

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Extracción y distribución de nutrientes
en Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo
tabasco Var. Amazon y su relación con
la presencia de *Fusarium oxysporum*
Schldl.**

Julio César Cárdenas Lindarte

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia
2020

Extracción y distribución de nutrientes en Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon y su relación con la presencia de *Fusarium oxysporum* Schldl.

Julio César Cárdenas Lindarte

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

Magíster en Ciencias Agrarias

Director (a):

Ph.D. Carlos German Muñoz Perea

Línea de Investigación:

Suelos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2020

Dedicatoria

Al ser más importante Dios nuestro padre creador, que me dio la vida, salud, sabiduría, fortalezas y serenidad, en esta etapa de mi vida.

A mis padres y hermano, por su paciencia, apoyo, sacrificio y amor. Gracias por creer en mi.

A mis abuelas por sus oraciones y apoyo que permitieron que llegara a esta meta. Y en especial a mis abuelos que me guían desde el cielo.

A mis maestros por su dedicación, enseñanzas y experiencia.

"Confía en el Señor y haz el bien, habita en tu tierra y come tranquilo. Pon tu alegría en el Señor, él te dará lo que ansió tu corazón".

Sal. 37: 3 – 4

Agradecimientos

A mi director el Ph.D. Carlos German Muñoz Perea por su apoyo, direccionamiento, seguimiento y aportes científicos en la planeación, ejecución y culminación de mis estudios de postgrado.

A los profesores titulares Ph.D. Mario Augusto García Dávila y Ph.D. Juan Carlos Menjivar Flores, por su apoyo, colaboración, aportes científicos en mi formación académica y culminación de mi proyecto de tesis.

Al cuerpo docente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias UNAL – Palmira, por su dedicación y aportes académicos en especial: Ph.D María Sara Mejía de Tafur, Ph.D. Eyder Daniel Gómez López y Ph.D. Daniel Gerardo Cayon Salinas.

A los colaboradores Marzory Andrade Bernal por todo su tiempo, apoyo y consejos; y a los estudiantes Ivan Alejandro Vargas y Maria De Los Angeles Lugo Duque, por hacer parte del desarrollo de mi proyecto en campo.

A la institución AGROSAVIA – Palmira, por permitirme desarrollar mi proyecto de campo en sus instalaciones.

A la empresa COSMOAGRO S.A por darme la oportunidad de culminar mis estudios y colocar en practica mis habilidades y conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera profesional, en especial a Jaime Alberto Caicedo Vera, Harol Enrique Martínez Cordoba y Mauricio Olivero Díaz.

Resumen

Una nutrición balanceada del cultivo permite obtener mejores rendimientos, tanto de la calidad de las cosechas como en los costos de producción. Diversos factores disminuyen su producción, entre estos la enfermedad vascular causada por *Fusarium oxysporum* Schltdl. La presente investigación tuvo como objetivo central establecer la extracción y distribución de nutrientes en Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon y su relación con la presencia de *Fusarium oxysporum* Schltdl. Se realizó un diseño experimental en bloques completamente al azar con dos tratamientos: fertilizado y sin fertilizar, con tres repeticiones cada tratamiento con 132 plantas, para un total de 396 plantas por tratamiento y 792 plantas en el ensayo de extracción y distribución de nutrientes. Para evaluar el efecto del patógeno se hizo un diseño de franjas con cuatro tratamientos con la misma cantidad de plantas y tres repeticiones. Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.001$) para los contenidos de materia seca; distribución de nutrientes. La distribución de nutrientes en las plantas fertilizadas en cada órgano muestra un orden decreciente en tejido foliar > frutos > raíces. El mayor incremento en los contenidos de materia seca se presenta a partir de los 105 días después del trasplante, que se correlaciona con la extracción de los elementos N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Mn⁺⁺, Zn⁺⁺ y B. La presencia de *F. oxysporum* Schltdl., aumenta la extracción de los nutrientes en una mayor medida cuando se encuentran en presencia del inoculo ($p \leq 0.05$), principalmente del nitrógeno, fósforo, manganeso, zinc y boro; y en menor proporción potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro y cobre, sin embargo, el rendimiento del cultivo disminuye de un 24% a 54% en presencia de *F. oxysporum* Schltdl.

Palabras clave: Extracción de nutrientes, Ají tabasco, *Capsicum frutescens* L., *Fusarium oxysporum* Schltdl., Nutrición mineral.

Abstract

A balanced nutrition of the crop allows to obtain better yields, both in the quality of the crops and in the production costs. Various factors decrease its production, among them the vascular disease caused by *Fusarium oxysporum* Schltdl. The main objective of the present investigation was to establish the extraction and distribution of nutrients in chili (*Capsicum frutescens* L.) type tabasco Var. Amazon and its relationship with the presence of *Fusarium oxysporum* Schltdl. A completely randomized block experimental design was carried out with two treatments: fertilized and unfertilized, with three repetitions each treatment with 132 plants, for a total of 396 plants per treatment and 792 plants in the nutrient extraction and distribution trial. To evaluate the effect of the pathogen, a strip design was made with four treatments with the same number of plants and three repetitions. Highly significant differences ($p \leq 0.001$) were found for the dry matter contents; nutrient distribution. The distribution of nutrients in the fertilized plants in each organ shows a decreasing order in foliar tissue > fruits > roots. The greatest increase in dry matter contents occurs after 105 days after transplantation, which is correlated with the extraction of the elements N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Mn⁺⁺, Zn⁺⁺ and B. The presence of *F. oxysporum* Schltdl., increases the extraction of nutrients to a greater extent when they are in the presence of the inoculum ($p \leq 0.05$), mainly nitrogen, phosphorus, manganese, zinc and boron; and to a lesser extent potassium, calcium, magnesium, sulfur, iron and copper, however, the crop yield decreases from 24% to 54% in the presence of *F. oxysporum* Schltdl.

Keywords: Nutrient uptake, Tabasco chili pepper, *Capsicum frutescens* L, *Fusarium oxysporum* Schltdl., Mineral Nutrition.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	IX
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XVI
Introducción	1
1. Extracción y distribución de nutrientes en plantas de Ají (<i>Capsicum frutescens</i> L.) tipo tabasco Var. Amazon	11
1.1 Resumen	11
1.2 Asbtract	12
1.3 Introducción.....	12
1.4 Materiales y métodos.....	14
1.5 Resultados y discusiones	17
1.5.1 Materia seca en ciclo de cultivo.....	17
1.5.2 Extracción y distribución de nutrientes en plantas.....	18
1.5.3 Extracción de nutrientes x ton de fruto	22
1.6 Conclusiones.....	24
1.7 Bibliografía.....	24
2. Efecto de <i>Fusarium oxysporum</i> Schldl., en la extracción de nutrientes en plantas de Ají (<i>Capsicum frutescens</i> L.) tipo tabasco Var. Amazon.....	29
2.1 Resumen	29
2.2 Asbtract	30
2.3 Introducción.....	31
2.4 Materiales y métodos.....	32
2.5 Resultados y discusiones	35
2.5.1 Interacción Fertilización x Inoculo	35
2.5.2 <i>Fusarium oxysporum</i> Schldl., en la extracción de nutrientes	37
2.5.3 Efecto de <i>Fusarium oxysporum</i> Schldl., en rendimientos de Ají tipo tabasco Var. Amazon.....	38
2.6 Conclusiones.....	40
2.7 Bibliografía.....	40
3. Conclusiones y recomendaciones.....	45
3.1 Conclusiones.....	45
3.2 Recomendaciones.....	46

XII Extracción y distribución de nutrientes en Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco
Var. Amazon y su relación con la presencia de *Fusarium oxysporum* Schldl.

- A. Anexo: Data de diseño de bloques completamente al azar (DBCA) de contenidos de materia seca, extracción y distribución de nutrientes. 47**
- B. Anexo: Data de diseño estadístico de franjas para interacciones de fertilización x inoculación, extracción de nutrientes y rendimientos. 53**
- C. Anexo: Propuesta de distribución de nutrientes en un programa de fertilización semanal o quincenal para cultivos de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon en un ciclo de cultivo..... 55**

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Cantidad de (a) materia seca y (b) su distribución en plantas de Ají (<i>Capsicum frutescens</i> L.), tipo tabasco Var. Amazon. F: Fertilizado SF: Sin Fertilizar. PS: peso seco. Ince: Incremento.	18
Figura 1-2: Curvas de extracción y distribución de nutrientes g.planta ⁻¹ de N, P, K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ y S, en plantas de Ají tipo tabasco Var. Amazon, tratamientos con F: Fertilizado, SF: Sin Fertilizar, Dis: Distribución. DDT: días después del trasplante.	19
Figura 1-3: Curvas de extracción y distribución de nutrientes mg.planta ⁻¹ de Fe ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Cu ⁺⁺ , Zn ⁺⁺ y B, en plantas de ají tipo tabasco Var. Amazon, tratamientos con F: Fertilizado, SF: Sin Fertilizar, Dis: Distribución. DDT: días después del trasplante.	21
Figura 1-4: Distribución de nutrientes en órganos de plantas de Ají tipo tabasco Var. Amazon de elementos (a) mayores y secundarios N, P, K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , S (g.planta ⁻¹); y (b) micronutrientes, Mn ⁺⁺ , Cu ⁺⁺ , Zn ⁺⁺ , B, Fe ⁺⁺ (mg.planta ⁻¹). Valores con letras distintas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0.001).	21

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1: Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo.	15
Tabla 1-2: Programa de fertilización en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el cultivo de Ají (<i>Capsicum frutescens</i> L.), tipo tabasco Var. Amazon.....	16
Tabla 1-3: Extracción de nutrientes para producir una tonelada de fruto de Ají (<i>Capsicum frutescens</i> L.) tipo tabasco Var. Amazon.....	22
Tabla 2-1: Análisis de las propiedades químicas de suelo.....	33
Tabla 2-2: Nutrientes aplicados en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en cultivo de Ají (<i>Capsicum frutescens</i> L.), tipo tabasco Var. Amazon.....	33
Tabla 2-3: Tratamientos evaluados en condiciones de campo en el cultivo de Ají (<i>Capsicum frutescens</i> L.), tipo tabasco Var. Amazon.....	34
Tabla 2-4: Promedios de extracción nutrientes en cultivo de Ají (<i>C. frutescens</i> L.), tipo tabasco Var. Amazon fertilizado y no fertilizado.....	35
Tabla 2-5: Promedios de extracción de nutrientes en cultivo de Ají (<i>C. frutescens</i> L.), tipo tabasco Var. Amazon inoculado y no inoculado con <i>Fusarium oxysporum</i> Schltdl. ...	36
Tabla 2-6: Promedios de la extracción de nutrientes en cultivo de Ají (<i>C. frutescens</i> L.), tipo tabasco Var. Amazon.....	38
Tabla 2-7: Rendimientos promedios en $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de fruto fresco en cultivo de Ají (<i>C. frutescens</i> L.), tipo tabasco Var. Amazon.....	39
Tabla 3-1: Algoritmo de bloques completamente al azar (DBCA) para contenidos de materia seca en plantas de Ají (<i>C. frutescens</i> L.) tipo tabasco Var. Amazon.....	47
Tabla 3-2: Algoritmo de diseño de bloque completamente al azar (DBCA) para extracción y distribución de macronutrientes y micronutrientes en diferentes épocas de muestreo en plantas de Ají (<i>C. frutescens</i> L.), tipo tabasco Var. Amazon.....	48
Tabla 3-3: Algoritmo de diseño de bloque completamente al azar (DBCA) para extracción de nutrientes por tonelada de fruto fresco en plantas de Ají (<i>C. frutescens</i> L.) tipo tabasco Var. Amazon.....	51
Tabla 3-4: Algoritmo de diseño estadístico de franjas para interacciones de fertilización x inoculación, extracción de nutrientes y rendimientos en plantas de Ají (<i>C. frutescens</i> L.) tipo tabasco Var. Amazon.....	53
Tabla 3-5: Distribución semanal de N, P, K, Ca, Mg y S ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); y Fe, Mn, Cu, Zn, B ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$), de acuerdo a curvas de extracción de nutrientes para cultivo de Ají tipo tabasco para un ciclo de 105 días.....	55

