



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Uso eficiente de nutrientes (NPK) en *Capsicum chinense* tipo Habanero y *Capsicum frutescens* tipo Tabasco

María del Pilar Romero Lozada

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Posgrados
Palmira, Colombia
2018

Uso eficiente de nutrientes (NPK) en *Capsicum chinense* tipo Habanero y *Capsicum frutescens* tipo Tabasco

María del Pilar Romero Lozada

Tesis o trabajo de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ciencias Agrarias

Directores:

Juan Carlos Menjivar Flores. Ph.D

Yina Jazbleidi Puentes Páramo. Ph.D

Línea de Investigación:

Suelos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Posgrados
Palmira, Colombia

2018

Dedicatoria

A la memoria de mi padre José Evelio Romero que me brindo su amor y enseñanza entre ellas la responsabilidad, a mi madre María Esmeralda y mis hermanos Juan Carlos, José Fernando y Gustavo Adolfo por todo su apoyo.

Agradecimientos

A los directores de tesis, el doctor Juan Carlos Menjívar F. y la doctora Yina J. Puentes P. por su apoyo constante, conocimientos brindados, paciencia y por la oportunidad de realizar el trabajo de grado para mi formación como maestranda.

A los jurados de la tesis, por la valoración y recomendaciones al trabajo de grado.

Al Grupo de Investigación “Manejo de Suelos con énfasis en suelos degradados” por el apoyo brindado en el desarrollo y culminación de la investigación.

Al Centro de investigación de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (CEUNP) por la colaboración de sus trabajadores a esta investigación.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, sus directivos, profesores y estudiantes, por el apoyo al proyecto en financiación, conocimientos y demás aportes en el desarrollo de la investigación.

Resumen

En Colombia y en el ámbito internacional, existe gran preocupación por el uso inadecuado de fertilizantes, dado que las excesivas aplicaciones favorecen la emisión de gases efecto invernadero (GEI). En ají se han realizado trabajos de mejoramiento genético buscando seleccionar variedades o líneas de ají con altos contenidos de capsaicina, más no se ha investigado cuanto de los nutrientes que se aplican al suelo se transforman en frutos de ají, es decir, no se sabe cuánto ají se produce por cada kilogramo de nutriente aplicado. En ese orden de ideas, esta investigación tuvo como objetivo determinar el uso eficiente de N-P-K basados en la eficiencia agronómica y de recuperación del fertilizante en dos líneas elite de ají de la universidad Nacional de Colombia; en tanto, se logró determinar cuántos kilos de ají *Capsicum chinense* Jacq. tipo Habanero y *Capsicum frutescens* L. tipo Tabasco se producen por cada kilo de nutriente aplicado, y cuanto del fertilizante aplicado al suelo es recuperado por el cultivo, con lo cual se promoverá el uso racional de los fertilizantes en el cultivo de ají, mitigando el impacto ambiental y generando mayor rentabilidad al agricultor.

Palabras clave: Ají, fertilización, rendimiento, agricultura sostenible.

Abstract

In Colombia and internationally, there is great concern about the inadequate use of fertilizers, since excessive applications favor the emission of greenhouse gases (GHG). In pepper, genetic improvement work has been carried out in order to select varieties or lines of pepper with high contents of capsaicin, but it has not been investigated how much of the nutrients applied to the soil are transformed into pepper fruits, that is, it is not known how much pepper is produced per kilogram of nutrient applied. In this context, this research aimed to determine the efficient use of N-P-K based on agronomic efficiency and fertilizer recovery in two elite pepper lines of the National University of Colombia; in the meantime, it was possible to determine how many kilos of pepper-type *Capsicum chinense* Jacq. and Tabasco type *Capsicum frutescens* L. are produced per kilo of nutrient applied, and how much of the fertilizer applied to the soil is recovered by the crop, which will promote rational use of the fertilizers in the cultivation of pepper, mitigating the environmental impact and generating greater profitability to the farmer.

Keywords: Pepper, fertilization, yield, sustainable agriculture

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Introducción	1
1. Objetivos	3
1.1 Objetivo general.....	3
1.1.1 Objetivos específicos	3
2. Marco conceptual	5
2.1 Mercado internacional del ají	5
2.2 Mercado Nacional del ají	6
2.3 El cultivo del ají.....	7
2.3.1 Establecimiento del cultivo	8
2.3.2 Requerimientos edafoclimáticos.....	8
2.3.3 Requerimientos nutricionales	9
2.3.4 Uso eficiente de nutrientes (UEN)	10
3. Materiales y métodos	13
3.1 Área de estudio.....	13
3.2 Material vegetal	13
3.3 <i>Capsicum chinense</i> Jacq	13
3.4 <i>Capsicum frutescens</i> L.	14
3.5 Caracterización del suelo.....	15
3.6 Diseño y análisis de la información	15
3.6.1 Diseño experimental	15
3.6.2 Dosis, fertilizantes y aplicación de nutrientes por etapa	17
3.6.3 Variables de respuesta y técnicas de laboratorio para su determinación.....	18
3.6.4 Análisis foliar y de frutos	18
3.6.5 Rendimiento y extracción de nutrientes.....	18
3.6.6 Eficiencias en el uso de nutrientes	18
3.6.7 Eficiencia Agronómica (EA).....	19
3.6.8 Eficiencia de Recuperación del Fertilizante (ERF).....	19
3.6.9 Análisis estadístico.....	20
3.7 Conducción del experimento.....	20
3.7.1 Adecuación del campo experimental.....	20

3.7.2	Preparación del suelo y trazado del experimento.....	20
3.7.3	Manejo agronómico	23
3.7.4	Control de arvenses.....	23
3.7.5	Manejo de plagas y enfermedades	23
3.7.6	Tutorado	23
4.	Resultados y discusión	25
4.1	Caracterización del suelo	25
4.2	Concentración de nutrientes en hoja y fruto para Habanero y Tabasco.....	25
4.2.1	Concentración de nutrientes en hojas	26
4.2.2	Concentración de nutrientes en fruto	30
4.3	Rendimiento y extracción de nutrientes para dos tipos de ají (Habanero y Tabasco).....	35
4.3.1	Rendimiento	35
4.3.2	Extracción de nutrientes en fruto	37
4.4	Eficiencia en el uso de nutrientes: eficiencia agronómica y eficiencia de recuperación del fertilizante para dos tipos de ají (Habanero y Tabasco)	38
4.4.1	Eficiencia agronómica de nutrientes NPK	38
4.4.2	Eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN).....	38
4.4.3	Eficiencia agronómica de fósforo (EAP).....	39
4.4.4	Eficiencia agronómica de potasio (EAK)	40
4.4.5	Eficiencia de recuperación de nutrientes NPK	41
4.4.6	Eficiencia de recuperación de nitrógeno (ERN).....	41
4.4.7	Eficiencia de recuperación de fósforo (ERP).....	42
4.4.8	Eficiencia de recuperación de potasio (ERK)	43
5.	Conclusiones	45
	Bibliografía	47

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Principales productores de ají.....	6
Figura 3-1: <i>Capsicum chinense</i> J. a) Fruto, b) Planta y c) Cultivo. Elaboración propia.	14
Figura 3-2: <i>Capsicum frutescens</i> L. a) Fruto y b) Planta. Elaboración propia.....	14
Figura 3-3: Esquema diseño experimental en bloques completos al azar en campo	16
Figura 3-4: Prácticas en el lote a) Subsulado y arado, b) Sistema de riego, c) Instalación de plástico negro plata uv y d) Lote experimental preparado. Elaboración propia.	21
Figura 3-5: Semillero de las líneas <i>Capsicum chinense</i> J. tipo Habanero y <i>Capsicum frutescens</i> L. tipo Tabasco. Elaboración propia.	22
Figura 3-6: Trasplante en campo. Elaboración propia.....	22
Figura 3-7: Tutorado de ají <i>Capsicum chinense</i> J. tipo Habanero y <i>Capsicum frutescens</i> L. tipo Tabasco. Elaboración propia.	24
Figura 4-1: Concentración de nutrientes NPK en hojas para dos tipos de ají.....	27
Figura 4-2: Concentración de nutrientes Ca, Mg y S en hojas para dos tipos de ají.	28
Figura 4-3: Concentración de micronutrientes en hojas para dos tipos de ají	29
Figura 4-4: Concentración de nutrientes NPK en frutos para Habanero y Tabasco .	30
Figura 4-5: Concentración de NPK en hoja y fruto para Habanero y Tabasco	31
Figura 4-6: Concentración de nutrientes Ca, Mg y S en fruto para dos tipos de ají ..	32
Figura 4-7: Concentración de Ca, Mg, S, en hoja y fruto para Habanero y Tabasco	33
Figura 4-8: Concentración de micronutrientes en fruto para dos tipos de ají.....	34
Figura 4-9: Concentración de micronutrientes en hoja y fruto para Habanero y Tabasco	34
Figura 4-10: Eficiencia agronómica de nitrógeno para dos tipos de ají	39
Figura 4-11: Eficiencia agronómica de fósforo para dos tipos de ají	40
Figura 4-12: Eficiencia agronómica de potasio en dos tipos de ají.....	40
Figura 4-13: Eficiencia de recuperación de nitrógeno en dos tipos de ají.....	42
Figura 4-14: Eficiencia de recuperación de fósforo para dos tipos de ají	43
Figura 4-15: Eficiencia de recuperación de potasio para dos tipos de ají.....	44

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Continentes productores de Capsicum spp.....	5
Tabla 2-2: Principales países productores de ají a nivel mundial	6
Tabla 2-3: Clasificación taxonómica del género Capsicum	7
Tabla 2-4: Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de ají	8
Tabla 2-5: Requerimientos nutricionales de ají por etapa fenológica	10
Las dosis de fertilizante aplicadas por tratamiento se fraccionaron en seis aplicaciones teniendo en cuenta la fase o etapa de desarrollo del cultivo y hasta los 90 días. (Tabla 3-1),	17
Tabla 3-1: Porcentajes de fertilización por etapa de desarrollo del cultivo de ají.....	17
Tabla 4-1: Características químicas del suelo.....	25
Tabla 4-2: Influencia del tratamiento sobre el rendimiento de dos tipos de ají	36
Tabla 4-3: Correlaciones entre concentración nutrimental en hoja y rendimiento para Habanero y Tabasco.....	36
Tabla 4-4: Extracción de nutrientes NPK por 1000 kilogramos de fruto fresco para dos tipos de ají	37

Introducción

El ají (*Capsicum* spp.) es un cultivo hortícola promisorio y el más importante cultivo de especias en el mundo; su fruto se consume en fresco, deshidratado y procesado en diversos tipos de comidas (Reifschneider *et al.*, 2009). Además, se caracteriza por su alto contenido de capsicina o capsaicina, el cual produce sabor picante, como también por su contenido de vitamina A, C y propiedades medicinales (Asohofrucol, 2013).

El género *Capsicum* incluye un total de 30 especies, entre ellas las domesticadas son: *Capsicum annum*, *Capsicum bacatum*, *Capsicum Chinense*, *Capsicum frutescens* y *Capsicum pubescens*; siendo *C. annum* la especie más cultivada en el mundo y especialmente en México, incluyendo frutos grandes y pequeños como por ejemplo el Guajillo, Jalapeño, Morrón, Serrano (Ortiz y Delgado de la Flor, 2010).

La producción de ají en el ámbito internacional como componente importante en el desarrollo agrícola, presenta limitaciones en el manejo nutricional del cultivo, factor limitante en la producción, ya que en general las recomendaciones de fertilización en ají no tienen en cuenta la contribución de los nutrientes del suelo, y es frecuente el uso de iguales recomendaciones para todo tipo de ají. En ají se han realizados trabajos de mejoramiento genético buscando variedades o líneas de ají con altos contenidos de capsicina, más no se ha investigado cuanto de los nutrientes que se aplican a estos ajíes se transforman en frutos, es decir, no se sabe cuánto ají se produce por cada kilogramo de nutriente aplicado y tampoco se tiene información sobre cuánto de los nutrientes que se aplican al suelo son recuperados por el cultivo.

En México, el consumo de fertilizantes ha aumentado en los últimos años (Aguado-Lara *et al.*, 2002), más no así, la proporción en que son recuperados por el cultivo. En tanto, en Colombia y en el mundo hay una preocupación por el uso excesivo de fertilizantes, dado que esto contribuye con emisiones de gases efecto invernadero y calentamiento global, ya que no existen criterios de uso adecuados, como por ejemplo satisfacer los requerimientos

nutricionales del cultivo. Las investigaciones en el uso eficiente de nutrientes (UEN) permiten seleccionar materiales genéticos de acuerdo con su eficiencia en el uso de nutrientes determinando la eficiencia agronómica y de recuperación de los nutrientes, entre otras eficiencias (Baligar et al., 2001), logrando el uso óptimo de los mismos

En el presente trabajo de investigación se evalúo la eficiencia de uso de nutrientes (N-P-K) de dos líneas elite de ají de la Universidad Nacional de Colombia, *Capsicum chinense* Jacq. tipo Habanero y *Capsicum frutescens* L. tipo Tabasco, en términos de la eficiencia agronómica y recuperación del fertilizante, con lo cual se podrá determinar cuántos kilos de ají se producen por cada kilo de nutriente aplicado y cuanto de lo que se aplica es recuperado por el cultivo, en este sentido, se promoverá un uso racional de los fertilizantes en el cultivo de ají, mitigando el impacto ambiental y generando mayor rentabilidad al agricultor.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Determinar el uso eficiente de nutrientes (NPK) en términos de la eficiencia agronómica y de recuperación de fertilizante en *Capsicum chinense* tipo Habanero y *Capsicum frutescens* tipo Tabasco y en condiciones del centro experimental de la universidad nacional de Colombia (CEUNP). Toda división o capítulo, a su vez, puede subdividirse en otros niveles y sólo se enumera hasta el tercer nivel. Los títulos de segundo nivel se escriben con minúscula al margen izquierdo y sin punto final, están separados del texto o contenido por un interlineado posterior de 10 puntos y anterior de 20 puntos (tal y como se presenta en la plantilla).

