento 4 R1 Hojas	4.2	0.17	3.68	2.07	0.33	18		
69748	Tratamiento 5 R1 Hojas	5.3	0.18	3.96	1.90	0.37	21		
69749	Tratamiento 1 R2 Hojas	5.0	0.20	3.34	2.60	0.40	19		
69750	Tratamiento 2 R2 Hojas	5.2	0.15	3.00	1.78	0.31	21		
69751	Tratamiento 3 R2 Hojas	5.6	0.22	3.39	2.68	0.45	16		
69752	Tratamiento 4 R2 Hojas	5.4	0.17	3.13	1.91	0.33	20		
69753	Tratamiento 5 R2 Hojas	4.9	0.16	3.18	1.93	0.36	18		
69754	Tratamiento 1 R1 Tallos	1.3	0.09	2.14	0.93	0.20	23		
69755	Tratamiento 2 R1 Tallos	2.0	0.09	2.25	0.92	0.14	24		
69756	Tratamiento 3 R1 Tallos	1.0	0.08	2.51	0.70	0.17	20		
69757	Tratamiento 4 R1 Tallos	1.3	0.06	2.43	0.57	0.18	21		
69758	Tratamiento 5 R1 Tallos	1.0	0.07	2.11	0.54	0.15	26		
69759	Tratamiento 1 R2 Tallos	1.0	0.08	1.99	0.64	0.15	25		
69760	Tratamiento 2 R2 Tallos	1.7	0.07	2.33	0.76	0.17	24		
69761	Tratamiento 3 R2 Tallos	1.0	0.08	2.53	0.86	0.22	22		
69762	Tratamiento 4 R2 Tallos	1.2	0.07	2.36	0.78	0.21	21		
69763	Tratamiento 5 R2 Tallos	1.9	0.07	2.32	0.62	0.18	23		
69764	Tratamiento 1 R1 Frutos	1.7	0.23	2.04	0.36	0.13	11		
69765	Tratamiento 2 R1 Frutos	1.7	0.24	2.11	0.28	0.10	12		
69766	Tratamiento 3 R1 Frutos	2.1	0.28	2.19	0.34	0.13	10		
69767	Tratamiento 4 R1 Frutos	1.9	0.30	2.39	0.31	0.12	11		
69768	Tratamiento 5 R1 Frutos	2.0	0.32	2.08	0.31	0.12	10		
69769	Tratamiento 1 R2 Frutos	1.7	0.32	2.28	0.31	0.13	11		
69770	Tratamiento 2 R2 Frutos	2.0	0.28	2.04	0.32	0.12	10		
69771	Tratamiento 3 R2 Frutos	2.0	0.27	1.79	0.31	0.11	11		
69772	Tratamiento 4 R2 Frutos	1.8	0.28	1.80	0.30	0.13	11		
69773	Tratamiento 5 R2 Tallos	2.4	0.24	1.99	0.30	0.12	11		

Observaciones:

Dr. Manuel Carrillo Z.  
 JEFE DEPARTAMENTO DMSA



La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados

Laboratorista

## ANEXO 5. Preparación del suelo



**ANEXO 6. Siembra del semillero****ANEXO 7. Trasplante**

**ANEXO 8. Fertilización**



**ANEXO 9. Cytokinin**



**ANEXO 10. Seaweed extract**



**ANEXO 11. Tutorado****ANEXO 12. Desfoliadora en etapa vegetativa**

*Chrysodeixis includens* L.

### ANEXO 13. Desfoliadores en etapa reproductiva



Deposiciones de *Manduca sexta L.*



*Manduca sexta L.*

### ANEXO 14. Enfermedades



Pudrición al cuello de raíz (*Phytophthora capsici*)

**ANEXO 15. Control de malezas**



**ANEXO 16. Cosecha**



**ANEXO 17.** Recolección de la muestra de tejidos foliares, tallo y fruto en ají