Tabla 3-6: Distribución quincenal de N, P, K, Ca, Mg y S ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); y Fe, Mn, Cu, Zn, B ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$), de acuerdo a curvas de extracción de nutrientes para cultivo de Ají tipo tabasco para un ciclo de 105 días.	56
---	----

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>Ac</i>	Ácido
<i>B</i>	Boro
<i>C.E</i>	Conductividad eléctrica
<i>C.</i>	<i>Capsicum</i>
<i>Ca</i>	Calcio
<i>C.I.C.</i>	Capacidad de intercambio catiónico
<i>cm</i>	Centímetro
<i>cm³</i>	Centímetro cúbico
<i>CME</i>	Cuadrados medios del error
<i>Cmol</i>	Centimol
<i>Cu</i>	Cobre
<i>DDG</i>	Días después de germinadas
<i>DDT</i>	Días después del trasplante
<i>Dis</i>	Distribución
<i>dS/m</i>	Decisiemens/metro
<i>F.</i>	<i>Fusarium</i>
<i>F</i>	Fertilizado
<i>g</i>	Gramo
<i>ha</i>	Hectárea
<i>Incre</i>	Incremento
<i>K</i>	Potasio
<i>Kg</i>	Kilogramo
<i>m.s.n.m</i>	Metros sobre el nivel del mar
<i>m</i>	Metro
<i>Mg</i>	Magnesio
<i>mg</i>	Miligramo

Abreviatura	Término
<i>Mn</i>	Manganeso
<i>N</i>	Nitrógeno
NH_4^+	Amonio
<i>No Fer</i>	No fertilizado
NO_3^-	Nitrato
<i>NPK</i>	Nitrógeno, Fósforo, Potasio.
<i>P</i>	Fósforo
<i>PS</i>	Peso seco
<i>S</i>	Azufre
<i>SF</i>	Sin fertilizar
<i>spp</i>	Subespecie
<i>T</i>	T: tratamiento
<i>ton</i>	Tonelada
<i>Zn</i>	Zinc

Introducción

La producción mundial de ají y pimiento, se encuentra por encima de las 3.9 millones de ton.año⁻¹ de fruto en fresco (FAO, 2018), es un cultivo de gran importancia nutricional en el territorio nacional (DANE, 2015). Los rendimientos en las especies *Capsicum spp.*, han disminuido considerablemente en los últimos años, registros que van desde las 13.4 ton.ha⁻¹ en el año 2004, 7.2 ton.ha⁻¹ en el año 2014 y 6.3 ton.ha⁻¹ para el año 2018 (FAO, 2018), al mismo se encuentran registros en las producciones individuales del cultivo de ají con 7.8 ton.ha⁻¹ para el año 2017 en el territorio nacional, donde se ha presentado un aumento en las áreas del cultivo hasta de un 20.6%, con referencia a las 3.104 hectáreas registradas en el año 2007 (AGRONET, 2017). En el territorio nacional se encuentran establecidas 3.746 hectáreas distribuidas en los departamentos de Magdalena (30.8%), Bolívar (16%), la Guajira (12.7%), Cesar (10.3%), Córdoba (9.5%) y Valle del Cauca (5.4%) (AGRONET, 2017), entre las especies que predominan son “el ají dulce, ají topito dulce y el ají picante. De este último, se cultivan variedades e híbridos de tabasco, cayena, habanero y jalapeño en menor escala” (Programa de Transformación Productiva, 2013).

El Ají tipo tabasco posee un amplio portafolio para su consumo en forma fresca o procesada (MADR, 2010), sus altos contenidos de vitaminas, capsaicina, pigmentos y aceites volátiles en comparación con otras hortalizas, permiten tener un preferencia por parte del consumidor final, al mismo tiempo la transformación industrial genera otros subproductos como condimentos, salsas, insumos de agricultura, farmacéuticos y cosméticos (Rodríguez, 2009). Los costos de producción de esta especie se encuentran alrededor de los 23.8 millones de pesos, donde son invertidos el 45.2% en labores de cosecha y el 15.6% en insumos de fertilización, siendo una actividad agrícola realizada por pequeños productores (MADR, 2010).

Los rendimientos en las especies de *Capsicum spp* son afectadas por distintos factores entre ellos tenemos las plagas, enfermedades, condiciones agroecológicas, estado

nutricional del suelos, estrés hídrico, densidades de la siembra y la poca adopción de tecnologías (COORPOICA, 2007; MADR, 2010).

Los rendimientos no depende exclusivamente del estado nutricional del suelos, sino que depende adicionalmente de factores relacionados con el medio ambiente, constitución genética de la planta y de su interrelación (Puentes-Páramo *et al.*, 2014). Específicamente, dentro de los factores que limitan la disponibilidad de los nutrientes tenemos: temperatura, humedad relativa, exceso o déficit hídrico, relaciones de sinergismo y antagonismo entre elementos, presencia de sustancias toxicas, textura o estructura, grado de compactación del suelo, drenajes, movimiento de los nutrientes, modificación de la rizósfera, pH, CIC, condiciones redox y las enfermedades vasculares (Baligar & Fageria, 2015; Jaramillo-Noreña *et al.*, 2014).

Asimismo, la aplicación de fertilizantes y del agua son dos factores críticos para optimizar el rendimiento de los cultivos. En muchos casos, se produce un desbalance entre la demanda y el suministro de agua y de nutrientes. Una de las estrategias más utilizadas para incrementar el rendimiento de los cultivos, es aplicar grandes cantidades de fertilizante a los suelos, que eventualmente conducen a una reducción de la eficacia del uso de los fertilizantes (Badr *et al.*, 2016) y a su vez aumentan la degradación de los suelos debido a la perdida de fertilizantes a través de los recursos hídricos (Sebilo *et al.*, 2013). Adicionalmente el incremento de los costos en la infraestructura de los sistemas de riego y de los precios de los fertilizantes hace imperativo la búsqueda de alternativas que conduzcan a mejoras en el uso del agua y de los fertilizantes. Por otra parte, esto tiene un efecto benéfico para el medio ambiente, ya a su vez conduce a disminuir la contaminación ambiental y a la preservación de los recursos naturales.

Para hacer un uso adecuado de los fertilizantes es necesario conocer el requerimiento nutrimental de un cultivo, en este sentido, se puede decir que el requerimiento nutricional de una planta es la cantidad de nutrientes que necesita para poder satisfacer sus demandas metabólicas y para alcanzar su máximo rendimiento en términos de cosecha (Sonneveld & Voogt, 2009).

Conocer la extracción y distribución de los nutrientes en la planta, permite suministrarlos de una mejor manera en cada etapa fenológica del cultivo, supliendo las necesidades para

el desarrollo (Salazar-Jara & Juárez-López, 2012; Salazar-Jara. *et al.*, 2016), de sus órganos hojas, tallos y frutos, donde las concentraciones pueden variar dependiendo de la estructura de la planta, como por ejemplo el nitrógeno en las hojas y el fósforo en los frutos (Haleh *et al.*, 2013; Roy *et al.*, 2011).

En general, el manejo de los cultivos es una meta esencial, es el empleo eficiente de los macronutrientes, en especial del nitrógeno y del potasio (Patil, 2010), los estudios en nutrición están enfocados en establecer un equilibrio entre el suministro de los macronutrientes y micronutrientes y el crecimiento de la planta esto se determina en relación con la producción de materia seca (Welch, 2002).

En el cultivo de ají, los estudios de absorción y distribución de nutrientes, han sido realizados en su mayoría en la especie *Capsicum annum* L., existe poca información relacionada con este aspecto para el Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco y aún más en la Var. Amazon, sin embargo, se pueden considerar los estudios relacionados con la absorción y distribución de nutrientes en las plantas de chile (*Capsicum annum* L.) tipo Húngaro, según Salazar-Jara *et al.* (2016) la demanda nutrimental del cultivo de chile húngaro son 3.1 N, 0.4 P, 4.2 K⁺, 1 Ca⁺⁺ y 0.2 Mg⁺⁺ Kg.ton⁻¹ de producto cosechado. Por otro lado, Romero-Lozada *et al.* (2017), evaluaron la extracción de nutrientes en frutos de frescos de Ajíes (*Capsicum spp.*) de los tipos habanero y tabasco, encontrando una mayor extracción de NPK, en las hojas y frutos del primero con 27,09 N; 3,15 P y 29,28 K⁺ Kg.ton⁻¹, por su lado el tipo tabasco presento 21,63 N; 2,84 P y 26,76 K⁺ Kg.ton⁻¹, al mismo tiempo la planta también extrae otros nutrientes, como Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, S, Zn⁺⁺, Fe⁺⁺, Cu⁺⁺, Mn⁺⁺ y B.

En este sentido, la mayoría de los investigadores efectúan el cálculo de la dosis de fertilización tomando como referencia la cantidad de nutrientes extraídos del fruto fresco, dejando la distribución de los mismos en un segundo plano, condición que merece ser revisada con más detalle, pues, se desconoce cuánto es la cantidad de nutrientes requeridos por las plantas para hacer un balance adecuado de la nutrición, así pues, es de gran utilidad, definir las condiciones que optimicen el uso y suministro de nutrientes en cada etapa fenológica, un aspecto que hasta ahora no se conoce del todo.

Por otra parte, uno de los principales factores que afectan el rendimiento de los cultivos de Ají al igual que el de otras hortalizas, es la enfermedad vascular, de hecho constituye una

de las principales limitantes que afectan su desarrollo productivo a gran escala (Li *et al.*, 2018).

Los patógenos del suelo causantes de enfermedades vasculares, de mayor importancia, son: *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum*, *Pythium spp*, *Rhizoctonia solani* y *Cercospora capsici* (Velásquez-Valle y Reveles-Torres, 2017). Pero también, el desarrollo de esta enfermedad puede ser generada por un solo tipo de patógeno como *F. oxysporum*, el cual se presenta en los diferentes estados fenológicos de la planta, produciendo marchitamiento que disminuye el crecimiento y en estados avanzados la muerte (Srinivas *et al.*, 2019; Thaines Bodah, 2017). En el territorio nacional la enfermedad se presenta tanto en climas cálidos como fríos donde se desarrolla los cultivos de pimiento y ají, generando pérdidas superiores al 40% (Jaramillo-Noreña *et al.*, 2014).

Un estado nutricional deficiente en el huésped podría favorecer la aparición y el desarrollo del patógeno condiciones de aplicaciones excesivas de fertilizante pueden acelerar su desarrollo y ocasionar daños más severos en los cultivos, al no poderse controlar los factores bióticos y abióticos donde se desarrolla el cultivo, estimulan el crecimiento de las plantas generando una mayor resistencia estructural (Srinivas *et al.*, 2019).

La mayor limitante en la absorción de los nutrientes para el cultivo son los daños iniciales ocasionados por *F. oxysporum* durante el proceso de infección, el patógeno después de ingresar por las raíces inicia su proliferación generando obstrucciones en los vasos del xilema (Di & Tintor, 2016), produciendo disminución del flujo de agua y nutrientes, los cuales generan un marchitamiento progresivo en las plantas (Velarde-Félix *et al.*, 2018), afectando considerablemente la extracción de nutrientes, los rendimientos y el desarrollo de otros órganos como tallos, flores y frutos. En la actualidad, es ampliamente conocido el daño que puede generar *F. oxysporum*, en los rendimientos de cultivos de Ají (*Capsicum spp.*), sin embargo, se desconoce el efecto que puede tener el patógeno en la absorción de nutrientes.