1.1.1 Objetivos específicos

- Determinar el rendimiento total y la extracción de NPK necesarias para producir 1000 kg de ají en *Capsicum chinense* tipo Habanero y *Capsicum frutescens* tipo Tabasco
- Evaluar la eficiencia agronómica de NPK en dos líneas de ají mejorado con alto rendimiento en capsicina *Capsicum chinense* tipo Habanero y *Capsicum frutescens* tipo Tabasco.
- Determinar la eficiencia de recuperación de NPK de dos líneas de ají mejorado con alto rendimiento en capsicina y su relación con las dosis de nutrientes aplicados.

2. Marco conceptual

2.1 Mercado internacional del ají

En el mercado mundial el ají se comercializa en dos presentaciones: ají seco y verde, siendo este último de mayor consumo. En tanto, el área total cultivada en el mundo es de 1.937.370 hectáreas con una producción de 32.324.345 toneladas de ají verde, de los cuales el continente asiático ocupa el primer lugar, seguido de América (en su orden Centro, Norte y Sur), África, Europa y por último Oceanía (FAO, 2014). A continuación, el aporte de toneladas de ají verde y área sembrada por continente. (Tabla 2-1).

Tabla 2-1: Continentes productores de *Capsicum* spp.

Continente	Área Sembrada (ha)	Producción (ton)
Asia	1.243.790	21.757.606
África	363.211	3.221.701
Europa	106.233	2.990.230
<u>América</u>	207.238	4.182.033
América Centro	147.781	2.813.884
América Norte	27.449	968.083
América Sur	32.008	400.066
Oceanía	2.658	51.390

Fuente (FAO, 2014).

En el continente asiático, China es el principal productor, en África sobresale Nigeria, en Europa el país de España y en América, los países de México, Estados Unidos, Venezuela, respectivamente para centro, norte y sur (), ubicando a Colombia en un segundo lugar en América del sur.

Tabla 2-2: Principales países productores de ají a nivel mundial

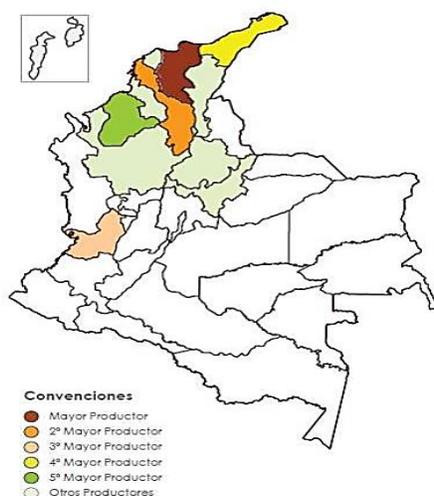
País	Área Sembrada (ha)	Producción (ton)
China	714.188	16.147.559
Indonesia	263.616	1.875.095
Nigeria	95.300	739599
México	143.465	2.732.635
Turquía	101.000	2.127.944
España	18.513	1.130.340
Estados Unidos	25.540	914.490
Venezuela	8.515	118.771
Colombia	3.590	25.867

Fuente: (FAO, 2014).

2.2 Mercado Nacional del ají

En Colombia se registran 3590 ha sembradas en ají con una producción de 25.867 toneladas, repartidas de acuerdo con el ministerio de agricultura y desarrollo rural (MADR, 2012) entre los departamentos de Magdalena, Bolívar, Valle del Cauca, Guajira, Córdoba y otros (figura 2-1), donde sobresalen los municipios de Mahates, Ciénaga, Santa Martha, Fundación y Remolino.

Figura 2-1: Principales productores de ají



Fuente: MADR, 2012

La producción de Colombia se categoriza como baja, por tal motivo es necesario mejorar la competitividad a través de un mayor rendimiento, bajos costos de producción y alta calidad, con fines de competir con países de escala mundial que han conseguido obtener economías exitosas. Sin embargo, hay que resaltar que Colombia produce ají fresco (verde) en todo el año, lo cual representa una oportunidad de exportación, convirtiéndose en una ventaja con respecto a los países de estaciones (Asohofrucol, 2013).

2.3 El cultivo del ají

El ají (*Capsicum* spp), pertenece al género *Capsicum* (solanáceas) que incluye más de 30 especies, sin embargo, posee especies domesticadas, tales como: *C. frutescens* L. (tipo Tabasco) y *C. chinense* J. (tipo Habanero), *Capsicum annum* (jalapeño, serrano, ancho, pasilla, mirasol, o guajilla, de árbol, chitelpino o piquin), *Capsicum baccatum* y *Capsicum pubescens* (Bosland y Votava, 2012). A continuación, la clasificación taxonómica del género *Capsicum* (Tabla 2-3)

Tabla 2-3: Clasificación taxonómica del género *Capsicum*

Taxón	Categoría
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliosida</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanáceae</i>
Genero	<i>Capsicum</i>
Especies domesticadas	<i>C.annuum</i> , <i>C.chinense</i> , <i>C.frutescens</i> , <i>C.baccatum</i> y <i>C. pubescens</i>

Fuente: Bosland y Votava, 2000

El género *Capsicum* se originó en América tropical y subtropical, incluyendo varias zonas de sur américa ubicadas al este del Brasil, al oeste de Bolivia y Paraguay, como también, al norte de Argentina, en donde se encuentra la mayor concentración de especies silvestres del mundo (DeWitt y Bosland, 1996).

2.3.1 Establecimiento del cultivo

El establecimiento de acuerdo con García *et al.* (2004), inicia con obtener las plántulas de ají las cuales se obtienen a partir de semilla sexual, así la plantación se inicia en bandejas de 128 a 162 alvéolos bajo condiciones controladas de invernadero, en donde la germinación ocurre entre los 15 y 17 días después de la siembra. Transcurridos 45 a 60 días se realiza el trasplante en campo, en este sentido, las plántulas se siembran en surco sencillo a 80 cm entre surco y 50 cm entre plantas.

La floración ocurre de los 60 a 120 días después del trasplante, y la cosecha se realiza alrededor de 120, 150 y 210 días después de trasplante, donde la máxima fructificación se produce entre 160 a 240 días después de trasplante según la variedad

2.3.2 Requerimientos edafoclimáticos

Las condiciones edafoclimáticas del departamento del Valle del Cauca son apropiadas para el desarrollo del cultivo de ají (MARD, 2012). A continuación, algunas condiciones edafoclimáticas requeridas por el cultivo (Tabla 2-4).

Tabla 2-4: Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de ají

Característica	Requerimiento
Temperatura mín-max	16 - 30°C
Temperatura óptima	20 - 28°C
Humedad relativa	55 - 90%
Requerimiento del suelo	Franco - arcilloso, franco arenoso. Suelos profundos y bien drenados
pH	5,8 - 7 medianamente sensible a la acidez y a la alcalinidad.
Altitud	0 - 1000 m.s.n.m.

Fuente: CCI -Plan Hortícola (2007)

2.3.3 Requerimientos nutricionales

Las hortalizas, como el ají (*Capsicum spp.*) necesita de una nutrición adecuada con fertilizantes con contenidos calcio, magnesio, nitrógeno, fósforo y potasio para expresar todo su potencial de rendimiento y calidad (Noh-Medina *et al.*, 2010). Este cultivo presenta un rendimiento promedio 9 toneladas por hectárea, por otra parte, con la adopción de sistemas de manejo agronómico, entre ellas la fertilización apropiada, se han obtenido rendimientos de 25 ton ha⁻¹ de ají fresco (MADR, 2006).

La variedad cayena responde bien a la fertilización aún en suelos fértiles como los molisoles del Valle del Cauca (Rodríguez *et al.* 2010), lo cual sugiere que para obtener altos rendimientos es necesario enfocar las investigaciones a generar nuevas técnicas de cultivo que permitan incrementar el rendimiento de manera eficiente, entre ellas la nutrición adecuada del cultivo, para lo cual es necesario conocer el suelo y los requerimientos nutricionales de la planta, dado que cuando se fertiliza sin tener en cuenta un diagnóstico edáfico y del cultivo, se presentan desbalances nutricionales causando bajo rendimiento y aumento de los costos de producción (Finck, 1988).

Se deben manejar varios aspectos para establecer un plan de fertilización en el cultivo de ají, en primera medida establecer los requerimientos nutricionales de acuerdo con cada etapa fenológica (Tabla 2-5) y conocer las condiciones químicas y físicas del suelo óptimas para el desarrollo del cultivo. Estos aspectos son importantes para tener una fertilización eficiente y un óptimo desarrollo del cultivo.

Tabla 2-5: Requerimientos nutricionales de ají por etapa fenológica

ETAPAS	RELACIÓN			N° de fertirriegos	Unidades de nutrientes (kg ha ⁻¹)			Unidades de nutrientes por riego (kg ha ⁻¹)		
	N	P	K							
Trasplante + 20 días	2	1	1	6	31,25	16,66	16,66	3,12	1,66	1,66
Desarrollo + 20 días (55)	3	1	2	10	46,86	16,66	33,32	3,12	1,11	2,22
Fructificación 55+ 30 días (85)	2	3	2	12	31,24	49,98	33,32	2,08	3,33	2,22
Producción 85+62 días (147)	1	1	4	28	15,62	16,66	66,66	0,50	0,53	2,15

Fuente: Soria–Fregoso et al., 2002.

En este sentido, los programas de fertilización distribuyen los macronutrientes de acuerdo con su fase fenológica así: Fase vegetativa: N (10%) - P (100%) - K (10%), Fase reproductiva: N (40%) - K (40%), Fase de cuajado de flores y maduración: N (50%) - K (50%), con aplicaciones foliares de Calcio al inicio y durante el máximo de la etapa de floración. (Soria–Fregoso *et al.*, 2002)

Azofeifa et al. (2008) mencionan que “el cultivo de ají requiere N, P y K en grandes concentraciones y el Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B y Cu en cantidades menores, así, el requerimiento nutricional del cultivo puede presentar variabilidad debido a las condiciones edafoclimáticas, genotipos, potencial de rendimiento, entre otros”.

2.3.4 Uso eficiente de nutrientes (UEN)

El uso eficiente de nutrientes o de fertilizantes se refiere a la capacidad de uso de los nutrientes que presentan las plantas o sistema de producción, la cual puede ser definida de acuerdo con Baligar, Fageria & He (2001) bajo las siguientes expresiones: 1) Eficiencia fisiológica (EF): relación de la diferencia de producción entre plantas con y sin fertilizante sobre la diferencia de los nutrientes absorbidos; 2) Eficiencia agronómica (EA): cantidad

adicional de rendimiento económico por unidad de nutriente aplicado; 3) Eficiencia de recuperación del fertilizante (ERF): capacidad de la planta para tomar nutrientes aplicados al suelo; estas eficiencias son de gran relevancia en los sistemas de producción, ya que permite realizar la aplicación de nutrientes de manera eficaz, aumentar los rendimientos y reducir los impactos ambientales negativos.

En tanto, varios factores pueden influir en el desarrollo del cultivo de ají (*Capsicum spp.*) y de ahí su productividad, como la deficiencia, el exceso de fertilización, y el déficit hídrico, entre otros, que se refleja en la disminución del rendimiento (Ismail, 2010). Más aún, Puentes, Menjívar & Aranzazu (2014a) afirman que la producción no solo está relacionada con la fertilidad del suelo, sino los aspectos propios de la planta como la genética y las relaciones de ésta con el medio ambiente. Un manejo adecuado de la nutrición del cultivo conlleva a hacer un uso eficiente de nutrientes (UEN), de igual manera, Marouani & Harbeoui (2016)

3. Materiales y métodos

3.1 Área de estudio

La investigación se realizó en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira (CEUNP) con coordenadas 3°24' LN y 76°26' LO. Ubicado en el municipio de Candelaria, vereda el Carmelo, en el departamento del Valle del Cauca. A una altura de 980 m.s.n.m., temperatura media de 24°C, humedad relativa del 75%, precipitación anual aproximada de 1.135 mm y brillo solar promedio de 172,6 h/mes. En un suelo clasificado como Ustipsamment típico arenoso isohipertérmico 1% (Acosta *et al.*, 1997).

3.2 Material vegetal

Las líneas de ají a evaluar son: *Capsicum chinense* J. tipo Habanero y *Capsicum frutescens* L. tipo Tabasco

3.3 *Capsicum chinense* Jacq

El ají tipo Habanero, *Capsicum chinense* J. (Figura 3-1), se caracteriza por ser uno de los materiales más picantes de 300.000 a 400.000 grados Scoville (Sistema de medición del picor de los ajíes por Wilbur Scoville) (López, 2003).

Figura 3-1: *Capsicum chinense* J. a) Fruto, b) Planta y c) Cultivo. Elaboración propia.



3.4 *Capsicum frutescens* L.

El ají tipo Tabasco, *Capsicum frutescens* L. (Figura 3-2), presenta frutos de crecimiento erecto, cuya maduración es de color amarillo hasta naranja, muy picante con 30.000 a 50.000 grados Scoville. Los frutos son utilizados para la producción de salsa picante; (Plan hortícola - Corporación Colombiana de Investigación, 2007).

Figura 3-2: *Capsicum frutescens* L. a) Fruto y b) Planta. Elaboración propia



3.5 Caracterización del suelo

Se muestreó el suelo a una profundidad entre 20-30 cm, para lo cual se tomaron diez (10) submuestras que conformaron una muestra, esto con fines de evaluar sus propiedades físicas y químicas para dar soporte inicial a la investigación, las cuales se determinaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia y del Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT) respectivamente.