Para poder estudiar la anterior problemática planteada se definieron las siguientes hipótesis de trabajo: (a) El cultivo de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon tienen una demanda y patrones de distribución de nutrientes diferentes a las reportadas en la literatura para otras especies del género *Capsicum spp.* (b) La infección de *Fusarium*

oxysporum Schldl., afecta la absorción de nutrientes del Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon lo que conduce a una disminución en el rendimiento del cultivo, para lo cual se le dará respuesta a través de los siguientes objetivos:

Objetivo General

Establecer la extracción y distribución de nutrientes en Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon y su relación con la presencia de *Fusarium oxysporum* Schldl.

Objetivos Específicos

- Determinar la extracción y distribución de los nutrientes Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre y Micronutrientes en Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon.
- Determinar los efectos nutricionales y su relación con la presencia de *Fusarium oxysporum* Schldl., en Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon.

La presente investigación se elaboró a través de un compendio de dos artículos en los cuales cada capítulo dará respuesta a los objetivos planteados:

Capítulo 1. Extracción y distribución de nutrientes en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon. Se someterá a la revista Acta Agronómica.

Capítulo 2. Efecto de *Fusarium oxysporum* Schldl., en la extracción de nutrientes en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon. Se someterá a la revista Acta Agronómica.

BIBLIOGRAFÍA

- AGRONET (2017). Evaluaciones agropecuarias municipales. Revisado en: https://www.agronet.gov.co/Documents/21-AJ%C3%8D_2017.pdf
- Badr, M. A., Abou-Hussein, S. D., & El-Tohamy, W. A. (2016). Tomato yield, nitrogen uptake and water use efficiency as affected by planting geometry and level of nitrogen in an arid region. *Agricultural Water Management*, 169, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.012>
- Baligar, V. C., & Fageria, N. K. (2015). Nutrient use efficiency in plants: An overview. En *Nutrient use efficiency: From basics to advances* (pp. 1–14). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-81-322-2169-2>
- Charles, D.J. (2012). Capsicum. En: *Propiedades antioxidantes de especias, hierbas y otras fuentes*. Springer, Nueva York, NY. 189 – 197. DOI:10.1007 / 978-1-4614-4310-0_13
- CORPOICA. (2007). Proyecto “Desarrollo de la producción y calidad de ají en el Valle del Cauca a partir del manejo integrado de la fertilización (edáfica y fertirriego)”. Palmira. 35.
- Crosby, K. M. (2008). Pepper. *Handbook of Plant Breeding*, 221–247. https://doi.org/10.1007/978-0-387-74110-9_6
- Dane. (2015). El cultivo de pimentón (*Capsicum annum* L) bajo invernadero. *Boletín mensual, insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*, 37. Revisado en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jul_2015.pdf
- Di, X., Takken, F. L., & Tintor, N. (2016). How phytohormones shape interactions between plants and the soil-borne fungus *Fusarium oxysporum*. *Frontiers in plant science*, 7, 170. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00170>
- FAO. (2018). FAOSTAT. Revisado en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Haleh, T. R., Pezhman, M., & Foruzandeh, S. (2013). THE EFFECT OF NITROGEN FIXATION AND PHOSPHORUS SOLVENT BACTERIA ON GROWTH

PHYSIOLOGY AND VITAMIN C CONTENT OF CAPSICUM ANNUM L. 3(2), 673-682. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=379160>

Jaramillo Noreña, J., Malagón, E., Maríaautor, E., Molano, T., Juliánautor, P., & Guzmán Arroyave, M. (2014). Modelo productivo del cultivo de pimentón bajo condiciones protegidas en el oriente antioqueño. Corporación Mosquera. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=bacdig.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=002495>

Li, H. Y., Guo, W., Liu, D., & Li, M. Q. (2018). First Report of *Fusarium semitectum* Causing Root Rot of Greenhouse Pepper (*Capsicum annuum*) in China. *Plant disease*, 102(10), 2032–2032. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-17-1704-PDN>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena de hortalizas en Colombia: Salsa de ají. (G. E. Ltda., Ed.). Bogotá. 194. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12660>

Nuez, V. F., Gil, O. R., & Costa, G. J. (1996). El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España. 1–607. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=zamocat.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=007024>

Patil, N. M. (2010). Biofertilizer effect on growth, protein and carbohydrate content in *Stevia rebaudiana* var Bertonii. *Recent Research in Science and Technology*. <http://updatepublishing.com/journal/index.php/rrst/article/view/522>.

Programa de Transformación Productiva. (2013). Plan de Negocios de Ají. Plan de Negocios de Ají, 173. Revisado en: https://www.ptp.com.co/documentos/PLAN_DE_NEGOCIO_AJÍ_diciembre.pdf

Puentes-Páramo, Y. J., Menjivar-Flores, J. C., Gómez-Carabalí, A., & Aranzazu-Hernández, F. (2014). Absorption and distribution of nutrients in cocoa and its effect on yield. *Acta Agronómica*, 63(2), 145–152. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85731100004.pdf>

Rodríguez, E. A. A. (2010). Efecto de la fertilización química, orgánica y biofertilización sobre la nutrición y rendimiento de ají (*Capsicum* spp.) en el valle del cauca, 149. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/14032/14936

- Romero-Lozada, M. del P., Puentes-Paramo, 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. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5809>.
- Roy, S. S., Khan, M. S. I., & Pall, K. (2011). Nitrogen and phosphorus efficiency on the fruit size and yield of capsicum. *Journal of Experimental Sciences*. <http://updatepublishing.com/journal/index.php/jes/article/view/1786>.
- Salazar-Jara, F. I., & Juárez-López, P. (2013). Requerimiento Macronutritional en plantas de chile (*Capsicum annum* L.). CONACYT. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/724>
- Salazar-Jara, F. I., Juárez-López, P., Bugarín-Montoya, R., Alejo-Santiago, G., García-Paredes, J., & Cruz-Crespo, E. (2016). Extracción de macronutrientes en chile (*Capsicum annum* L.) tipo húngaro. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(8), 2055–2061. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.138>
- Sebilo, M., Mayer, B., Nicolardot, B., Pinay, G., & Mariotti, A. (2013). Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(45), 18185–18189. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305372110>
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). Salinity and water quality. En *Plant nutrition of greenhouse crops* (pp. 127–157). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-2532-6_7
- Srinivas, C., Devi, D. N., Murthy, K. N., Mohan, C. D., Lakshmeesha, T. R., Singh, B., Kalagatur, N. K., Niranjana, S. R., Hashem, A., & Alqarawi, A. A. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity—A review. *Saudi journal of biological sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.06.002>
- Thaines Bodah, E. (2017). Root rot diseases in plants: A review of common causal agents and management strategies. *Agric. Res. Technol*, 5, 555661. https://www.researchgate.net/profile/Eliane_Bodah/publication/320713530_Root_Rot_Diseases_in_Plants_A_Review_of_Common_Causal_Agents_and_Management_Strategies/links/5b71f15545851546c9fd619e/Root-Rot-Diseases-in-Plants-A-Review-of-Common-Causal-Agents-and-Management-Strategies.pdf

- Velarde-Félix, S., Garzón-Tiznado, J. A., Hernández-Verdugo, S., López-Orona, C. A., & Retes-Manjarrez, J. E. (2018). Occurrence of *Fusarium oxysporum* causing wilt on pepper in Mexico. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 40(2), 238–247. <https://doi.org/10.1080/07060661.2017.1420693>
- Velásquez-Valle, R., & Reveles-Torres, L. R. (2017). Necrosis foliar; nuevo síntoma asociado a la pudrición de la raíz de chile (*Capsicum annuum*) en Durango y Zacatecas, México. *Revista mexicana de micología*, 46, 47–53. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802017000200047
- Welch, R. M. (2002). The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant and Soil*, 247(1), 83–90. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1021140122921>

1. Extracción y distribución de nutrientes en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon

Julio César Cárdenas Lindarte, Carlos German Muñoz Perea, Mario Augusto García Dávila, Juan Carlos Menjivar Flores.

1.1 Resumen

Una nutrición balanceada del cultivo permite obtener mejores rendimientos, tanto de la calidad de las cosechas como en los costos de producción. Una de las estrategias que se emplea para aumentar los rendimientos de los cultivos, es aplicar grandes cantidades de fertilizantes al suelo, contradictoriamente esto conlleva a una menor eficiencia, una mayor pérdida de nutrientes y a la contaminación ambiental. La presente investigación tuvo como objetivo central determinar la extracción y distribución de nutrientes en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon; para ello se realizó un análisis químico de los suelos para establecer las condiciones de fertilización. Se empleó un diseño experimental en bloques completamente al azar con dos tratamientos: Fertilizado (F) y Sin Fertilizar (SF), con tres repeticiones cada tratamiento, 132 plantas por bloque, para un total de 396 plantas por tratamiento y 792 plantas en el ensayo. Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.001$) para los contenidos de materia seca; extracción y absorción de nutrientes. Para producir una tonelada de fruto fresco de ají tabasco, las plantas extraen una menor cantidad de NPK que lo reportado por otros autores. La distribución de nutrientes en las plantas fertilizadas en cada órgano muestra un orden decreciente en tejido foliar > frutos > raíces. El mayor incremento en los contenidos de materia seca se presenta a partir de los 105 días después del trasplante

(DDT), que se correlaciona con la extracción de los elementos N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Mn⁺⁺, Zn⁺⁺ y B.

Palabras clave: Extracción de nutrientes, *Capsicum frutescens* L., Nutrición mineral, Ají tipo tabasco.

1.2 Abstract

A balanced nutrition of the crop allows to obtain better yields, both in the quality of the crops and in the production costs. One of the strategies used to increase crop yields is to apply large amounts of fertilizers to the soil, contradictory this leads to lower efficiency, greater loss of nutrients and environmental pollution. The main objective of this research was to determine the extraction and distribution of nutrients in Chili pepper plants (*Capsicum frutescens* L.) type tabasco Var. Amazon; For this, a chemical analysis of the soils was carried out to establish the fertilization conditions. A completely randomized block experimental design was used with two treatments: Fertilized (F) and Without Fertilization (SF), with three replications each treatment, 132 plants per block, for a total of 396 plants per treatment and 792 plants in the trial. . The results of the variance analysis showed highly significant differences ($p \leq 0.001$) for the dry matter contents; extraction and absorption of nutrients. To produce a ton of fresh Tabasco pepper fruit, the plants extract a lower amount of NPK than reported by other authors. The distribution of nutrients in the fertilized plants in each organ shows a decreasing order in foliar tissue > fruits > roots. The greatest increase in dry matter contents occurs after 105 days after transplantation (DDT), which is correlated with the extraction of the elements N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Mn⁺⁺, Zn⁺⁺ and B.

Keywords: Nutrient uptake, *Capsicum frutescens* L., Mineral nutrition, Tabasco chili pepper.

1.3 Introducción

El Ají (*Capsicum spp.*) es una planta proveniente de América, pertenece a la familia *Solanaceae*, una de las cinco especies más utilizadas es el ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco (Lima *et al.*, 2017). Esta variedad es apreciada por su sabor picante y su versatilidad de usos (Souza *et al.*, 2017).

La productividad de los cultivos del género *Capsicum spp.* no depende exclusivamente de la fertilidad de los suelos, también es afectada por otros factores relacionados con la genética, el medio ambiente, la densidad de la siembra y el manejo sanitario (Puentes-Páramo *et al.*, 2014). Sin embargo, una nutrición balanceada del cultivo permite obtener mejores rendimientos (Nieves-González *et al.*, 2015), tanto de la calidad de las cosechas como de los costos de producción (Marulanda *et al.*, 2016). Una de las estrategias más empleada para aumentar los rendimientos de los cultivos, es aplicar grandes cantidades de fertilizantes al suelo, contradictoriamente esto conlleva a una menor eficiencia, una mayor pérdida de nutrientes y a la contaminación ambiental (Mali *et al.*, 2019). Conocer la extracción y distribución de nutrientes en la planta, permite suministrar los elementos en cada etapa fenológica del cultivo, supliendo las necesidades para el desarrollo (Salazar-Jara & Juárez-López, 2013; Salazar-Jara. *et al.*, 2016), de sus órganos hojas, tallos y frutos, donde las concentraciones pueden variar dependiendo de la estructura de la planta, como por ejemplo el nitrógeno en las hojas y el fósforo en los frutos (Haleh *et al.*, 2013; Roy *et al.*, 2011).

En el cultivo de ají, los estudios de extracción y distribución de nutrientes, han sido realizados en su mayoría en la especie *Capsicum annum* L., existe poca información relacionada con este aspecto para el Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco, sin embargo, se pueden considerar los estudios relacionados con la absorción y distribución de nutrientes en las plantas de chile (*Capsicum annum* L.) tipo Húngaro, según Salazar-Jara *et al.* (2016) la demanda nutrimental del cultivo de chile húngaro son 3.1 N, 0.4 P, 4.2 K⁺, 1 Ca⁺⁺ y 0.2 Mg⁺⁺ Kg.ton⁻¹ de producto cosechado. Por otro lado, Romero-Lozada *et al.* (2017), evaluaron la extracción de nutrientes en frutos de frescos de Ajíes (*Capsicum spp*) de los tipos Habanero y Tabasco, encontrando una mayor extracción de NPK, en las hojas y frutos del primero con 27,09 N; 3,15 P y 29,28 K⁺ Kg.ton⁻¹, por su lado el tipo tabasco presento 21,63 N; 2,84 P y 26,76 K⁺ Kg.ton⁻¹, de igual forma además de estos nutrientes la planta también extrae otros, tales como Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, S, Fe⁺⁺, Mn⁺⁺, Zn⁺⁺, Cu⁺⁺ y B.

En este sentido, el orden de extracción según lo encontrado por Romero-Lozada *et al.* (2017):

Para producir 1.000 kg de fruto fresco de ají incluyendo todos los nutrientes en porcentajes de mayor a menor en Habanero: K⁺ (44,25%), N (40,95%), P (4,76%), Mg⁺⁺ (2,46%), S (2,34%), Ca⁺⁺ (1,81%), Na⁺ (0,44%), Fe⁺⁺ (0,08%), Mn⁺⁺ (0,02%), Zn⁺⁺

(0,02%), B (0,01%) y Cu^+ (0,01%) presentando preferencia por Mg^{++} en lugar de Ca^{++} , en contraste con el tipo de material tabasco. El orden de extracción para tabasco de mayor a menor fue: K^+ (47,88%), N (38,71%), P (5,08%), Ca^{++} (3,35%), S (2,71%), Mg^{++} (2,02%), Fe^{++} (0,07%), Mn^{++} (0,02%), Zn^{++} (0,02%), B (0,02%) y Cu (0,01%), presentando preferencia por Ca^{++} en lugar de Mg^{++} , en contraste con el material Habanero. Es interesante la similitud en extracción que presentan los dos tipos de materiales mostrando, el orden de extracción para los nutrientes es $\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{S} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$.

Para la especie *Capsicum frutescens* L., los reportes más recientes son los de Romero Lozada et al. (2017), quienes determinaron la extracción de nutrientes por tonelada de fruto fresco (kg.ton^{-1}) para NPK. En este sentido, la mayoría de los investigadores efectúan el cálculo de la dosis de fertilización tomando como referencia la cantidad de nutrientes extraídos del fruto fresco, dejando la distribución de los mismos en un segundo plano, condición que merece ser revisada con más detalle, pues, se desconoce cuánto es la cantidad de nutrientes requeridos por las plantas para hacer un balance adecuado de la nutrición, así pues, es de gran utilidad, definir las condiciones que optimicen el uso y suministro de nutrientes en cada etapa fenológica, un aspecto que hasta ahora no se conoce del todo. Partiendo de esta premisa, esta investigación estuvo centrada en determinar la extracción y distribución de nutrientes en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon.

1.4 Materiales y métodos

La investigación se realizó en las instalaciones del centro de investigación AGROSAVIA, ubicado geográficamente a $3^{\circ}30'54.0''\text{N}$ $76^{\circ}18'47.4''\text{W}$, a 1009 m.s.n.m., en el municipio de Palmira del Valle del Cauca. La zona presenta una precipitación promedio anual de 1045 mm y temperatura media de 23.8°C . Se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo a una profundidad de 0 – 25 cm (Tabla 1-1).

Las plantas fueron trasplantadas a campo a los 45 días después de germinadas (DDG) tomando en cuenta los aspectos establecidos por Romero-Lozada et al. (2017), quien indica que la distancia entre plantas debe oscilar entre los 0.40 y los 0.60 m, y la distancia

entre hileras podrá establecerse entre los 0.80 m y los 1.3 m, en este sentido, se realizó el trasplante a criterio del investigador y considerando lo establecido por la autora, a una distancia de 0.40 m entre plantas y 1.2 m entre surcos para alcanzar una densidad de 20.833 plantas.ha⁻¹.

Tabla 1-1: Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Variables	Unidades	Resultados	Extractante / Técnica
Densidad Aparente	g/cm ³	0.87	Cálculo
pH	pH_unit	6.51	Pasta de saturación / Conductimétrico
Conductividad Eléctrica	dS/m	0.73	
Arcilla	%	44	Análisis directo / Método de Bouyoucos
Arena		46	
Limo		10	
Textura		Arcillo Arenoso	
Carbono Orgánico Oxidable	%	2.25	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico
Materia Orgánica	%	3.88	Cálculo
Nitrógeno Total		0.19	
C.I.C	Cmol/Kg	28.1	Pasta de saturación / Gravimétrico
Potasio	Cmol/Kg	0.750	Sln. Acetato de Amonio / EEA
Calcio		12.3	
Magnesio		6.3	
Hierro	mg/Kg	47.8	Sln. Ácida Mehlich I / EAA
Manganeso		57.9	
Cobre		5.0	
Zinc		9.1	
Boro	mg/Kg	0.70	Sln. Fosfato Monobásico de Calcio / Colorimétrico
Fósforo		130	Sln. Bray II / Colorimétrico
Azufre		18	Sln. Fosfato Monobásico de Calcio / Turbidimétrico

Se realizó un programa de fertilización con la interpretación del análisis de suelos, para aportar los nutrientes esenciales que permitieran obtener un rendimiento de 12 ton.ha⁻¹, en tal sentido, se utilizó como referencia para el cálculo, las cantidades de los elementos mayores (NPK) recomendadas por Romero-Lozada et al. (2017) de 21.63 Kg.ton⁻¹ de N; 2.84 Kg.ton⁻¹ de P y 26.76 Kg.ton⁻¹ de K⁺; para los elementos secundarios (Ca⁺⁺,Mg⁺⁺,S) lo sugerido por Azofeifa & Moreira (2008) de 2.12 Kg.ton⁻¹ de Ca⁺⁺; 0.48 Kg.ton⁻¹ de Mg⁺⁺ y 0.48 Kg.ton⁻¹ de S; y para los elementos menores (Fe⁺⁺, Zn⁺⁺, Cu⁺⁺, Mn⁺⁺,B) las cantidades definidas por Charlo et al. (2012) de 12 g.ton⁻¹ de Fe⁺⁺; 6 g.ton⁻¹ de Zn⁺⁺; 0.9 g.ton⁻¹ de Cu⁺⁺; 9 g.ton⁻¹ de Mn⁺⁺ y 5 g.ton⁻¹ de B; la fertilización se fraccionó en 14 dosis (Tabla 1-2), la distribución porcentual de los nutrientes fue de 4.16% (aplicaciones uno – cuatro) y del 8.33% (a partir de la quinta aplicación) con una frecuencia semanal mediante fertirrigación, de acuerdo, a los hallazgos encontrados por Vijayakumar et al. (2010) citado de (Mali et al., 2019), en el plan de fertilización, las concentraciones de los nutrientes fueron menores en la etapa inicial del cultivo, y se incrementaron después de la cuarta aplicación.

Tabla 1-2: Programa de fertilización en kg.ha⁻¹ para el cultivo de Ají (*Capsicum frutescens* L.), tipo tabasco Var. Amazon.

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
48	6.02	63.35	25.4	5.79	3.72	0.14	0.07	0.01	0.11	0.06

Se utilizó un diseño de bloques al azar con dos tratamientos: Fertilizado (F) y Sin Fertilizar (SF), cada tratamiento fue realizado por triplicado, cada bloque estuvo conformado por 132 plantas, para un total de 396 plantas por tratamiento y 792 plantas en el ensayo, a los resultados se le aplicó una prueba de análisis de varianza y se determinaron las diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de comparación de medias de Tukey. Teniendo presente el tiempo de evaluación de Azofeifa & Moreira (2008), el muestreo del material vegetal se realizó a los 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 105 DDT, de igual forma se hizo la recolección de los frutos, con una frecuencia quincenal iniciando a los 90 DDT con un total de tres cosechas, solo tomando los frutos maduros o pintones. Para evaluar los contenidos nutricionales, se realizó una disección de los órganos de la planta raíz, foliar (tallos – hojas – flores) y frutos.

Se cuantificó el peso seco considerando las investigaciones de Salazar-Jara (2016), en este sentido, se depositó cada órgano en una bolsa de papel y se introdujo en el horno por un período de 48 horas a una temperatura de 70°C, seguidamente se procedió a tomar el peso seco empleando una balanza de precisión. Para el análisis químico se implementaron las siguientes metodologías por el laboratorio (Extractante/ Técnica) según el nutriente: Nitrógeno Micro-Kjeldahl / Volumétrico; Fósforo, Azufre y Boro MVH Ác. Nítrico:Ác. Perclórico / Colorimétrico; y Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc MVH Ác. Nítrico:Ác. Perclórico / EAA. La concentración de cada nutriente, se estimó con base en el peso seco de las plantas.

1.5 Resultados y discusiones

1.5.1 Materia seca en ciclo de cultivo

En la Figura 1-1a, se observa que, a partir de los 75 DDT, las plantas de ají tabasco inician la acumulación de materia seca en los órganos de la planta en el siguiente orden decreciente foliar > frutos > raíces, esto está relacionado con el transporte interno de los nutrientes a la planta, lo cual ocurre desde el suelo, ingresando a la planta por las raíces y distribuyéndose por toda la planta, iniciando la acumulación de los nutrientes en las hojas y terminando en los frutos.

El K^+ junto con el N y el P representan un aspecto fundamental en la optimización de la fertilización, donde el suministro suficiente a la planta de N maximiza su crecimiento y rendimientos (Hu *et al.*, 2016). Asimismo, una deficiencia de K^+ podría afectar el metabolismo del N, sobretodo, el metabolismo de aminoácidos y proteínas (Combatt *et al.*, 2018). Al mismo tiempo Wang *et al.* (2016), afirma que el N es un factor limitante en general para el metabolismo de la planta y que las deficiencias de K^+ conducen a una reducción importante de la captación de N y disminuyen la asimilación radicular de NO_3^- en las raíces, y en su transporte hasta el dosel (Hu *et al.*, 2016).