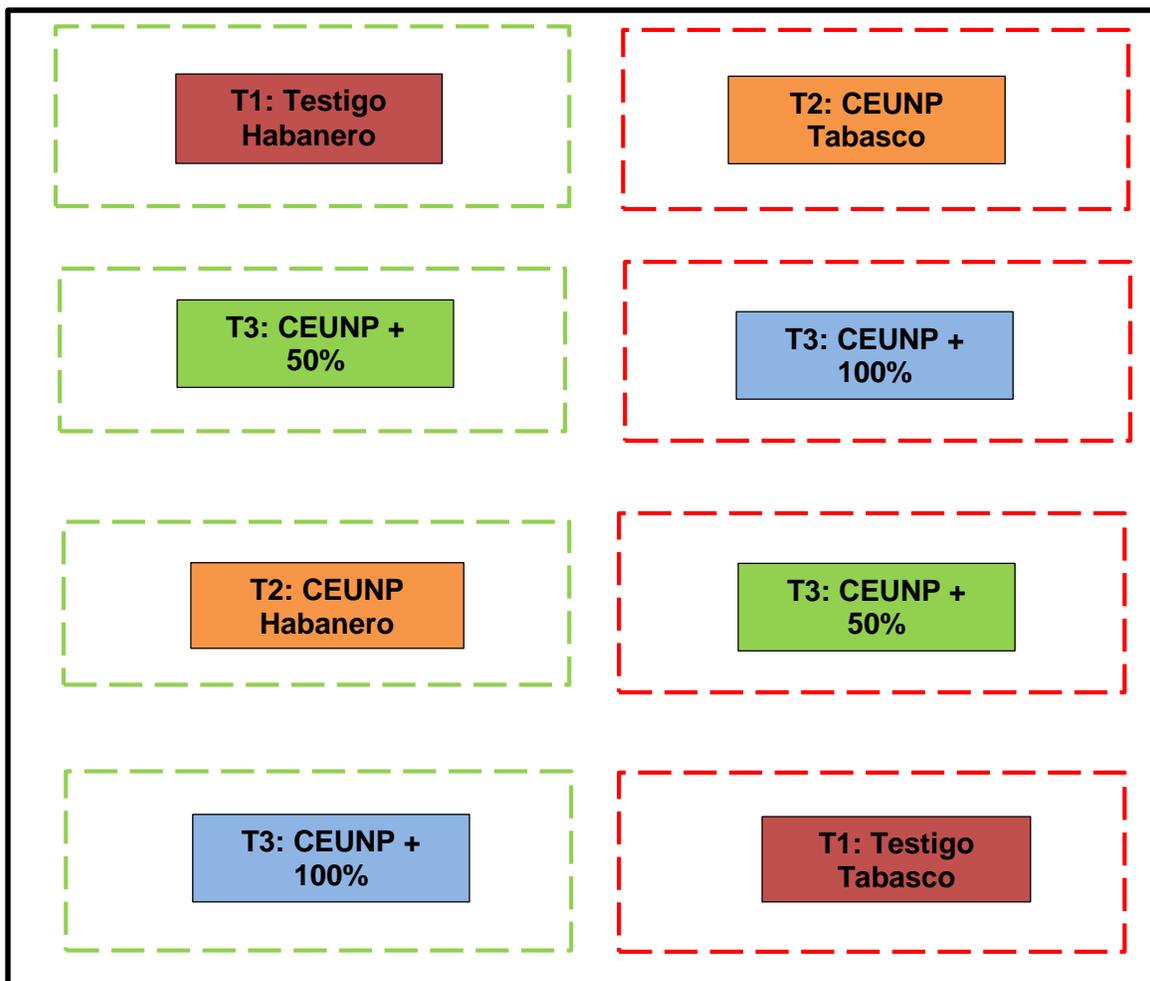
Los datos del análisis de suelos fueron interpretados de acuerdo con los valores de referencia del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 1992); así, el pH se determinó por potenciómetro relación 1:1 en agua; materia orgánica (%M.O) por Walkley-Black; fósforo por Olsen; calcio, magnesio, potasio y capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) por acetato de amonio pH 7,0; el aluminio (cmol kg^{-1}) por KCl 1M (volumetría); boro por agua caliente (Espectrometría - Azometina), Fe, Mn, Cu por absorción atómica, densidad aparente por el método del cilindro, textura por Bouyoucos, densidad real (Dr) por el método del picnómetro, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) por medio de las membranas de Richard con platos a 1/3 y 15 bares, respectivamente.

3.6 Diseño y análisis de la información

3.6.1 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en campo fue en bloques completos al azar (Figura 3-3), el cual incluyó 4 tratamientos y 4 repeticiones (16 unidades experimentales). La unidad experimental consistió en una parcela de 5,2m de ancho por 9m de largo, con distancia entre plantas de 0,60m y de 1,3m entre surcos, para una densidad de 12.820 plantas por hectárea. En cada surco se sembraron 15 plantas, y se cosecharon los dos surcos centrales.

Figura 3-3: Esquema diseño experimental en bloques completos al azar en campo



Los tratamientos evaluados fueron:

T1: Testigo

T2: Fertilización según el programa que maneja el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia CEUNP (kg ha⁻¹) (N: 150, P₂O₅:100 y K₂O:300)

T3: programa de fertilización de CEUNP + 50%

T4: programa de fertilización de CEUNP + 100%

3.6.2 Dosis, fertilizantes y aplicación de nutrientes por etapa

Las dosis de fertilizante aplicadas por tratamiento se fraccionaron en seis aplicaciones teniendo en cuenta la fase o etapa de desarrollo del cultivo y hasta los 90 días. (Tabla 3-2), la selección de los fertilizantes, el fraccionamiento y las dosis aplicadas se hizo de acuerdo con el plan de fertilización del programa de hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira en CEUNP.

Tabla 3-1: Porcentajes de fertilización por etapa de desarrollo del cultivo de ají

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	MENORES
ETAPA 1 (10 DDT)	10%	30%	10%	10%	10%	40%
ETAPA 2 (25 DDT)	20%	25%	15%	10%	10%	30%
ETAPA 3 (45 DDT)	30%	20%	20%	20%	20%	30%
ETAPA 4 (70 DDT)	20%	15%	20%	20%	20%	-
ETAPA 5 (85 DDT)	10%	10%	20%	20%	20%	-
ETAPA 6 (90 DDT)	10%	-	15%	20%	20%	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%

DDT: días después del trasplante N: nitrógeno P₂O₅: fósforo K₂O: potasio CaO: calcio MgO: magnesio MENORES: micronutrientes

En cada etapa se tuvo en cuenta los tratamientos establecidos, y se utilizaron como fuentes de fertilización: Fosfato Diamónico (DAP) con grado 18-46-00; Nitrato de Calcio (CaNO₃) con grado 15-00-00 más 26% de calcio (CaO); Cloruro de potasio (KCl) grado 00-00-60; Agrimins aportando micronutrientes (1% boro (B), 0,14% cobre (Cu), 0,005% molibdeno (Mo) y 2,5% de zinc (Zn)), macronutrientes secundarios (18% de calcio (CaO), 6% magnesio (MgO), 1,6% de azufre (S) y nitrógeno (total (N) 8%, amoniacal (N) 1%, ureico (N) 7%) como también, fósforo asimilable 5% P₂O₅; Campofer NK 580 que aporta nitrógeno: Nitrógeno total (N) 12%, nitrógeno amoniacal (N) 1%, nitrógeno nítrico (N) 11%, fósforo soluble en agua (P₂O₅) y potasio soluble en agua (K₂O); Sulfex aporta magnesio en forma de sulfato, 3% de potasio soluble en agua (K₂O), 12% de azufre total (S), 15% de magnesio (Mg), y Urea como fuente de nitrógeno (46-00-00).

3.6.3 Variables de respuesta y técnicas de laboratorio para su determinación

3.6.4 Análisis foliar y de frutos

Para el análisis foliar 40 hojas recién maduras se colectaron del tercio medio de la planta de ají al inicio de la floración en los 4 ejes (Malavolta, 1997), incluyendo el limbo y peciolo (Casas y Casas, 1999). Las muestras recolectadas se empacaron en bolsas de papel perforadas y rotuladas. Para el muestreo de frutos, se colectaron de la parte media de la planta 20 frutos maduros, el cual se realizó primero en la línea de *Capsicum chinense* J. tipo Habanero, dado que presentó un proceso de maduración más temprano que la línea tabasco; estos muestreos se realizaron por cada tratamiento y tipo de material.

La concentración de nutrientes en hoja y fruto se determinó para Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , B en base seca (550°C) y absorción atómica; N por el método Kjeldhal; S por digestión ácida y turbidimetría; P por descomposición en base seca (550°C) y colorimetría, realizados en el Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT) por metodologías estándares (McKean, 1993).

3.6.5 Rendimiento y extracción de nutrientes

El rendimiento (kg ha^{-1}) se consideró como el peso fresco de frutos cosechados de cada tipo de ají y tratamiento, provenientes de 11 cosechas; convertido a kg ha^{-1} para una densidad de 12.820 plantas por hectárea.

Los nutrientes N-P-K extraídos se determinaron con base a 1000 kilogramos de fruto fresco (1 Ton) en el tratamiento de mayor rendimiento para cada tipo de ají.

3.6.6 Eficiencias en el uso de nutrientes

Con los valores de rendimiento y concentración de nutrientes en fruto, se determinó la eficiencia agronómica y la eficiencia de recuperación del fertilizante para N-P-K.

3.6.7 Eficiencia Agronómica (EA)

Con los datos de rendimiento y cantidad de nutriente aplicados al suelo, se calculó la eficiencia agronómica (EA) para cada tipo de ají a partir de la siguiente ecuación (ver Ecuación. (3.1)) (Chavarria, 2013):

$$EA\left(\frac{Kg}{Kg}\right) = \frac{(R(t)-R(c))}{CNA} \dots (3.1)$$

Donde,

EA: incremento en el rendimiento por unidad de nutriente aplicado.

Donde R (t) = rendimiento de frutos de los tratamientos (kg); R (c) = rendimiento de frutos del tratamiento testigo (kg); CNA = cantidad del nutriente suministrado por el fertilizante (kg).

3.6.8 Eficiencia de Recuperación del Fertilizante (ERF)

Con los datos de concentración de nutrientes en fruto y cantidad de nutriente aplicado al suelo, se determinó mediante la siguiente ecuación (ver Ecuación (3.2)) (Chavarria, 2013):

$$ERF(\%) = \frac{CN(t)-CN(c)}{CNA} \times 100 (3.2)$$

Donde, CN (t) = cantidad del nutriente acumulado en fruto de acuerdo con el tratamiento realizado; CN (c) = cantidad del nutriente acumulado en fruto del tratamiento control; CNA = cantidad del nutriente suministrado por el fertilizante (kg).

3.6.9 Análisis estadístico

Mediante un análisis de varianza se determinó (para los datos obtenidos) las diferencias entre tipos de ají y tratamientos, y en los casos de existir diferencias se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$). Además, se realizaron correlaciones de Pearson entre la concentración de nutrientes en hoja y el rendimiento. Los datos fueron analizados con el programa Statistical Analysis System (SAS).

3.7 Conducción del experimento

3.7.1 Adecuación del campo experimental

Esta adecuación incluye todas las labores necesarias para establecer el cultivo de ají en campo

3.7.2 Preparación del suelo y trazado del experimento

Labores de subsolado fueron necesarias para romper posibles capas endurecidas en el suelo, y posteriormente dos pases de arado para mullir el terreno y eliminar las arvenses. Seguido, se establecieron 24 surcos en un área de 720 m² (20 m de largo y 36 m de ancho), y se instaló el sistema de riego por goteo para mayor eficiencia de uso del agua, y adicionalmente, se emplástico el suelo para evitar competencia por arvenses, promover la actividad microbiana y mejorar la absorción de nutrientes. (Figura 3-4).

Figura 3-4: Prácticas en el lote a) Subsulado y arado, b) Sistema de riego, c) Instalación de plástico negro plata uv y d) Lote experimental preparado. Elaboración propia.



Con semilla de obtenida del programa de hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, se realizaron semilleros en seis (6) bandejas de polipropileno con 128 alveolos ubicando dos semillas por alveolo, como sustrato se utilizó turba Klasman TS-1 y se rego diariamente. A los 15 días después de la germinación se aplicaron elementos menores (cosmocel) y nitrato de potasio para mantener vigorosidad de plantas, (Figura 3-5).

Figura 3-5: Semillero de las líneas *Capsicum chinense* J. tipo Habanero y *Capsicum frutescens* L. tipo Tabasco. Elaboración propia.



El trasplante se realizó a los 45 días después de germinadas la semilla y con una altura de 45 cm. La distancia de siembra fue entre surco de 1,3m y entre planta de 0,6m. (Figura 3-6).

Figura 3-6: Trasplante en campo. Elaboración propia



3.7.3 Manejo agronómico

El manejo agronómico incluye todas las labores de campo necesarias para mantener el cultivo de ají en óptimas condiciones.

3.7.4 Control de arvenses

Las arvenses se controlaron periódicamente de forma manual y química, así, en las calles se realizó control químico y entre plantas se realizó control manual, con el fin de reducir la competencia entre cultivo y arvenses por nutrientes y humedad; aunque el acolchado de plástico proporcione control sobre arvenses de hoja ancha.

3.7.5 Manejo de plagas y enfermedades

El manejo de plagas y enfermedades se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones del programa de manejo de hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, en este sentido, se realizaron aplicaciones puntuales de insecticidas y fungidas al inicio del cultivo y finales de marzo - principio de abril, con el fin de evitar daños en las plantas por hongos e insectos. Entre los productos aplicados están, vitavaz, benomil, benofung, ridomil, orthocide como fungidas, y Lorsban, alsyntin como insecticidas; junto con aplicaciones foliares de nitrato de potasio (KNO_3), cosmocel 20-30-10 y elementos menores quelatados, para proporcionar elementos mayores 60%, secundarios (3%) y menores quelatados (0,71%), cuyas cantidades se restaron de la cantidad total a aplicar de acuerdo con los tratamientos establecidos.