Los incrementos de materia seca en las diferentes épocas de muestreo se observan en la Figura 1-1b, alcanzando picos máximos a los 75 y 105 DDT, estos coinciden con los reportados por Azoifeifa & Moreira (2005, 2008); Inzunza-Ibarra *et al.* (2010); esto pudiera

ser debido a que en el período entre los 75 – 82 DDT se produce una mayor formación de tallos, hojas, flores y frutos, lo que se traduce en una mayor cantidad de biomasa.

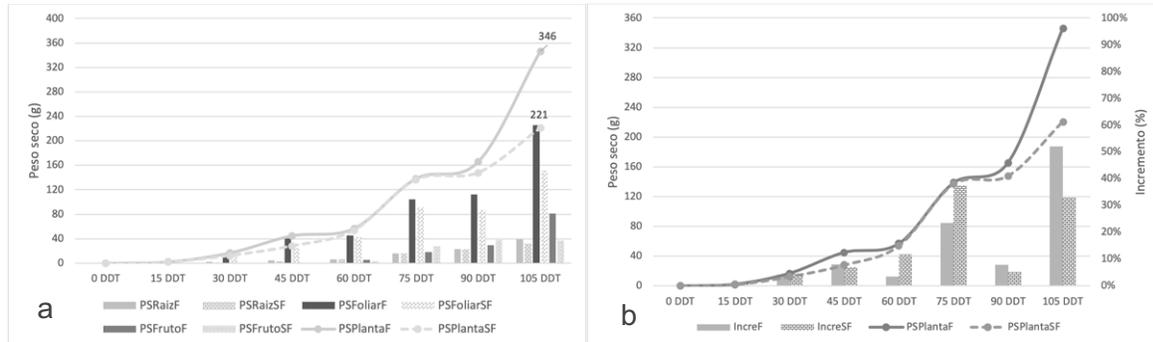


Figura 1-1: Cantidad de (a) materia seca y (b) su distribución en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.), tipo tabasco Var. Amazon. F: Fertilizado SF: Sin Fertilizar. PS: peso seco. Incre: Incremento.

Cuando se analizaron los contenidos de materia seca, se observó que a los 105 DDT habían diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.001$) entre las dos condiciones experimentales, es decir, en esta época las plantas fertilizadas de ají producen el 52% de su biomasa, se presentó un 19% adicional con relación a las plantas no fertilizadas, lo cual permitió conseguir $125 \text{ g.planta}^{-1}$ (2.6 ton.ha^{-1}) adicionales de materia seca en las plantas fertilizadas, hecho beneficioso para el desarrollo de las plantas de Ají tipo tabasco Var. Amazon, demostrando la necesidad de aplicar planes de fertilización en las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo, para cubrir los requerimientos de las plantas. Estos resultados se correlacionan con los encontrados por Mali, Naik et al. (2019); Mali, Santosh et al. (2017) quienes demostraron que la fertirrigación influye en el rendimiento de los cultivos, estos autores recomiendan que, en las etapas iniciales del cultivo se deben utilizar dosis bajas para evitar la pérdida de los nutrientes y que las dosis deben ser mayor en la etapa de la cosecha, en este sentido, los autores recomiendan que las mayores dosis del fertilizante deben ser suministradas entre la octava y la décimo tercera semana del cultivo, es decir, al inicio de la etapa reproductiva de la planta.

1.5.2 Extracción y distribución de nutrientes en plantas

En la Figura 1-2, con respecto a la absorción de nutrientes del cultivo de Ají (*C. frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon, se encontraron los siguientes valores en las plantas, de acuerdo a un orden decreciente de extracción, tanto de los elementos mayores y

secundarios (g.planta^{-1}) de 13.2 de K^+ , 10.15 de N , 4.65 de Ca^{++} , 2.48 de Mg^{++} , 1.61 de S y 1.29 de P , estos valores son superiores a los reportados por (Azofeifa & Moreira, 2005; Charlo *et al.*, 2012; Romero-Lozada *et al.*, 2017); seguido de los micronutrientes en la Figura 1-3 (mg.planta^{-1}) 156.89 de Fe^{++} , 20.19 de B , 11.5 de Mn^{++} , 7.49 de Zn^{++} y 3.97 de Cu^{++} , que a su vez también son más elevados que los determinados por Charlo *et al.* (2012).

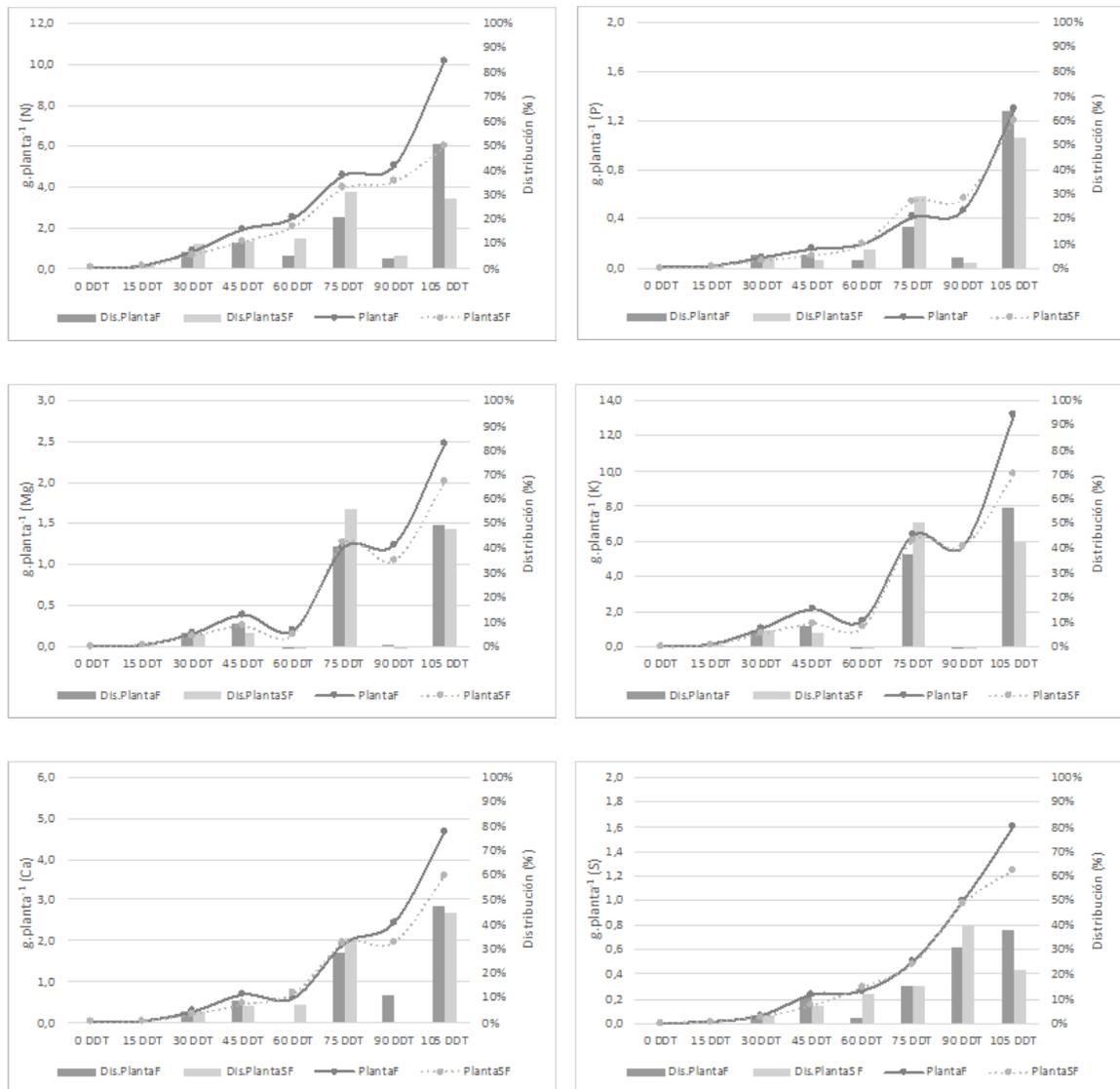
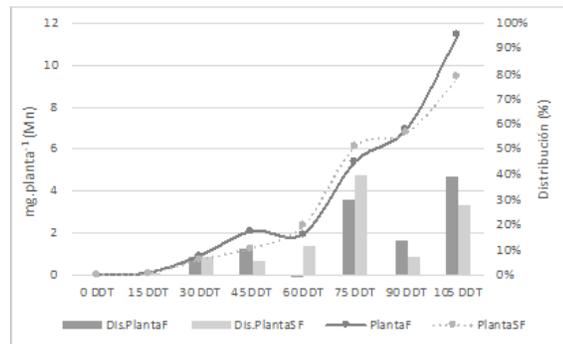
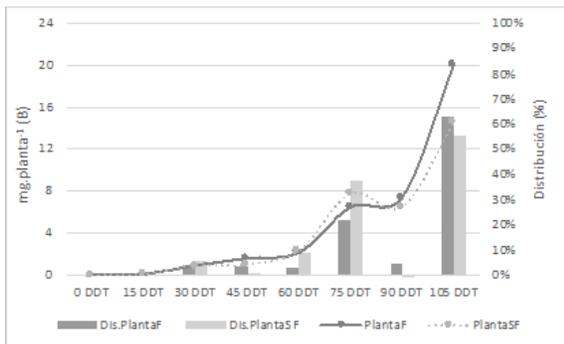
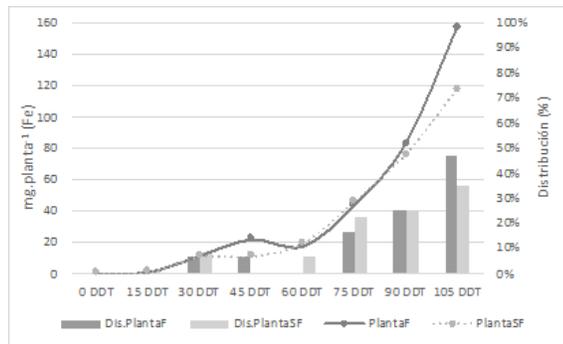
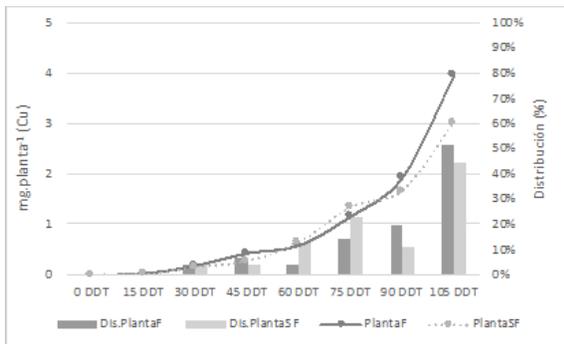


Figura 1-2: Curvas de extracción y distribución de nutrientes g.planta^{-1} de N , P , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y S , en plantas de Ají tipo tabasco Var. Amazon, tratamientos con F: Fertilizado, SF: Sin Fertilizar, Dis: Distribución. DDT: días después del trasplante.

El incremento de biomasa en las diferentes épocas de muestreo (Figura 1-1b), se encuentran relacionadas con la extracción de elementos mayores y secundarios (Figura 1-2), en las plantas fertilizadas se observa una mayor extracción de nutrientes a los 75 DDT y 105 DDT, en los elementos N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ con excepción de S, el cual presento una extracción gradual. Al mismo tiempo en los micronutrientes (Figura 1-3) para los elementos Mn⁺⁺, Zn⁺⁺ y B, por otro lado, el Fe⁺⁺ y Cu⁺⁺ presentan el mismo comportamiento del S. Rawat et al. (2018), sugiere que el Cu⁺⁺ se une al S en el suelo formando CuSO₄ y esto favorece su transporte desde la raíz hasta el interior de la planta, por ello, se eleva el contenido de S. A los 105 DDT es la época (P≤0.001) donde se incrementa la extracción de nutrientes en las plantas fertilizadas con un 50.6% de N, 63.6% de P, 56.6% de K⁺, 47.5% de Ca, 49.6% de Mg⁺⁺, 37.9% de S, 47.1% de Fe⁺⁺, 39.5% de Mn⁺⁺, 51.4% de Cu⁺⁺, 46.6% de Zn⁺⁺ y 63.2% de B de la extracción total de cada elemento.



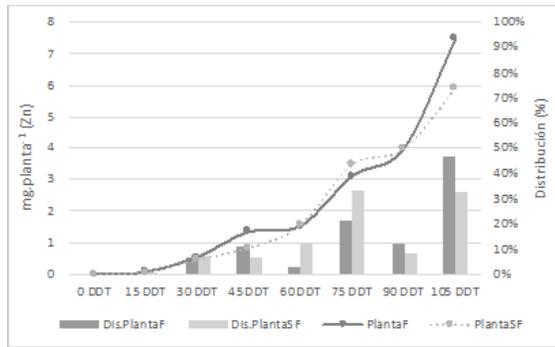


Figura 1-3: Curvas de extracción y distribución de nutrientes mg.planta^{-1} de Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y B, en plantas de ají tipo tabasco Var. Amazon, tratamientos con F: Fertilizado, SF: Sin Fertilizar, Dis: Distribución. DDT: días después del trasplante.

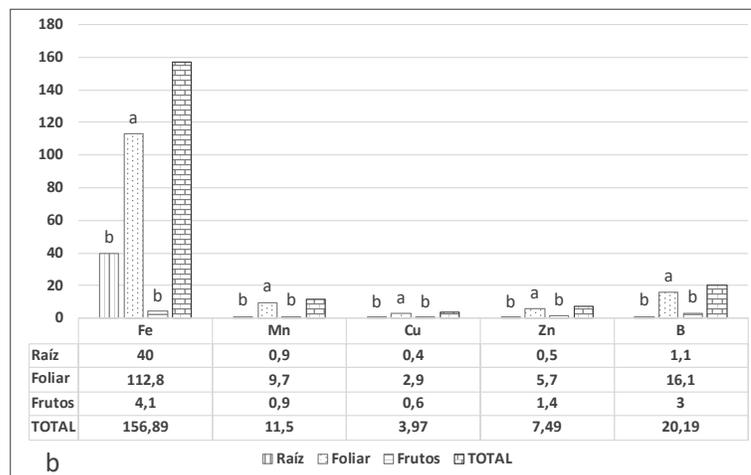
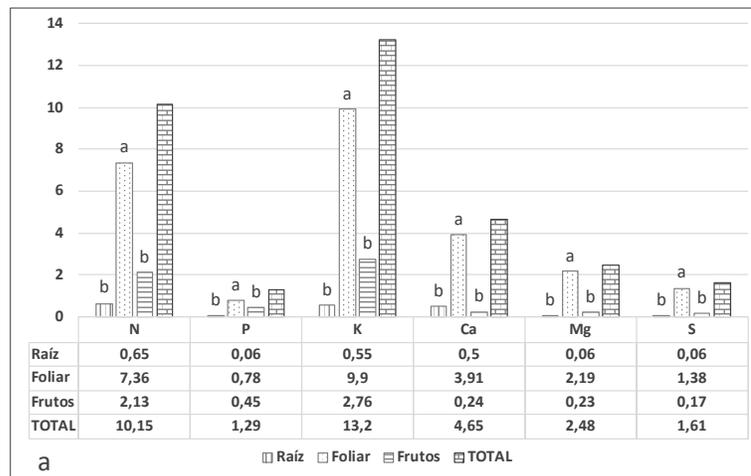


Figura 1-4: Distribución de nutrientes en órganos de plantas de Ají tipo tabasco Var. Amazon de elementos (a) mayores y secundarios N, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , S (g.planta^{-1}); y (b) micronutrientes, Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , B, Fe^{2+} (mg.planta^{-1}). Valores con letras distintas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.001$).

La distribución de nutrientes en las plantas fertilizadas en cada órgano se observa en la Figura 1-4a y Figura 1-4b. Los contenidos de cada elemento se encuentran en promedio en la parte foliar 77%, frutos 15% y raíces 8.0%. Los nutrientes fueron absorbidos en el siguiente orden decreciente, a nivel foliar los elementos mayores y secundarios fue K>N>Ca>Mg>S>P y micronutrientes Fe>B> Mn > Zn > Cu; en los frutos K>N>P>Ca>Mg>S y Fe>B>Zn>Mn>Cu; y en las raíces N>K>Ca>S>Mg> P y Fe>B>Mn>Zn>Cu. Se observó que la mayor cantidad de nutrientes se concentran en la parte foliar ($p \leq 0.001$) lo cual se encuentra muy relacionado a los contenidos de materia seca producidos (Figura 1 1b), estos resultados coinciden con los presentados por Ramírez-Ibarra (2017), quien indico que la extracción de nutrientes en las plantas de *Capsicum* spp, es decreciente y se da en el siguiente orden K > N> P, por su parte Salazar-Jara (2016), también indica que el orden de extracción de los nutrientes es decreciente en el orden K > N > Ca > Mg > P y lo mismo en Azofeifa & Moreira (2005; 2008), a diferencia del P. En los micronutrientes los resultados coinciden con los reportados por Charlo et al. (2012), quien indico que la extracción en las plantas es decreciente en el orden Fe > Mn > Zn > Cu, a diferencia del B.

1.5.3 Extracción de nutrientes x ton de fruto

En la Tabla 1-3, se observa que las plantas que fueron fertilizadas obtuvieron un rendimiento de 12.356 kg.ha⁻¹, empleando las siguientes cantidades de los nutrientes: 275 kg de K⁺, 211.45 kg de N, 96.8 kg de Ca⁺⁺, 51.67 kg de Mg⁺⁺, 33.54 kg de S, 27.3 kg de P, 3.27 kg de Fe⁺⁺, 0.24 kg de Mn⁺⁺, 0.42 kg de B, 0.16 kg de Zn⁺⁺ y 0.08 kg de Cu⁺⁺, mientras que las plantas que no fueron fertilizadas tuvieron un rendimiento de 8.233 kg.ha⁻¹, comparativamente se produjo un incremento del 50.1%, estos rendimientos también se consideran altos al compararlos con los reportados por Romero Lozada et al. (2017), los cuales obtuvieron un 21.2% menos en la producción de frutos de Ají tipo tabasco.

Tabla 1-3: Extracción de nutrientes para producir una tonelada de fruto de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon

Tratamientos	kg.ton ⁻¹						g.ton ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
NoFer	15.08 ^a	3.04 ^a	24.85 ^a	9.06 ^a	5.11 ^a	3.16 ^a	296.5 ^a	23.9 ^a	7.6 ^a	14.9 ^a	37.1 ^a
Fer	17.11 ^a	2.18 ^b	22.26 ^a	7.84 ^a	4.18 ^a	2.71 ^a	264.5 ^a	19.4 ^a	6.7 ^a	12.6 ^a	34.0 ^a

Valores dentro de la misma columna con letras distintas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0.001$). No Fer: no fertilizadas. Fer: fertilizadas

En la extracción de los elementos nutricionales se observan solo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.001$) para el P en las plantas no fertilizadas, esto es respaldado por Abreu et al. (2018), quien indica que estas diferencias están relacionadas a la importancia del fósforo, un mineral imprescindible para el metabolismo de las plantas, implicado en una variedad de procesos fundamentales para el desempeño de la planta: transferencia de energía, fotosíntesis, metabolismo de los azúcares y el almidón y, en el transporte de nutriente hacia la planta esto sugiere que en las plantas no fertilizadas se capta y traslada una mayor cantidad del macronutriente a fin de brindar el aporte nutrimental necesario para la planta.

La extracción de N es mayor en las plantas fertilizadas, lo cual está relacionado con la producción de materia seca producida; en los demás elementos se presenta un mejor aprovechamiento de los nutrientes en las plantas fertilizadas al requerir menos cantidades de nutrientes para producir una tonelada de fruto fresco. Estos resultados comparados con los reportados por Romero Lozada et al. (2017), muestran una menor extracción de nutrientes para producir la misma cantidad de biomasa, esto implica un mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte de las plantas al tener una mayor distribución de los nutrientes. El potasio es un elemento importante pues controla el crecimiento tanto de las plantas como de sus frutos, contribuye a producir una mayor cantidad de azúcares incrementando a su vez la materia seca, pero puede presentar un efecto variable de acuerdo al tipo de planta (Hu et al., 2016). Cuando existe una alta disponibilidad de N, un adecuado balance de la relación N/K^+ garantiza un buen rendimiento, controlando alteraciones fisiológicas tanto a nivel de la planta como del fruto (Hernández Díaz et al., 2009)

Las cantidades extraídas para los elementos Ca^{++} , Mg^{++} y S, se consideran altas en comparación a las reportadas para la variedad *C. annuum* por (Azofeifa & Moreira, 2005, 2008; Charlo et al., 2012; Valentín-Miguel et al., 2013). De igual manera se presenta en los micronutrientes en comparación con lo reportado por (Charlo et al., 2012) en el Híbrido Eppo, esto permite identificar que la variedad *C. frutescens* L. requiere de mayores cantidades en comparación a los antecedentes de la variedad *C. annuum*.

1.6 Conclusiones

Se encontró que en el cultivo de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon tienen una demanda y patrones de distribución de nutrientes diferentes a las reportadas en la literatura para otras especies del género *Capsicum spp*, donde para producir una tonelada de fruto extrae en elementos mayores y secundarios (kg.ton⁻¹) 17.11 de N, 2.18 de P, 22.26 de K⁺, 7.84 de Ca⁺⁺, 4.18 de Mg⁺⁺, 2.71 de S; y en micronutrientes (g.ton⁻¹) 264.5 de Fe⁺⁺, 19.4 de Mn⁺⁺, 6.7 Cu⁺⁺, 12.6 de Zn⁺⁺ y 34 de B, siendo una menor cantidad de NPK que lo reportado por otros autores. Al mismo tiempo los nutrientes se acumulan en orden decreciente en el tejido foliar > frutos > raíces, obtenido el mayor incremento en los contenidos de materia seca a los 105 DDT, correlacionándose con la extracción y distribución de los elementos N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Mn⁺⁺, Zn⁺⁺ y B.