3.7.6 Tutorado

El tutorado consistió en colocar una estaca de 1 m de largo cada 4 plantas en el surco para soporte y amarre con hilo de las plantas, extendiéndolo por los dos lados del surco. El amarre se hizo cada 20 a 30 centímetros de alto o según ramificación de la planta, con

finés de favorecer un mejor crecimiento de plantas, evitar volcamiento, y mejorar calidad de frutos (Figura 3-7).

Figura 3-7: Tutorado de ají *Capsicum chinense* J. tipo Habanero y *Capsicum frutescens* L. tipo Tabasco. Elaboración propia.



4. Resultados y discusión

4.1 Caracterización del suelo

Las características físicas y químicas del suelo mostraron condiciones no limitantes para el cultivo de ají (Ligarreto, Espinosa & Méndez, 2004), en tanto, este suelo presenta punto de marchitez permanente (18,13%), capacidad de campo (40,13%), textura arcillosa (arena 24,96%, arcilla 41,04% y limo 34%), porosidad total (54,54%) y densidad aparente (1,2 Mg m⁻³); con respecto a las características químicas se obtuvo: pH ligeramente alcalino, alta capacidad de intercambio catiónico, contenido medio de materia orgánica y potasio, alto para fósforo, calcio y magnesio, y los elementos menores hierro y cobre presentaron valores bajos y altos para manganeso y boro. (Tabla 4-1)

Tabla 4-1: Características químicas del suelo

pH	M.O	CIC	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Mn	B
	%	cmol kg ⁻¹				ppm				
7,7	2,1	20,95	0,42	16,5	5,29	75	10,43	0,93	54,79	0,83

Fuente: Laboratorio de CIAT

4.2 Concentración de nutrientes en hoja y fruto para Habanero y Tabasco

La concentración de nutrientes en hoja (H) por efecto del tipo de ají mostro diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para N, Ca²⁺, Mg²⁺, S, Cu²⁺, Zn²⁺, Mn, B, Fe²⁺, y no

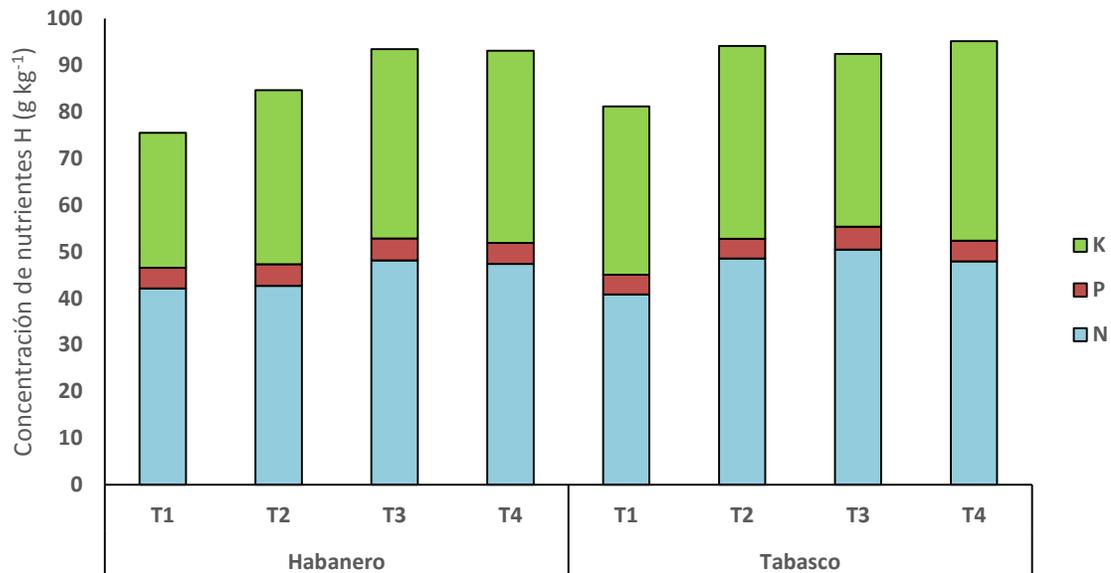
significativas ($p>0,05$) para P y K+. En fruto (F) hubo diferencias altamente significativas para N, K+, Ca²⁺, Mg²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Fe²⁺, B, S, y no significativas para P y Mn²⁺. Por efecto del tratamiento hubo diferencias altamente significativas en hojas para N, Ca²⁺, Mg²⁺, S, Cu²⁺, Mn²⁺, Fe²⁺ y B, significativas ($p<0,05$) para K+ y no significativas ($p>0,05$) para P y Zn²⁺. En fruto, mostro diferencias altamente significativas para N, S y Mn²⁺, significativas para P, K+, Cu²⁺, y no significativas para Ca²⁺, Mg²⁺, Zn²⁺, Fe²⁺ y B.

4.2.1 Concentración de nutrientes en hojas

Nitrógeno. La mayor concentración de nitrógeno en hoja para Habanero se encontró en el tratamiento 3 con 48,15 g kg⁻¹, seguido el T4 (47,36 g kg⁻¹), T2 (42,64 g kg⁻¹) y T1(42,11 g kg⁻¹); con respecto a Tabasco en orden de mayor a menor fue T3 (50,46 g kg⁻¹), T2 (48,57 g kg⁻¹), T4 (47,92 g kg⁻¹) y T1 con 40,84 g kg⁻¹ (Figura 4.1), siendo valores superiores comparados con García *et al.* (2007). Para ambos tipos la menor concentración se encontró en el tratamiento 1(testigo), resultados similares encontró Noh-Medina *et al.* (2010).

Fósforo. La mayor concentración de fósforo se presentó en el T2 con 4,69 g kg⁻¹, seguido T3 (4,67 g kg⁻¹), T4 (4,56 g kg⁻¹), y la menor en el T1 (4,46 g kg⁻¹) para Habanero. Por su parte, Tabasco presento el mayor valor en el T3 (4,89 g kg⁻¹), T4 (4,43 g kg⁻¹), T2 (4,20 g kg⁻¹), y T1 con 4,19 g kg⁻¹ (Figura 4.1), siendo valores bajos comparados con García *et al.* (2007).

Potasio. La mayor concentración de potasio en hoja (Figura 4-1) para Habanero se presentó en el T4 (41,18 g kg⁻¹), T3 (40,64 g kg⁻¹), T2 (37,35 g kg⁻¹) y la menor en el T1 (28,91 g kg⁻¹), siendo valores superiores a los reportados por Buczkowska *et al.* (2015); en tabasco se presentó en el T4 (42,82 g kg⁻¹), T2 (41,38 g kg⁻¹), T3 (37,07 g kg⁻¹) y T1 con 36,15 g kg⁻¹, estos valores son bajos de acuerdo con García *et al.* (2007).

Figura 4-1: Concentración de nutrientes NPK en hojas para dos tipos de ají

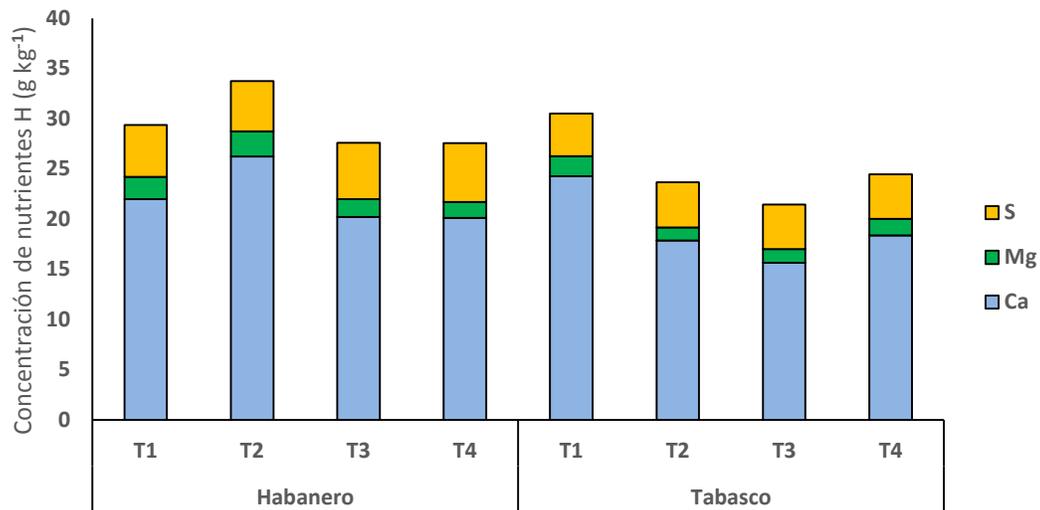
En síntesis, el orden de mayor a menor concentración en hojas para los macronutrientes principales fue: $N > K > P$, el cual coincide con la referencia de Azofeifa & Moreira (2005) y Constantino *et al.* (2008).

Calcio. La más alta concentración para Habanero se obtuvo en T2 (26,22 g kg⁻¹), seguido T1 (21,98 g kg⁻¹), T3 (20,22 g kg⁻¹) y T4 (20,12 g kg⁻¹). En Tabasco de menor a mayor fue en T1 (24,25 g kg⁻¹), luego T4 (18,38 g kg⁻¹), T2 (17,88 g kg⁻¹) y la menor en T3 con 15,65 g kg⁻¹ (Figura 4-2).

Magnesio. La mayor concentración en Habanero se alcanzó en T2 (2,51 g kg⁻¹), seguido de los tratamientos 1, 3 y 4 con 2,22 g kg⁻¹, 1,77 g kg⁻¹, y 1,56 g kg⁻¹, respectivamente. Para Tabasco la mayor concentración en el T1 con 2,01g kg⁻¹, T4 (1,62 g kg⁻¹), T3 (1,36 g kg⁻¹) y la menor concentración en T2 con 1,29 g kg⁻¹(Figura 4-2).

Azufre. La más alta concentración se encontró en T4 (5,89 g kg⁻¹), seguido de los tratamientos 3, 1 y 2 con (5,61 g kg⁻¹), (5,17 g kg⁻¹) y (5,00 g kg⁻¹), respectivamente para Habanero. En Tabasco la mayor concentración se encontró en T2 con 4,49 g kg⁻¹, T4 (4,45 g kg⁻¹), T3 (4,42 g kg⁻¹), y la menor en el T1 con 4,26 g kg⁻¹(Figura 4-2).

Figura 4-2: Concentración de nutrientes Ca, Mg y S en hojas para dos tipos de ají



En síntesis, el orden de mayor a menor concentración en hojas para ambos tipos de ají con respecto a los macronutrientes secundarios fue: Ca > S > Mg, el cual coincide con la referencia de Azofeifa & Moreira (2005).

Por otra parte, los micronutrientes (Figura 4-3) tales como:

Boro. Comparado con la referencia de Rodríguez *et al.* (2010), la más alta concentración para Habanero se obtuvo en T4 (0,0848 g kg⁻¹) se considera alta, seguido T3 (0,0809 g kg⁻¹) alta, T2 (0,0693 g kg⁻¹) normal y T1 (0,0497 g kg⁻¹) baja. En Tabasco de mayor a menor fue en T4 (0,0870 g kg⁻¹) considerada alta, luego T1 (0,0618 g kg⁻¹) normal, T2 (0,0587 g kg⁻¹) baja y la menor en T3 con 0,0528 g kg⁻¹ es considerada baja.

Hierro. La mayor concentración se presentó en el T2 con 0,7264 g kg⁻¹, seguido T3 (0,6245 g kg⁻¹), T1 (0,4960 g kg⁻¹), y la menor en el T4 (0,4589 g kg⁻¹) para Habanero. Por su parte, Tabasco presentó el mayor valor en el T3 (0,3724 g kg⁻¹), T4 (0,3164 g kg⁻¹), T2 (0,2532 g kg⁻¹), y T1 con 0,1962 g kg⁻¹; estos valores se consideran altos comparados con Rodríguez *et al.* (2010), excepto el T1 y T2 de tipo Tabasco considerados bajos.

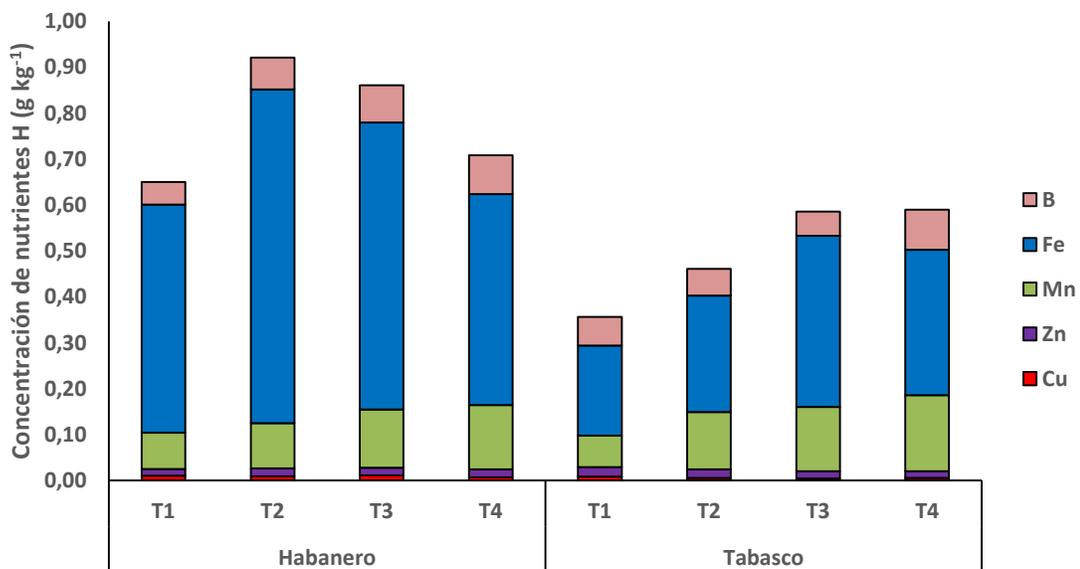
Manganeso. La mayor concentración para Habanero se obtuvo en T4 (0,1399 g kg⁻¹), seguido T3 (0,1269 g kg⁻¹), T2 (0,0987 g kg⁻¹) y T1 (0,0795 g kg⁻¹). En Tabasco la mayor

concentración fue en T4 (0,1660 g kg⁻¹), luego T3 (0,1404g kg⁻¹), T2 (0,1250 g kg⁻¹) y la menor en T1 con 0,0686 g kg⁻¹; estos valores se consideran bajos comparados con la referencia de Rodríguez *et al.* (2010).

Zinc. La mayor concentración se presentó en el T4 con 0,0176 g kg⁻¹, seguido T2 (0,0173 g kg⁻¹), T3 (0,0167 g kg⁻¹), y la menor en el T1 (0,0143 g kg⁻¹) para Habanero. Por su parte, Tabasco presento el mayor valor en el T1 (0,0210 g kg⁻¹), T2 (0,0187 g kg⁻¹), T3 (0,0158 g kg⁻¹), y T4 con 0,0147 g kg⁻¹; estos valores se consideran bajos comparados con la referencia de Rodríguez *et al.* (2010).

Cobre. La mayor concentración para Habanero se obtuvo en T3 (0,0113 g kg⁻¹), seguido T1 (0,0107 g kg⁻¹), T2 (0,0089 g kg⁻¹) y T4 (0,0070 g kg⁻¹). En Tabasco la mayor concentración fue en el T1 (0,0084 g kg⁻¹), luego T4 (0,0055 g kg⁻¹), T2 (0,0054 g kg⁻¹) y la menor en T3 con 0,0042 g kg⁻¹; estos valores se consideran bajos comparados con la referencia de Rodríguez *et al.* (2010).

Figura 4-3: Concentración de micronutrientes en hojas para dos tipos de ají



En términos generales, el orden de mayor a menor concentración en hojas para ambos tipos de ají con respecto a los micronutrientes fue: Fe > Mn > B > Zn > Cu, siendo diferente a la propuesta por Rodríguez *et al.* (2010).

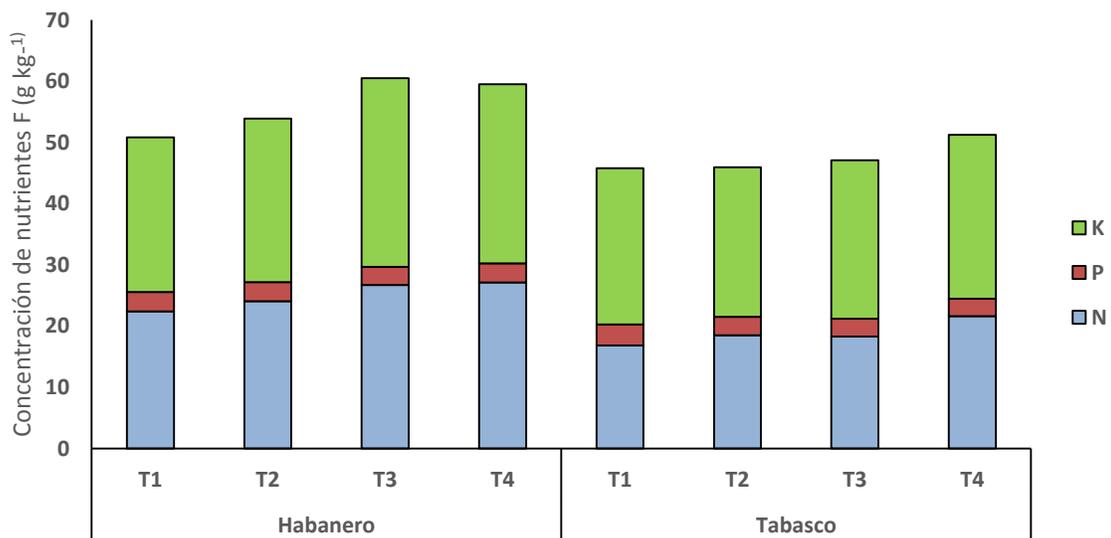
4.2.2 Concentración de nutrientes en fruto

Nitrógeno. La más alta concentración de nitrógeno en fruto para Habanero se presentó en el T4 con 27,09 g kg⁻¹, seguido el T3 (26,72 g kg⁻¹), T2 (24,04 g kg⁻¹) y T1 (22,38 g kg⁻¹); con respecto a Tabasco en orden de mayor a menor fue T4 (21,63 g kg⁻¹), T2 (18,49 g kg⁻¹), T3 (18,27 g kg⁻¹) y T1 con 16,85 g kg⁻¹ (Figura 4-4). Resultados semejantes obtuvieron Alejo *et al.* (2015) dado que a mayor aplicación de N mayor concentración de nitrógeno en frutos.

Fósforo. La mayor concentración se presentó en el T1 con 3,20 g kg⁻¹, seguido T4 (3,15 g kg⁻¹), T2 (3,11 g kg⁻¹), y la menor en el T3 (2,96 g kg⁻¹) para Habanero. Por su parte, Tabasco presentó el mayor valor en el T1 (3,43 g kg⁻¹), T2 (3,05 g kg⁻¹), T3 (2,90 g kg⁻¹), y T4 con 2,84 g kg⁻¹ (Figura 4-4), siendo valores son bajos comparados con García *et al.* (2007).

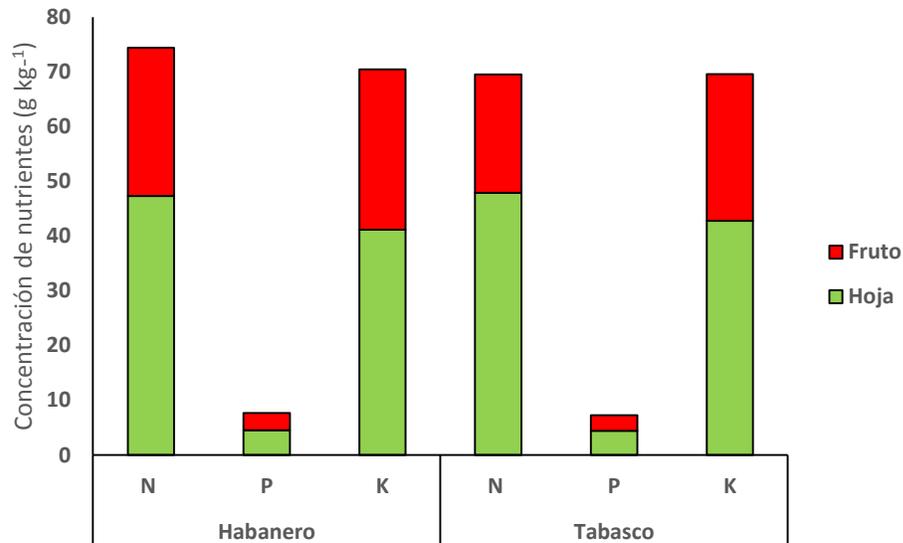
Potasio. La mayor concentración de potasio en fruto (Figura 4-4) para Habanero se presentó en el T3 (30,82 g kg⁻¹), T4 (29,28 g kg⁻¹), T2 (26,75 g kg⁻¹) y la menor en el T1 (25,27 g kg⁻¹); en Tabasco se presentó en el T4 (26,76 g kg⁻¹), T3 (25,92 g kg⁻¹), T1 (25,51 g kg⁻¹) y T2 con 24,42 g kg⁻¹, siendo valores bajos comparados con García *et al.* (2007).

Figura 4-4: Concentración de nutrientes NPK en frutos para Habanero y Tabasco



La concentración en fruto de los macronutrientes primarios en ambos tipos de ají fue: $K > N > P$, siendo menor la concentración en fruto con respecto a la concentración en hoja (Figura 4-5).

Figura 4-5: Concentración de NPK en hoja y fruto para Habanero y Tabasco



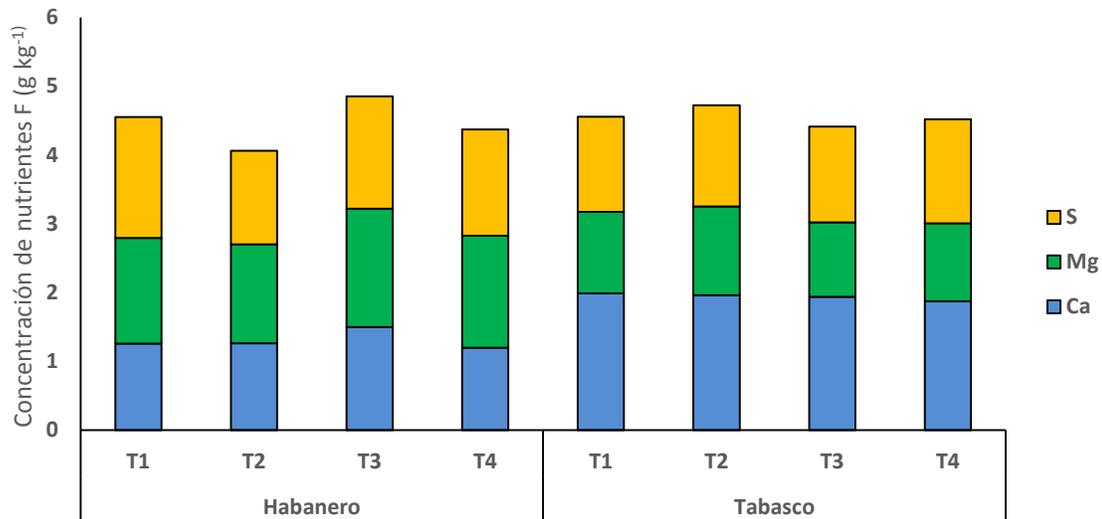
Calcio. La más alta concentración para Habanero se obtuvo en T3 (1,50 g kg⁻¹), seguido T1 y T2 (1,26 g kg⁻¹) y T3 (1,20 g kg⁻¹). En Tabasco de mayor a menor fue en T1 (1,99 g kg⁻¹), luego T2 (1,96 g kg⁻¹), T3 (1,94 g kg⁻¹) y la menor en T4 con 1,87 g kg⁻¹ (Figura 4-6); estos valores se consideran bajos comparados con la referencia de Chávez *et al.* (2016).

Magnesio. La mayor concentración en Habanero se alcanzó en T3 (1,72 g kg⁻¹), seguido de los tratamientos 4, 1 y 2 con 1,63 g kg⁻¹, 1,54 g kg⁻¹, y 1,44 g kg⁻¹, respectivamente. Para Tabasco la mayor concentración en el T2 con 1,29 g kg⁻¹, T1 (1,19 g kg⁻¹), T4 (1,13 g kg⁻¹) y la menor concentración en T3 con 1,08 g kg⁻¹ (Figura 4-6); estos valores se consideran bajos comparados con la referencia de Chávez *et al.* (2016), excepto el T3 de Habanero considerado alto.

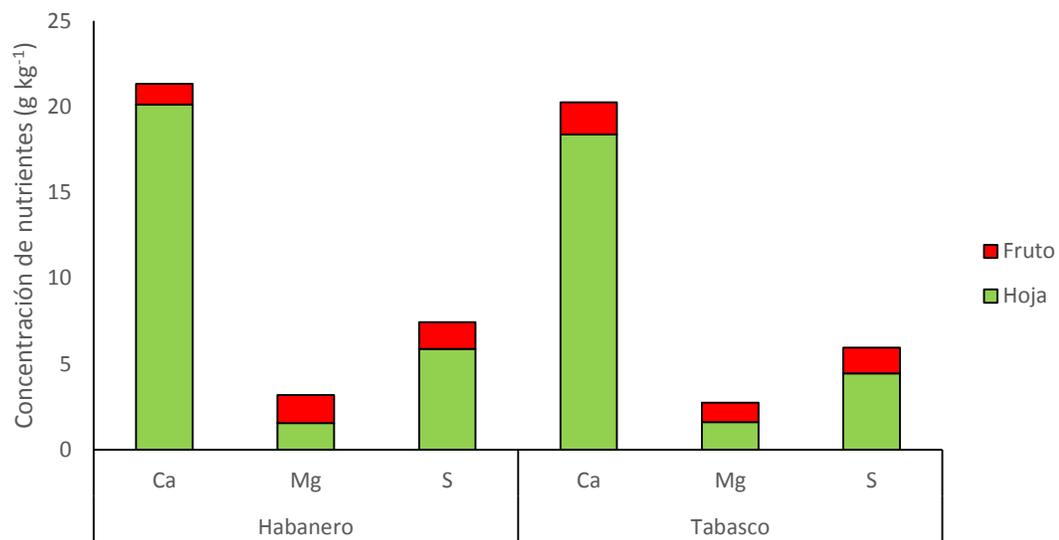
Azufre. La mayor concentración se encontró en T1 (1,76 g kg⁻¹), seguido de los tratamientos 3, 4 y 2 con 1,63 g kg⁻¹, 1,55 g kg⁻¹ y 1,36 g kg⁻¹, respectivamente para Habanero. En Tabasco la mayor concentración se encontró en T con 4,151 g kg⁻¹, T2 (1,48

g kg⁻¹), T3 (1,39 g kg⁻¹), y la menor en el T1 con 1,38 g kg⁻¹(Figura 4-6); estos valores se consideran bajos comparados con la referencia de Chávez *et al.* (2016), excepto el T1 y T3 de Habanero considerados altos.

Figura 4-6: Concentración de nutrientes Ca, Mg y S en fruto para dos tipos de ají



En fruto el orden de preferencia en la mayor concentración de macronutrientes secundarios fue diferencial en contraste con la concentración en hoja, en este sentido, para Habanero fue: Mg > S > Ca, y para Tabasco fue Ca > S > Mg. Este último presenta preferencia por Ca en comparación con el tipo Habanero, así mismo, fue evidente la menor concentración de nutrientes en fruto comparados con la concentración en hoja (Figura 4-7); este orden para ambos tipos de ajíes difiere del propuesto por Chávez *et al.* (2016) para *Capsicum annuum* L.