1.7 Bibliografía

- Abreu, E., Araujo, E., Rodríguez, S., Valdivia, A., Fuentes, L. & Pérez, Y. (2018). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annuum* L. Revista SCIELO, 45(1): 52-61.
- Azofeifa, Á., & Moreira, M. A. (2005). Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* CV. UCR 589) en alajuela, costa rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 77-84.
- Azofeifa, Á., & 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(1), 19-29.
- Charlo, H. C. de O., Oliveira, S. F. de, Vargas, P. F., Castoldi, R., Barbosa, J. C., & Braz, L. T. (2012). Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. *Horticultura Brasileira*, 30(1), 125-131. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362012000100021>

- Combatt, E., Pérez, D. J., & Jarma-Orozco, A. (2018). Efecto del nitrógeno y el potasio sobre el intercambio gaseoso y la distribución de biomasa en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 192–201. <http://orcid.org/0000-0001-9041-5856>
- Haleh, T. R., Pezhman, M., & Foruzandeh, S. (2013). The effect of nitrogen fixation and phosphorus solvent bacteria on growth physiology and vitamin c content of capsicum annum l. *iranian journal of plant physiology* 3(2), 673-682. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=379160>
- Hernández Díaz, M. I., Chailloux Laffita, M., Moreno Placeres, V., Ojeda Veloz, A., Salgado Pulido, J. M., & Bruzón Guerrero, O. (2009). Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate en suelo Ferralítico Rojo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(5), 429–436. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000500001>
- Hu, W., Zhao, W., Yang, J., Oosterhuis, D. M., Loka, D. A., & Zhou, Z. (2016). Relationship between potassium fertilization and nitrogen metabolism in the leaf subtending the cotton (*Gossypium hirsutum* L.) boll during the boll development stage. *Plant Physiology and Biochemistry*, 101, 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.01.019>
- Inzunza-Ibarra, M. A., Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E. A., & Román-López, A. (2010). Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego TT - Nutrient extraction and yield of jalapeño pepper under mulch plastic and irrigation levels. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 211-218.
- Lima, M. F., de Carvalho, S. I. C., Ragassi, C. F., Bianchetti, L. B., Faleiro, F. G., & Reifschneider, F. J. B. (2017). Characterization of a pepper collection (*Capsicum frutescens* L.) from Brazil. *Embrapa Hortaliças-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Mali, S. S., Naik, S. K., Jha, B. K., Singh, A. K., & Bhatt, B. P. (2019). Planting geometry and growth stage linked fertigation patterns: Impact on yield, nutrient uptake and water productivity of Chilli pepper in hot and sub-humid climate. *Scientia*

Horticulturae, 249(February), 289-298.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.003>

- Mali, Santosh S., Jha, B. K., Singh, R., & Meena, M. (2017). Bitter gourd response to surface and subsurface drip irrigation under different fertigation levels. *Irrigation and drainage*, 66(4), 615–625. <https://doi.org/10.1002/ird.2146>
- Marulanda, M. A. C., Mejía, T. M. S., Ibarra, E. D. M., García, D. M. A., & Cayón, S. D. G. (2016). Respuesta del ají (*Capsicum annum* L. Var. Cayena) a concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en Palmira, Valle Del Cauca, Colombia. *Rev. Colomb.investig.agroindustriales*. 2016, 40-48.
- Nieves-González, F., Alejo-Santiago, G., Luna-Esquivel, G., Lemus-Flores, C., Juárez-López, P., & Salcedo-Pérez, E. (2015). Extracción y requerimiento de fósforo en chile habanero (*Capsicum chinense* JACQ.) «BIG BROTHER». *Interciencia*, 40(4), 282-286. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3462.6088>
- Puentes-Parámo, 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.
- Rawat, S., Pullagurala, V. L., Hernandez-Molina, M., Sun, Y., Niu, G., Hernandez-Viezcas, J. A., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2018). Impacts of copper oxide nanoparticles on bell pepper (*Capsicum annum* L.) plants: A full life cycle study. *Environmental Science: Nano*, 5(1), 83–95. DOI: 10.1039/C7EN00697G
- Romero-Lozada, M. del P., Puentes-Paramo, 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. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5809>.
- Roy, S. S., Khan, M. S. I., & Pall, K. (2011). Nitrogen and phosphorus efficiency on the fruit size and yield of capsicum. *Journal of Experimental Sciences*.

- Salazar-Jara, F. I., & Juárez-López, P. (2013). Requerimiento Macronutricional en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). CONACYT. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/724>
- Salazar-Jara., Juárez-López.Porfirio, Bugarín-Montoya, R., Alejo-Santiago, G., García-Paredes, J. D., & Cruz-Crespo, E. (2016). Extracción de macronutrientes en chile (*Capsicum annuum* L.) tipo húngaro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8), 2055. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.138>
- Souza, V. de, García, M. A., Castro, G. R. de, Garzón, Y. M., & Caetano, C. M. (2017). Cytogenetic evaluation of chili (*Capsicum* spp., Solanaceae) genotypes cultivated in Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 66(4), 612–617. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v66n4.59162>
- Valentín-Miguel, M. C., Castro-Brindis, R., Rodríguez-Pérez, J. E., & Pérez-Grajales, M. (2013). Macronutrient extraction in pepper 'chile de agua' (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(4), 71-78. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.013>
- Vijayakumar, G., Tamilmani, D., & Selvaraj, P. K. (2010). Maximizing Water and Fertilizer Use Efficiencies under Drip Irrigation in Chili Crop. *Journal of Management and Public Policy*, 2(1), 85–95.
- Wang, N., Qi, H., Su, G., Yang, J., Zhou, H., Xu, Q., Huang, Q., & Yan, G. (2016). Genotypic variations in ion homeostasis, photochemical efficiency and antioxidant capacity adjustment to salinity in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(3), 240–246. <https://doi.org/10.1080/00380768.2016.1172>

2. Efecto de *Fusarium oxysporum* Schltdl., en la extracción de nutrientes en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon

Julio César Cárdenas Lindarte, Carlos German Muñoz Perea, Mario Augusto García Dávila, Juan Carlos Menjivar Flores.

2.1 Resumen

Colombia es uno de los países Latinoamericanos productores de Ají (*Capsicum spp.*), entre ellos el Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco, considerado de gran importancia en el desarrollo agrícola en algunas regiones a nivel nacional. Existen diferentes factores que disminuyen su producción, entre estos los problemas fitosanitarios. Dentro de los patógenos que causan la enfermedad de la planta se encuentran los hongos pertenecientes al género *Fusarium spp.*, una de las especies más comúnmente aislada *Fusarium oxysporum* Schltdl. Se evaluó el efecto de *Fusarium oxysporum* Schltdl., en la extracción de nutrientes en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon. Previo a la siembra se realizó un análisis químico del suelo para establecer el programa de fertilización. Para evaluar el efecto de *F. oxysporum* Schltdl., se realizó una suspensión de esporas obtenidas a partir de aislados puros monospóricos cultivados en PDA que fueron inoculadas con una frecuencia semanal después de establecido el cultivo. Se hizo un diseño de franjas con los cuatro tratamientos a los que fueron sometidos los cultivos y tres repeticiones. Se llevó a cabo la comparación de medias a través de la prueba de Tukey. Se observó que la presencia de *F. oxysporum* Schltdl., tiene un efecto en el proceso de absorción, el cual aumenta el contenido de los nutrientes, principalmente de Nitrógeno, Fósforo, Manganeso, Zinc y Boro; y en menor proporción Potasio, Calcio,

Magnesio, Azufre, Hierro y Cobre ($p \leq 0.05$), sin embargo, el rendimiento del cultivo disminuye en aproximadamente de un 24% a 54% en presencia del patógeno.

Palabras clave: Extracción de nutrientes, Ají tabasco, *Capsicum frutescens* L., *Fusarium oxysporum* Schltld.

2.2 Abstract

Colombia is one of the Latin American countries that produce Chili (*Capsicum* spp.), Including Chili (*Capsicum frutescens* L.) type tabasco, considered of great importance in agricultural development in some regions at the national level. There are different factors that reduce its production, including phytosanitary problems. Among the pathogens that cause plant disease are the fungi belonging to the genus *Fusarium* spp, one of the most commonly isolated species *Fusarium oxysporum* Schltld. The effect of *Fusarium oxysporum* Schltld., In the extraction of nutrients in Chili plants (*Capsicum frutescens* L.) type tabasco Var. Amazon. Prior to sowing, a chemical analysis of the soil was carried out to establish the fertilization program. To evaluate the effect of *F. oxysporum* Schltld., A spore suspension obtained from pure monosporic isolates cultured on PDA that were inoculated with a weekly frequency after establishing the culture was made. A strip design was made with the four treatments to which the cultures were subjected and three repetitions. The comparison of means was carried out through the Tukey test. It was observed that the presence of *F. oxysporum* Schltld., Has an effect on the absorption process, which increases the content of nutrients, mainly Nitrogen, Phosphorus, Manganese, Zinc and Boron; and to a lesser extent Potassium, Calcium, Magnesium, Sulfur, Iron and Copper ($p \leq 0.05$), however, the crop yield decreases by approximately 24% to 54% in the presence of the pathogen.

Keywords: Nutrient uptake, Tabasco chili pepper, *Capsicum frutescens* L., *Fusarium oxysporum* Schltld..

2.3 Introducción

El Ají (*Capsicum spp.*) es una especie originaria de América, actualmente es consumido tanto en forma de productos frescos, secos o procesados. El interés por el género *Capsicum spp.*, ha incrementado en virtud de la diversidad en las características de plantas y frutos, que hacen que este cultivo sea extremadamente versátil y adecuado para múltiples usos (FAOSTAT, 2018; Souza *et al.*, 2017). Dentro de las especies representantes de este género se encuentra el Ají tabasco (*Capsicum frutescens L.*), esta especie se caracteriza por poseer un elevado contenido mineral (es rico en calcio, potasio, hierro y fósforo) y vitamínico (Tejada-Tovar, Villabona-Ortiz, y Granados-Conde, 2017). A nivel mundial, el cultivo de Ají representa una de las siete hortalizas más cultivadas, en Latinoamérica, Colombia es uno de los principales productores de esta hortaliza (DANE, 2015).

Distintos elementos pueden modificar el desarrollo de los cultivos de Ají (*Capsicum spp.*) y consecuentemente, la productividad, entre estos tenemos: déficit o exceso hídrico, de fertilizantes, entre otros. Adicionalmente, la producción no depende exclusivamente de la fertilidad de los suelos, sino que depende de factores relacionados a la constitución genética de la planta y del medio ambiente y, de su interrelación (Puentes-Páramo, Menjivar-Flores, & Aranzazu-Hernández, 2014). Un uso apropiado de nutrientes se correlaciona con aumento de su absorción y la disminución de las pérdidas (Marouani & Harbeoui, 2016).

Entre los factores que limitan la disponibilidad de los nutrientes tenemos: temperatura, humedad relativa, exceso o déficit hídrico, relaciones de sinergismo y antagonismo entre elementos, presencia de sustancias tóxicas, textura o estructura, grado de compactación del suelo, drenajes, movimiento de los nutrientes, modificación de la rizósfera, pH, CIC, condiciones redox y enfermedades vasculares (Baligar & Fageria, 2015; Jaramillo-Noreña *et al.*, 2014), este último factor para el cultivo de Ají al igual que el de otras hortalizas, es una de las principales limitantes que afectan su desarrollo productivo a gran escala (Li *et al.* 2018).

Los patógenos del suelo causantes de enfermedades vasculares, de mayor importancia, son: *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum*, *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani* y *Cercospora capsici* (Velásquez-Valle & Reveles-Torres, 2017) Pero también, el desarrollo de esta enfermedad puede ser generada por un solo tipo de patógeno como

F. oxysporum, el cual se presenta en los diferentes estados fenológicos de la planta, produciendo marchitamiento que disminuye el crecimiento y en estados avanzados la muerte (Srinivas, Devi, *et al.*, 2019; Thaines Bodah, 2017), en el territorio nacional la enfermedad se presenta tanto en climas cálidos como fríos donde se desarrolla los cultivos de pimiento y ají, generando pérdidas superiores al 40% (Jaramillo-Noreña *et al.*, 2014).

Un estado nutricional deficiente en el huésped podría favorecer la aparición y el desarrollo del patógeno condiciones de aplicaciones excesivas de fertilizante pueden acelerar su desarrollo y ocasionar daños más severos en los cultivos, al no poderse controlar los factores bióticos y abióticos donde se desarrolla el cultivo, estimulan el crecimiento de las plantas generando una mayor resistencia estructural (Srinivas *et al.*, 2019).