Figura 4-7: Concentración de Ca, Mg, S, en hoja y fruto para Habanero y Tabasco

Por otra parte, los micronutrientes (Figura 4-8) tales como:

Boro. La más alta concentración para Habanero se obtuvo en T2 (0,0092 g kg⁻¹), seguido T1 (0,0091 g kg⁻¹), T3 (0,0085 g kg⁻¹) y T4 (0,0076 g kg⁻¹). En Tabasco de mayor a menor fue en T3 (0,0133 g kg⁻¹), luego T1 (0,0120 g kg⁻¹), T2 (0,0113 g kg⁻¹) y la menor en T4 con (0,009 g kg⁻¹).

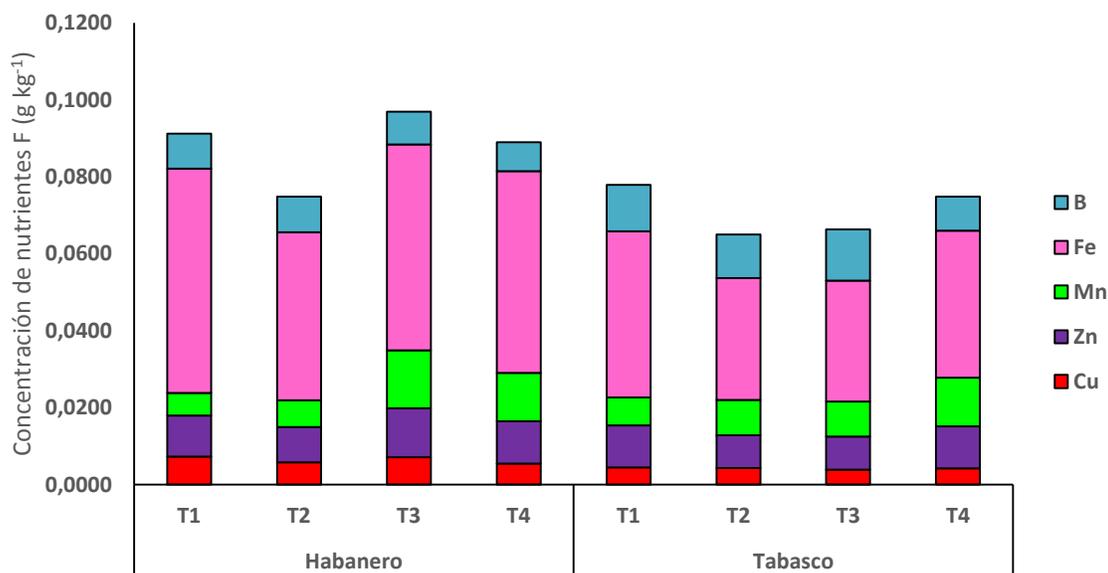
Hierro. La mayor concentración se presentó en el T1 con 0,0583 g kg⁻¹, seguido T3 (0,0534 g kg⁻¹), T4 (0,0524 g kg⁻¹), y la menor en el T2 (0,0437 g kg⁻¹) para Habanero. Por su parte, Tabasco presentó el mayor valor en el T1 (0,0432 g kg⁻¹), T4 (0,0381 g kg⁻¹), T2 (0,0317 g kg⁻¹), y T3 con 0,0315 g kg⁻¹; estos valores se consideran altos con respecto a Chávez *et al.* (2016).

Manganeso. La mayor concentración para Habanero se obtuvo en T3 (0,0151 g kg⁻¹), seguido T4 (0,0126 g kg⁻¹), T2 (0,0070 g kg⁻¹) y T1 (0,0059 g kg⁻¹). En Tabasco la mayor concentración fue en T4 (0,0113 g kg⁻¹), luego T2 (0,0092 g kg⁻¹), T3 (0,0091 g kg⁻¹) y la menor en T1 con 0,0073 g kg⁻¹; estos valores se consideran bajos con respecto a Chávez *et al.* (2016).

Zinc. La mayor concentración se presentó en el T4 con 0,0130 g kg⁻¹, seguido T3 (0,0127 g kg⁻¹), T1 (0,0110 g kg⁻¹), y la menor en el T2 (0,0092 g kg⁻¹) para Habanero. Por su parte, Tabasco presentó el mayor valor en el T1 (0,01094 g kg⁻¹), T4 (0,0189 g kg⁻¹), T3 (0,0086 g kg⁻¹), y T2 con 0,0085 g kg⁻¹; estos valores se consideran bajos con respecto a Chávez *et al.* (2016).

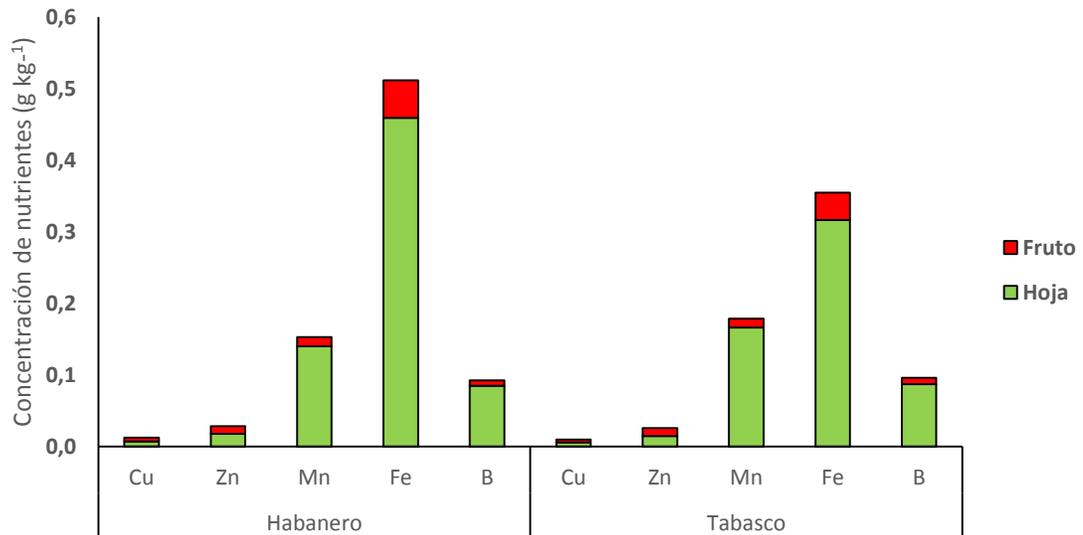
Cobre. La mayor concentración para Habanero se obtuvo en T1 (0,0073 g kg⁻¹), seguido T3 (0,0071 g kg⁻¹), T2 (0,0058 g kg⁻¹) y T4 (0,0055 g kg⁻¹). En Tabasco la mayor concentración fue en el T1 (0,0045 g kg⁻¹), luego T2 (0,0043 g kg⁻¹), T4 (0,0042 g kg⁻¹) y la menor en T3 con 0,0039 g kg⁻¹; estos valores se consideran altos comparados con Chávez *et al.* (2016).

Figura 4-8: Concentración de micronutrientes en fruto para dos tipos de ají



En términos generales, el orden de mayor a menor concentración de micronutrientes en frutos en el tratamiento de mayor rendimiento fue: Fe > Mn > Zn > B > Cu para ambos tipos de ajíes, como también lo sugieren Chávez *et al.* (2010); además, es evidente la mayor concentración de nutrientes hojas que en frutos (Figura 4-9).

Figura 4-9: Concentración de micronutrientes en hoja y fruto para Habanero y Tabasco



4.3 Rendimiento y extracción de nutrientes para dos tipos de ají (Habanero y Tabasco)

4.3.1 Rendimiento

En el rendimiento hubo diferencias altamente significativas por efecto del tratamiento en los dos tipos de ají. Los cuales coincidieron en presentar el mayor rendimiento en el T4 y el menor en el T1, mostrando superioridad el tipo Habanero (Tabla 4-2), resultados similares reportaron Marouani & Harbeoui (2016). Los menores valores presentados en T1 son normales, dado que no tuvo aplicación de fertilizantes.

Es evidente que a medida que aumenta la cantidad de fertilizante el rendimiento aumenta, lo que demuestra que los contenidos nutricionales proporcionados en el tratamiento T2 no fueron suficientes para suplir el potencial de extracción de cada tipo de ají, resultados similares obtuvieron Puentes *et al.* (2014a).

Tabla 4-2: Influencia del tratamiento sobre el rendimiento de dos tipos de ají

Tratamiento	Habanero ^a	Tabasco ^b
T1	12384 ^d	4895 ^d
T2	18856 ^c	7183 ^c
T3	22316 ^b	8273 ^b
T4	23807 ^a	10195 ^a

Valores con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente ($p > 0.05$) según la prueba de Tukey.

Los valores de rendimiento para Habanero y Tabasco se consideran altos y coinciden con la superioridad de Habanero al ser comparados con la referencia de Pardey *et al.* (2009), no obstante, comparados con Reyes *et al.* (2014) se consideran bajos.

Las correlaciones entre la concentración nutrimental en hojas y rendimiento mostraron comportamientos disímiles entre tipos de ají con correlaciones positivas y negativas, en este sentido, es evidente la contribución al rendimiento de N, K, Mn, Zn y B con diferencias altamente significativas ($p > 0,01$) para Habanero, así mismo, N, Mn, Zn para el tipo Tabasco (Tabla 4-3), es clara la influencia del nitrógeno sobre el rendimiento como lo sugieren Ayodele *et al.* (2015).

Tabla 4-3: Correlaciones entre concentración nutrimental en hoja y rendimiento para Habanero y Tabasco

Tipo	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn	Cu
Habanero	0,84**	0,13 ^{NS}	0,77**	-0,33 ^{NS}	-0,59*	0,64*	0,99**	0,06 ^{NS}	0,95**	0,91**	-0,47 ^{NS}
Tabasco	0,71**	0,39 ^{NS}	0,46 ^{NS}	-0,61*	-0,46 ^{NS}	0,35 ^{NS}	0,58*	0,69*	0,98**	0,84**	0,77**

** Diferencia altamente significativa al nivel 0,01 * Diferencia significativa al nivel 0,05 NS no significativa

4.3.2 Extracción de nutrientes en fruto

La extracción de nutrientes NPK en el tratamiento de mayor rendimiento (T4) mostro diferencias significativas ($p < 0,05$) por efecto del tipo de ají. En tanto, la cantidad extraída por el tipo Habanero con rendimiento de 23.807 kg ha⁻¹ y el tipo Tabasco con 10.195 kg ha⁻¹ mostraron igual preferencia de extracción así: K₂O > N > P₂O₅, no obstante, Habanero mostro la mayor extracción de nutrientes con respecto a Tabasco (Tabla 4-4), siendo evidente el efecto del genotipo como lo sugieren Puentes *et al.* (2014a). Los valores de extracción de nitrógeno son altos, fósforo bajo y para potasio normales en Habanero y altos para Tabasco comparados con Azofeifa y & Moreira (2005).

Tabla 4-4: Extracción de nutrientes NPK por 1000 kilogramos de fruto fresco para dos tipos de ají

Tipo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg ha ⁻¹		
Habanero	27,09 ^a	7,21 ^a	35,28 ^a
Tabasco	21,63 ^b	6,5 ^b	32,25 ^b

Valores con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente ($p > 0,05$) según la prueba de Tukey.

En este sentido, el tipo Habanero extrajo de mayor a menor Mg (1,626 kg ha⁻¹), S (1,547 kg ha⁻¹), Ca (1,199 kg ha⁻¹), Fe (0,052 kg ha⁻¹), Mn (0,013 kg ha⁻¹), Zn (0,011 kg ha⁻¹), B (0,008 kg ha⁻¹), y Cu (0,005 kg ha⁻¹). Con respecto al tipo Tabasco la extracción fue: Ca (0,874 kg ha⁻¹), S (0,512 kg ha⁻¹), Mg (0,131 kg ha⁻¹), Fe (0,038 kg ha⁻¹), Mn (0,013 kg ha⁻¹), Zn (0,011 kg ha⁻¹), B (0,009 kg ha⁻¹) y Cu (0,004 kg ha⁻¹).

En términos generales la secuencia extractiva nutrimental de mayor a menor para Habanero fue: K > N > P > Mg > S > Ca > Fe > Mn > Zn > B > Cu y para Tabasco fue el siguiente: K > N > P > Ca > S > Mg > Fe > Mn > Zn > B > Cu. El tipo Habanero mostro preferencia por Mg después del fósforo, en contraste, Tabasco por Calcio. Como también, fue evidente que a mayor extracción nutrimental se obtuvo mayor rendimiento como lo sugieren Inzunza *et al.* (2010).

4.4 Eficiencia en el uso de nutrientes: eficiencia agronómica y eficiencia de recuperación del fertilizante para dos tipos de ají (Habanero y Tabasco)

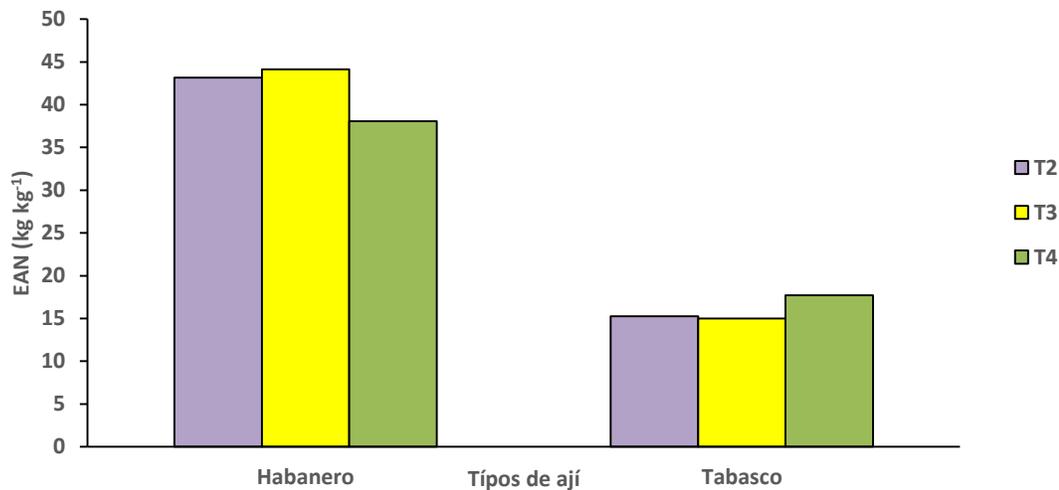
Las eficiencias en el uso de N, P y K entre tipos de ají con respecto a los tratamientos mostro diferencias altamente significativas, siendo evidente la influencia del genotipo en el uso eficiente de nutrientes como también lo sugieren Aguilar *et al.* (2016).

4.4.1 Eficiencia agronómica de nutrientes NPK

La Eficiencia Agronómica (EA) muestra la respuesta de dos tipos de ají a diferentes dosis de fertilización aplicados con relación a N-P-K, en este sentido, se refiere al aumento del rendimiento por cada kilogramo de nutriente aplicado.

4.4.2 Eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN)

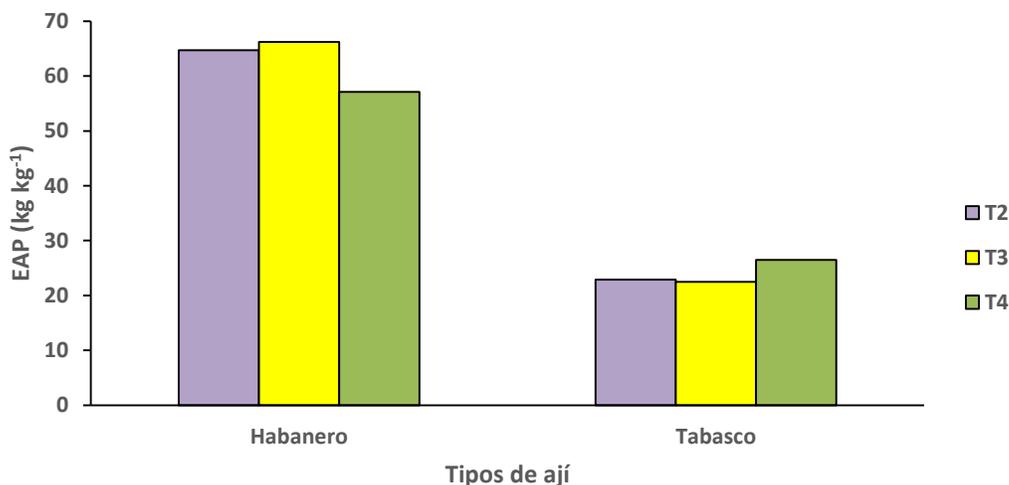
La eficiencia agronómica de nitrógeno (Figura 4-10) para *C. chinense* J. tipo Habanero fue mayor en el T3 con 44,14 kg kg⁻¹, lo que indica que el rendimiento se incrementó en 44,14 kg por cada kilogramo de N aplicado, seguido el T2 con 43, 15 kg kg⁻¹ y por último el T4 con 38,08 kg kg⁻¹. Resultados similares encontró Puentes *et al.* (2014b) quienes obtuvieron la menor eficiencia agronómica en el tratamiento correspondiente con la mayor cantidad de fertilizante. Con respecto a *C. frutescens* L. tipo Tabasco la mayor EAN se obtuvo en el T4 con 17,70 kg kg⁻¹, sugiriendo la necesidad de mayor cantidad de nitrógeno, luego el T2 con 15,25 kg kg⁻¹ y por último el T3 con 15,01 kg kg⁻¹; estas eficiencias son bajas comparadas con Chavarria (2013).

Figura 4-10: Eficiencia agronómica de nitrógeno para dos tipos de ají

4.4.3 Eficiencia agronómica de fósforo (EAP)

En el tipo Habanero la EAP fue mayor en el tratamiento 3 con 66,21 kg kg⁻¹, lo que significa que hubo un incremento de 66,21 kg de fruto por cada kilogramo de P aplicado; seguido el T2 con 64,72 kg kg⁻¹ y la menor en el T4 con 57,11 kg kg⁻¹, como también lo sugieren Puentes *et al.* (2014b). Para Tabasco la mayor EAP se presentó en el T4 (26,50 kg kg⁻¹), sugiriendo la necesidad de mayor cantidad de fósforo, luego T2 (22,28 kg kg⁻¹) y T3 con 22,52 kg kg⁻¹ (Figura 4-11); estas eficiencias son bajas comparadas con Chavarria (2013).

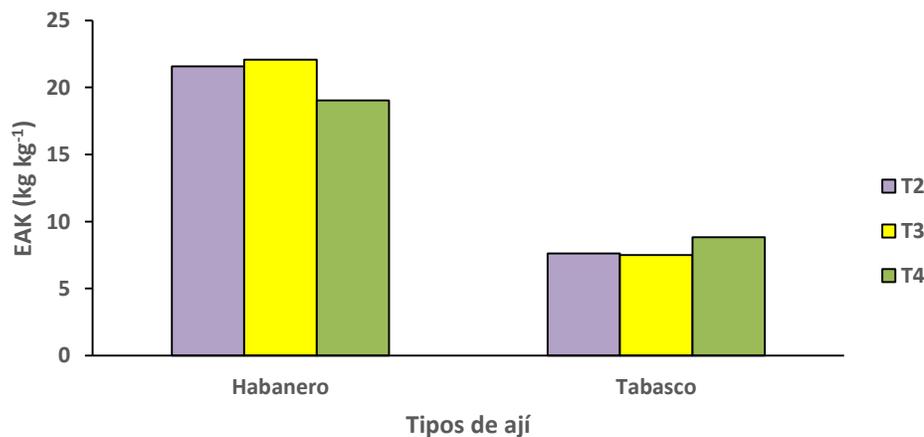
Figura 4-11: Eficiencia agronómica de fósforo para dos tipos de ají



4.4.4 Eficiencia agronómica de potasio (EAK)

La mayor EAK en Habanero se presentó en el T3 con 22,07 kg kg⁻¹, es decir, el rendimiento en T3 se incrementó en 22,07 kg por cada kilogramo de K aplicado, seguido T2 con 21,57 kg kg⁻¹ y el T4 con 19,04 kg kg⁻¹. Para Tabasco la mayor EAK fue en el T4 (8,83 kg kg⁻¹), luego el T2 (7,63 kg kg⁻¹) y por último T3 con 7,51 kg kg⁻¹ (Figura 4-12); estas eficiencias son bajas comparadas con Chavarria (2013).

Figura 4-12: Eficiencia agronómica de potasio en dos tipos de ají



En síntesis, para *C. chinense* J. tipo Habanero las mayores eficiencias agronómicas de N, P, K; se obtuvieron en el tratamiento 3 y las menores en el tratamiento 4, lo que indica que a mayor dosis del tratamiento 3 (CEUNP+50%) el rendimiento por unidad de nutriente disminuye, como lo sugieren Puentes et al. (2014b).

En contraste, *C. frutescens* L. tipo Tabasco presentó el mayor valor de las eficiencias agronómicas de N, P, K en el T4 y los menores en el T3, sugiriendo que la cantidad de fertilizante del tratamiento 4 (CEUNP + 100%) es insuficiente para expresar todo su potencial.

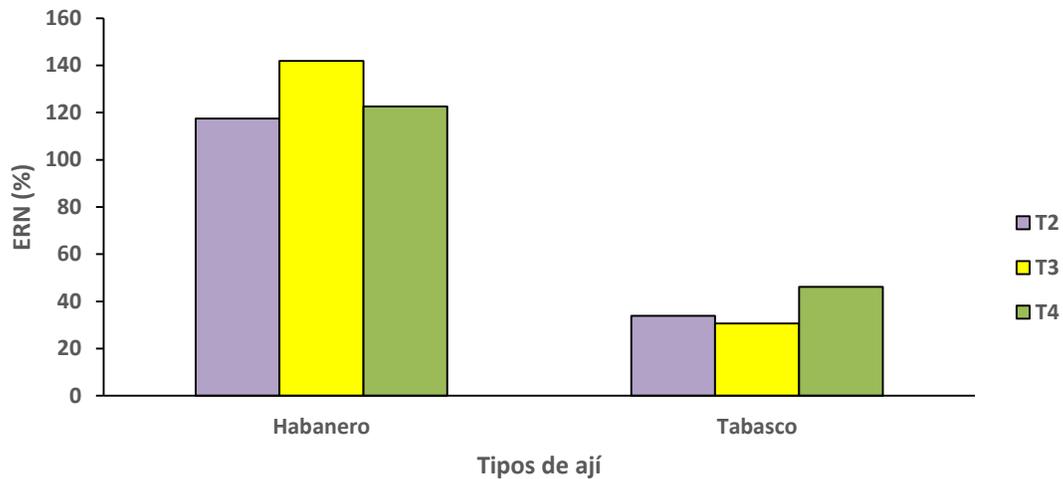
4.4.5 Eficiencia de recuperación de nutrientes NPK

La Eficiencia de recuperación de nutrientes (ERN) muestra la habilidad de cada tipo de ají para absorber el fertilizante aplicado con relación a N-P-K y asimilarlo hacia el fruto, en este sentido, se refiere al porcentaje de nutriente aprovechado por la planta en fruto del 100% del fertilizante aplicado.

4.4.6 Eficiencia de recuperación de nitrógeno (ERN)

La ERN para *C. chinense* J. tipo Habanero fue mayor en el T3 (141,93%), seguido del T4 (122,68%) y por último el T2 (117,51%). En *C. frutescens* L. tipo Tabasco la mayor ERN se presentó en T4 (46,18%), luego (33,86%) y T3 con 30,73% (Figura 4-13), estos valores se consideran altos comparados con la referencia de Zhu et al. (2005).

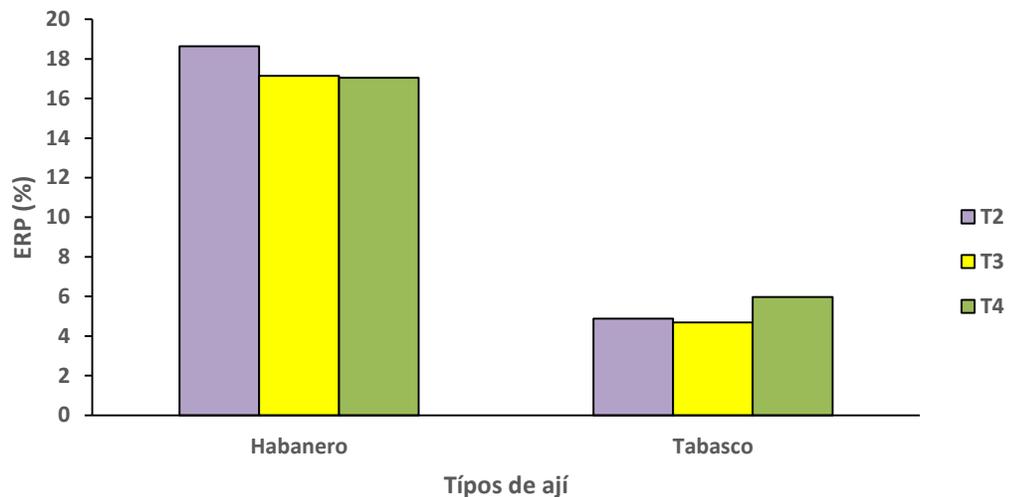
Figura 4-13: Eficiencia de recuperación de nitrógeno en dos tipos de ají



Los resultados obtenidos para Tabasco se refieren a que del 100% de nitrógeno aplicado en T4, se recupera el 46,18% y muestra una pérdida de 66,14%; estos valores de ERN son menores al 50% coincidiendo con Baligar *et al.* (2001), sugiriendo para condiciones del trópico una ERN $\leq 50\%$, lo que significa que de cada 100kg de N aplicado se aprovecha 50kg o menos de 50kg, así mismo, estos se consideran normales de acuerdo con Chavarria (2013). No obstante, en Habanero las ERN fueron superiores al 100%, evidenciando aporte de la materia orgánica mineralizada.

4.4.7 Eficiencia de recuperación de fósforo (ERP)

En Habanero la mayor ERP se obtuvo en el T2 (18,64%), seguido del T3 (17,14%) y T4 (17,04%). En Tabasco la mayor ERP en T4 (5,98%), luego T2 (4,88%) y T3 con 4,68% (Figura 4-14); estos valores de ERP se consideran altos para Habanero y bajos para Tabasco comparados con Chavarria (2013).

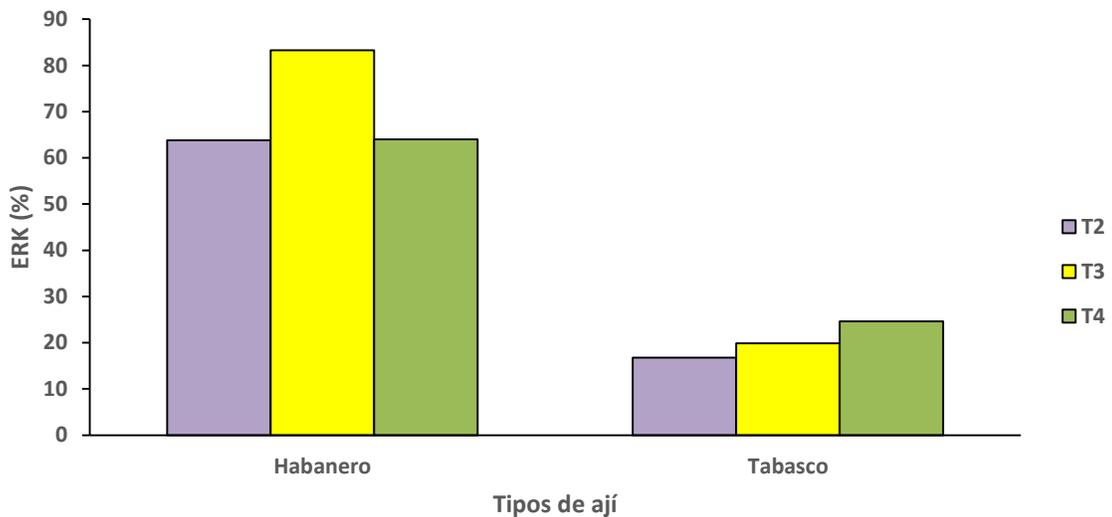
Figura 4-14: Eficiencia de recuperación de fósforo para dos tipos de ají

Los resultados se refieren a que del 100% del fósforo aplicado en T2 para Habanero, se recupera el 18,64% y muestra una pérdida de 81,36%, incrementándose con mayor dosis a razón de 1,8% con respecto al T2. Estos valores de ERP para Habanero se consideran altos y bajos para Tabasco, comparados con los valores de Baligar *et al.* (2001), sugiriendo para condiciones del trópico una ERP <10%, lo que significa que de cada 100kg de P aplicado se aprovecha menos de 10kg.

4.4.8 Eficiencia de recuperación de potasio (ERK)

La ERK para Habanero mostró valores superiores y bajos para Tabasco comparados con Baligar *et al.* (2001), sugiriendo para condiciones del trópico una ERK del 40%, lo que significa que de cada 100kg de K aplicado se aprovecha 40kg; en este sentido, el mayor valor de ERF se presentó en el T2 (83,30%), seguido el T4(63,99%) y T3 (63,83%) y en Tabasco la mayor ERK se obtuvo en T4 (24,63%), luego T3 (19,88%) y por último T2 con 16,80% (Figura 4-15); estos valores en comparación con los reportados por Chavarria (2013) se consideran altos para Habanero y bajos para Tabasco.

Figura 4-15: Eficiencia de recuperación de potasio para dos tipos de ají



En síntesis, para *C. chinense* J. tipo Habanero la tendencia de la ER no fue contundente en presentar la mayor eficiencia para N, P, K, en el mismo tratamiento. Sin embargo, *C. frutescens* L. tipo Tabasco sí presentó el mayor valor de las eficiencias agronómicas de N, P, K en el T4, sugiriendo que la cantidad de fertilizante del tratamiento 4 (CEUNP + 100%) es insuficiente para expresar todo su potencial, siendo un componente importante para aumentar el rendimiento como lo sugieren Puentes *et al.* (2014a).

5. Conclusiones

Los dos tipos de ají mostraron un comportamiento diferencial tanto en la concentración de nutrientes en hoja y fruto, extracción de nutrientes N-P-K como en el rendimiento. En este sentido, el mayor rendimiento se obtuvo con 300-200-600 kg ha⁻¹ de N-P-K respectivamente, lo que sugiere que la dosis de CEUNP no es suficiente para que los materiales expresen todo su potencial, no obstante, *C. chinense* J. tipo Habanero mostro superioridad con respecto al *C. frutescens* L. tipo Tabasco, en tanto, a mayor extracción de nutrientes mayor rendimiento, extrayendo en mayor cantidad K, N y en menor P.

Las mayores eficiencias agronómicas de N-P-K las presentó *C. chinense* J. tipo Habanero en el tratamiento 3 y las menores *C. frutescens* L. tipo Tabasco en el tratamiento 3. Así, el tipo Habanero disminuye la EA cuando se duplica la dosis de CEUNP, mientras el tipo Tabasco la aumenta, lo cual evidencia el mayor rendimiento obtenido por unidad de nutrientes en Habanero, mostrando mayor habilidad en el uso de nutrientes.

Las mayores eficiencias de recuperación de N-P-K las presento *C. chinense* J. tipo Habanero y las menores *C. frutescens* L. tipo Tabasco. No obstante, el tipo Tabasco mostro su mayor ER con el doble de la dosis de CEUNP, lo que sugiere una mayor aplicación de nutrientes, y por consiguiente un manejo nutricional específico para cada tipo de ají con fines de obtener mayor eficiencia en la fertilización.

La mayor eficiencia de recuperación de N-K para *C. chinense* tipo Habanero se presentó en el tratamiento 3, para fósforo en el tratamiento 2 y las menores ER para N-P- K, en el tratamiento 2, 4, y 2 respectivamente. *C. frutescens* L. tipo Tabasco presentó la mayor ER de NPK en el tratamiento 4, y las menores eficiencias de recuperación se presentaron en el tratamiento 3 para nitrógeno y fósforo, en el tratamiento 2 para potasio.

Bibliografía

- Acosta, J., R., Aragón, M., D., C., Llanos, Y., Madero, E. 1997. Cartografía ultradetallada de suelos y evaluación de tierras del Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia (CEUNP) Sede Palmira. Acta Agronómica. Volumen 47, Número 1, enero - marzo. 12p.
- Aguado-Lara, G., J. D. Etchevers-Barra, C. Hidalgo-Moreno, A. Galvis-Espinola y A. Aguirre-Gómez. (2002). Dynamic of potassium in agricultural soils. Agrocienza 36: 11-21.
- Alejo-Santiago, G; Luna-Esquivel, G; Sánchez-Hernández, R; Salcedo-Pérez, E; García-Paredes, J D; Jiménez-Meza, V M; (2015). Determination of the nitrogen requirement for Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA, XXI: 215-227.
- Aguilar, C.C., J.A.E. Escalante, y Aguilar I.M. (2016). Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. Terra Latinoamericana 34: 419-429.
- ASOHOFrucol. (2013). Plan de Negocios de Ají. Programa de Transformación Productiva.
- Ayodele, O.J, E.O. Alabi y M. Aluko. 2015. Nitrogen Fertilizer Effects on Growth, Yield and Chemical Composition of Hot Pepper (Rodo). Intl J Agri Crop Sci. 8 (5), 666-673.
- Azofeifa, Á; Moreira, M A; (2005). Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annum* cv. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense, 29: 77-84.

- Azofeifa, A; Moreira, M A; (2008). Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. CV. HOT) en alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 32: 19-29.
- Baligar, V., C., Fageria, N., K., He, Z., L. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Soil Sci. Plant Anal.* 32(7-8): 921-950 p.
- Borges, G.L., Barrios, M., Cervantes, C.L., Ruiz, N.J., Soria, F.M., Reyes, O.V. y Villanueva, C.E. (2010). Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra latinoamericana* 28(1):35-41
- Bosland, P.W and Votaba, E.J. 2012. *Pepper: Vegetable and spice capsicums*. CABI publishing. 2nd ed. New Mexico, USA. 219 p.
- Buczowska, H., Z. Michaloje, J. Konopinska and P. Kowalik. (2015). Content of macro and microelementos in sweet pepper fruits depending on foliar feeding with calcium. *J.Elem.* 20(2),261-272. Doi: 105601/jelem.2014.19.3.712
- Casas, A., Casas, E. (1999). *Análisis de suelo – agua – planta y su aplicación en la nutrición de cultivos hortícolas en la zona peninsular*. Segunda Edición. Almería, España. 249 p.
- CCI -Plan Hortícola (2007). Corporación Colombia Internacional. *Rev. Portafolio. Ají Colombiano: Grandes Oportunidades en el Mercado*.
- Chavarria, V. A. D. (2013). Eficiencia de tres fuentes fertilizantes sobre la producción de chile dulce (*Capsicum annuum*) cv Natali y sus curvas de absorción, en la producción de chile dulce en invernadero. *Rev. Ingeniería agrícola*, 3(1), 29-39.

- Chávez, S.J.L, Araceli M. vera-guzmán, José c. Carrillo-rodríguez, Elena Heredia-García. Variación en contenido de minerales en frutos de variedades autóctonas de Chile (*capsicum annuum* L.), cultivadas en invernadero. Vitae, revista de la facultad de ciencias farmacéuticas y alimentarias. Vol. 23 (1): 48-57
- Constantino, M., Gómez-Álvarez, R., Alvarez-Solis, J. D., Geissen, V., Huerta, E., & Barba, E. (2008). Effect of inoculation with rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of *Capsicum chinense* Jacquin. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS), 109(2), 169-180.
- Díaz, L., Viloria de Z, A. y Arteaga de R, L. (1999). Crecimiento vegetativo del pimentón en función de la densidad de plantas y edad del cultivo. Bioagro 11(2):69-73
- FAO. (2014). Estadísticas de la organización de las naciones unidas para producción de ají. Recuperado noviembre de 2017. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Finck, A. (1988). Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverte. Costa Rica. 432 p.
- García, M., Estrada E., Cardozo, C., Gutierrez, A., Salvador, M., et al. (2004). Cultivo de pimentón, variedad unapal serrano. Universidad Nacional de Colombia. Segunda edición. 18 p.
- García H.J.L., C.R. D. Valdez, V.R. Servín, D.E. Troyo, A.B. Murillo, P.E.O. Rueda, O.J.C. Rodríguez y Q.R. Magallanes. 2007. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en un cultivar semidomesticado de *Capsicum frutescens*. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 13(2),133-140. Doi: 10.5154/r.rchsh.2007.01.004
- Gil, M.J.A., Montaña, N.J. y Plaza, R. (2012). Efecto del riego y la cobertura del suelo sobre la productividad de los cultivares de ají dulce. Bioagro 24(2):143-148

- 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).
- Inzunza, I.M.A., V.C.M. Magdalena, V.E.A. Catalán y L.A. Román. 2010. Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego. *Terra Latinoam.* 28(3), 211-218.
- Ismail S. M. (2010). Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum* L.). *Meteor. Environ. Arid Land Agric. Sci.* 21:29-43.
- Ligarreto, M.G., Espinososa, B.N. & Mendez, P.M. (2004). Recursos genéticos y cultivos de Ají y Pimentón (*Capsicum* sp.). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- López R. G. O. (2003). Chilli. Especia del nuevo mundo. *Ciencias*, (069). Recuperado (4 de septiembre de 2015) en: <https://scholar.google.es/scholar?q=LÓPEZ+RIQUELME%2C+G.+O.+%282003%29.+Chilli.+Especia+del+nuevo+mundo.Ciencias%2C+%28069%29>
- MADR. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2006). Dirección de política Sectorial Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2002 – 2005 y sus calendarios de siembra y cosecha editado por tecnigraphicos impresos y maquinaria E. A. T. 75 p.
- MADR. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2012). Anuario estadístico del sector agropecuario, Anuario 2012-BASE Frutas (1992-2012) y Hortalizas (1996-2012). 200 p.
- Malavolta, E; Vitti, G.C e de Oliveira S.A. 1997. Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações. Potafos. 2da ed. Piracicaba, Brazil. 319p.

- Marouani, A. & Harbeoui, Y. (2016). Eficiencia de nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Acta agronómica, 65(2), 164-169. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Marouani & Harbeoui.
- Martínez M. A.C. María Sara Mejía de Tafur, Dora Mónica Ibarra Espinosa, Mario Augusto García Dávila y Daniel Gerardo Cayón Salina (2016) Respuesta del ají (*Capsicum annuum* L. Var. Cayena) a concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en Palmira, Valle Del Cauca, Colombia. Rev. Colomb investig agroindustriales: 40-48
- Mckean, S. J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Una guía teórica y prácticas de metodologías. Documento de trabajo N° 129. Centro Internacional de agricultura tropical. CIAT.
- Noh-Medina, J.; Borges-Gómez, L; Soria-Fregoso, M; (2010). Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tropical and Subtropical Agroecosystems, 12: 219-228.
- Ortiz, R., de la Flor, F. D., Alvarado, G., & Crossa, J. (2010). Classifying vegetable genetic Resources A case study with domesticated *Capsicum* spp. Scientia horticulturae, 126 (2), 186-191.
- 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, P.Y.J., J.C. Menjivar, A. Gómez, y F. Aranzazu. (2014a). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. Acta Agron. 63:145-152.
- Puentes-Páramo, Y.J, Menjivar-Flores, Juan, & Aranzazu-Hernández, Fabio. (2014b). Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). Bioagro, 26(2), 99-106.

- Quintal, O.W.C; Alfonso Pérez, G.A; Latournerie, M.L; May, L.C; Ruiz, S.E. y Martínez C.A.J. 2012. Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 35 (2):155-160.
- Reifschneider, F.J.B., Henz, G.P., Ribeiro, C.S.C., (2009). Brazilian Capsicums: early story and future prospects. Chron. Horticult. 49 (3), 19–21.
- Reyes, R.A; López, A.M; Ruiz, S.E; Latournerie, M.L; Pérez, G.A; G. Lozano, C.M. y Zavala, L.M.J. (2014). Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Chile. Agrociencia 48: 285-294.
- Rodríguez A.E., Martha M. Bolaños Benavides, Juan Carlos Menjivar Flores (2010). Efecto de la fertilización en la nutrición y rendimiento de ají (*Capsicum* spp.) en el Valle del Cauca, Colombia. ACTA AGRONÓMICA. 59 (1): 55-6
- Rodríguez, E. A. (2009) Efecto de la fertilización química, orgánica y biofertilización sobre la nutrición y rendimiento de ají (*Capsicum* spp.) en el Valle del Cauca. (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Colombia.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (1992). Fertilización en diversos cultivos. Quinta Aproximación. Manual de Asistencia Técnica No.25. Centro de Investigación Tibaitata. Editorial Ediciones. 64 p.
- Soria–Fregoso, M., Trejo–Rivero, J. A., Tun–Suárez, J. M., & Terán–Saldivar, R. (2002). Paquete tecnológico para la producción de chile habanero. Instituto Tecnológico Agropecuario, (2).
- Valentín-Miguel, María Celedonia, Castro-Brindis, Rogelio, Rodríguez-Pérez, Juan Enrique, & Pérez-Grajales, Mario. (2013). Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Revista Chapingo. Serie horticultura, 19(4): 71-78.

DeWitt, D. y Bosland P.W (1996). Peppers of the World - An Identification Guide. Ten Speed Press, Berkeley, California. 219p.

Zhu, J. H., Li, X. L., Christie, P., & Li, J. L. (2005). Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems. Agriculture, ecosystems & environment, 111(1):70-80.