La mayor limitante en la absorción de los nutrientes para el cultivo son los daños iniciales ocasionados por *F. oxysporum* durante el proceso de infección, el patógeno después de ingresar por las raíces inicia su proliferación generando obstrucciones en los vasos del xilema (Di, Takken & Tintor, 2016), produciendo disminución del flujo de agua y nutrientes, los cuales generan un marchitamiento progresivo en las plantas (Velarde-Félix *et al.*, 2018), afectando considerablemente la extracción de nutrientes, los rendimientos y el desarrollo de otros órganos como tallos, flores y frutos. En la actualidad, es ampliamente conocido el daño que puede generar *F. oxysporum*, en los rendimientos de cultivos de Ají (*Capsicum spp*), sin embargo, se desconoce el efecto que puede tener el patógeno en la extracción de nutrientes en Ají tipo tabasco. Por esta razón, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de *Fusarium oxysporum* Schldl., en la extracción de nutrientes en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon.

2.4 Materiales y métodos

El estudio se realizó en las instalaciones de AGROSAVIA ubicado en las siguientes coordenadas geográficas 3°30'54.0"N 76°18'47.4"W, en el municipio de Palmira del Valle del Cauca. Posee las siguientes características agroecológicas: precipitaciones 1.045 mm/año, temperaturas medias de 23.8°C con una altitud de 1.009 m.s.n.m, con un suelo clasificado como Vertic Haplustolls, al cual se le realizó un análisis de suelos para determinar sus características químicas (Tabla 2-1).

Tabla 2-1: Análisis de las propiedades químicas de suelo.

dS/m		%	Cmol/Kg				mg/Kg						
pH	C.E	N	K	Ca	Mg	C.I.C	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
6.51	0.73	0.19	0.75	12.3	6.3	28.1	130	18	47.8	57.9	5.0	9.1	0,70

Se utilizaron las siguientes Técnicas/Extractantes para la determinación de las variables químicas: Pasta de saturación/Conductimétrico: pH, Conductividad Eléctrica (C.E); Pasta de saturación/Gravimétrico: Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C); Sin. Acetato de Amonio/EEA: Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺; Sln. Ácida Mehlich I/EAA: Fe⁺⁺, Mn⁺⁺, Cu⁺⁺, Zn⁺⁺; Sln. Fosfato Monobásico de Calcio/Colorimétrico: B; Sln. Bray II/Colorimétrico: P; Sln. Fosfato Monobásico de Calcio/Turbidimétrico: S. La concentración de cada nutriente, se estimó con base en el peso seco de las plantas.

Las plantas de Ají (*C. frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon fueron germinadas, a los 45 días se hizo la siembra realizando un trazado de surcos a una distancia de 1.2 m entre calle y 0.40 m entre plantas para obtener una densidad de 20.833 plantas.ha⁻¹. En base al análisis químico realizado al suelo, se estableció el programa de fertilización para que aportara la cantidad de nutrientes necesarios para obtener un rendimiento de 12 ton.ha⁻¹, para el cálculo de la cantidad de elementos mayores (NPK) se tomaron las recomendaciones establecidas por Romero-Lozada et al. (2017), para los elementos secundarios (Ca⁺⁺,Mg⁺⁺,S) lo establecido por Azofeifa & Moreira (2008), para los elementos menores (Fe⁺⁺, Zn⁺⁺, Cu⁺⁺, Mn⁺⁺,B) lo establecido por Charlo et al. (2012). Los nutrientes (Tabla 2-2) fueron aplicados en 14 fracciones con una frecuencia semanal, la distribución porcentual de los nutrientes por aplicación fue de 4,16% (Primeras cuatro aplicaciones) y 8,33% (aplicaciones siguientes).

Tabla 2-2: Nutrientes aplicados en kg. ha⁻¹ en cultivo de Ají (*Capsicum frutescens* L.), tipo tabasco Var. Amazon

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
48	6.02	63.35	25.4	5.79	3.72	0.14	0.07	0.01	0.11	0.06

Las plantas fueron sometidas a cuatro condiciones experimentales, cada tratamiento se evaluó por triplicado (Tabla 2-3).

Tabla 2-3: Tratamientos evaluados en condiciones de campo en el cultivo de Ají (*Capsicum frutescens* L.), tipo tabasco Var. Amazon.

TRATAMIENTO	
T1	No fertilizado-Inoculado (NoFer-Ino)
T2	Fertilizado-Inoculado (Fer-Ino)
T3	No fertilizado-No inoculado (NoFer-NoIno)
T4	Fertilizado-No Inoculado (Fer- No Ino)

Para evaluar el efecto de *F. oxysporum* Schltdl., se realizó el mismo procedimiento de Clavijo (2014) “iniciando con una suspensión de esporas obtenidas a partir de aislados puros monospóricos cultivados en PDA a 28°C de 7 a 10 días. A estos cultivos se adicionó 20 mL de agua destilada estéril y se hizo un raspado superficial con una espátula estéril para desprender las conidias, se pasó por un filtro para separar las conidias del micelio y se ajustó a una concentración de 1×10^6 conidias/mL con ayuda de una cámara de Neubauer”, luego en el campo se realizaron 3 aplicaciones de la solución del patógeno con una frecuencia semanal después de establecido el cultivo.

Para evaluar el contenido nutricional del material vegetal se tomaron muestras a los 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 105 días después del trasplante (DDT), según lo realizado en Azofeifa & Moreira (2008). La materia seca se determinó después de deshidratarse el material vegetal a una temperatura de 70°C por un periodo de 48 horas, según lo establecido por Salazar-Jara et al. (2016). Luego se determinó el contenido de los siguientes elementos: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K^+), Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Azufre (S), Hierro (Fe^{++}), Manganeso (Mn^{++}), Cobre (Cu^{++}), Zinc (Zn^{++}) y Boro (B).

La información se analizó con el paquete estadístico SAS 9.3 en la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, utilizando un diseño de franjas con los cuatro tratamientos y tres repeticiones (Tabla 2-3), para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey.

2.5 Resultados y discusiones

2.5.1 Interacción Fertilización x Inoculo

Cuando se evaluó solo el efecto del tratamiento de fertilización de los suelos en la extracción de nutrientes en el cultivo de Ají tabasco, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. No obstante, las plantas fertilizadas captaron mayores concentraciones en los elementos N (22,43 kg.ton⁻¹), Ca⁺⁺ (11,1 kg.ton⁻¹) y Mg⁺⁺ (6,3 kg.ton⁻¹), por el contrario, el resto de elementos mostraron concentraciones más elevadas en las plantas no fertilizadas (Tabla 2-4). Estos resultados se correlacionan con los reportados por otros autores (Charlo *et al.*, 2012; Puentes-Páramo *et al.*, 2014; Romero-Lozada *et al.*, 2017).

Tabla 2-4: Promedios de extracción nutrientes en cultivo de Ají (*C. frutescens* L.), tipo tabasco Var. Amazon fertilizado y no fertilizado.

VARIABLES	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Fer	22.43 ^a	2.47 ^a	27.5 ^a	11.1 ^a	6.3 ^a	3.43 ^a	344.7 ^a	30.4 ^a	8.13 ^a	17 ^a	45.2 ^a
NoFer	20.78 ^a	4.54 ^a	30.1 ^a	10.2 ^a	5.8 ^a	3.89 ^a	391.8 ^a	32.2 ^a	9.0 ^a	19.9 ^a	47.6 ^a

Variables: Fer: Plantas fertilizadas. NoFer: Plantas no fertilizadas. Valores dentro de la misma columna con distintas letras, presentan diferencias estadísticamente significativas Tukey ($p \leq 0.05$). Unidades de medida N, P, K, Ca, Mg, S en kg.ton⁻¹ y Fe, Mn, Cu, Zn, B en g.ton⁻¹.

Tal y como se aprecia en la Tabla 2-5, cuando se analizó el promedio de extracción de nutrientes en las plantas de Ají tabasco (*C. frutescens* L.) que fueron inoculadas con *F. oxysporum* comparadas con aquellas que no fueron infectadas se observó una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) para los elementos: N (26,8 vs. 16,4), P (4,35 vs. 2,6), Mn⁺⁺ (40,57 vs. 22,10), Zn⁺⁺ (22,9 vs. 14,0) y B (57,6 vs. 36,4), respectivamente.

En este sentido, se ha demostrado que el contenido y forma del nitrógeno tiene un efecto en el desarrollo de la enfermedad directa o indirectamente, su forma amoniacal (NH₄⁺) es la que más aumenta los daños de *F. oxysporum* en cultivos como Tomate, Maní, Espárragos, Arveja generando pudriciones de raíz o marchitamiento de las plantas; caso contrario, el nitrógeno en su estado nítrico (NO₃⁻) que reduce los daños del patógeno en los cultivos de rábano y crisantemo (Huber & Thompson, 2007). Esto puede relacionarse con las formas del nitrógeno suministrado como fuentes de 8.2% NH₄⁺, 4.1% NO₃⁻ y 87.7%

ureico, ya que durante el proceso de transformación de urea pudo haber presentado en una primera instancia mayores concentraciones de nitrógeno amoniacal en su proceso de amonificación, que pudiera beneficiar el desarrollo de *F. oxysporum* Schldtl, al presentar desequilibrios en las formas del nitrógeno (Huber & Thompson, 2007), facilitan el incremento de aminoácidos libre disponibles para la nutrición del patógeno (Walters & Bingham, 2007) y en consecuencia, afectar el rendimiento de las plantas Tabla 2-7 lo que pudiera explicar una mayor extracción de nutrientes en presencia del microorganismo.

Con referencia a los contenidos de fósforo la mayor parte de la información en este tipo investigación presentan resultados contradictorios, donde varios autores coinciden en que el papel de P en la resistencia a enfermedades es variable y aparentemente inconsistente (Huber & Tompson, 2007; Dordas, 2009; Datnoff & Elmer, 2014; Gupta *et al.*, 2017), y sus contenidos óptimos del elemento puede estar más relacionados a los procesos de división celular, transferencia de energía y a la generación de nuevas raíces (Prabhu *et al.*, 2007).

Tabla 2-5: Promedios de extracción de nutrientes en cultivo de Ají (*C. frutescens* L.), tipo tabasco Var. Amazon inoculado y no inoculado con *Fusarium oxysporum* Schldtl.

VARIABLES	N ⁺	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Ino	26.8 ^a	4.35 ^a	33.6 ^a	12.8 ^a	7.38 ^a	4.31 ^a	449.4 ^a	40.57 ^a	9.84 ^a	22.9 ^a	57.6 ^a
InoNo	16.4 ^b	2.6 ^b	24.0 ^a	8.6 ^a	4.76 ^a	3.01 ^a	287.2 ^a	22.10 ^b	7.28 ^a	14.0 ^b	36.4 ^b

Variables: Ino: Plantas inoculadas. InoNo: Plantas no inoculadas. Valores dentro de la misma columna con distintas letras, presentan diferencias estadísticamente significativas Tukey ($p \leq 0.05$). ⁺ Unidades de medida de los elementos N, P, K, Ca, Mg, S en kg.ton⁻¹ y Fe, Mn, Cu, Zn, B en g.ton⁻¹.

Por otro parte, la mayor extracción de los micronutrientes Mn⁺⁺, Zn⁺⁺ y B en las plantas en presencia del patógeno están más relacionados al papel que cumplen estos elementos en la disminución de la enfermedad (Gupta *et al.*, 2017). El B participa sobre la estructura de la pared celular y permeabilidad de las membranas inhibiendo la penetración del patógeno (Dordas, 2008), al mismo tiempo mejoran el metabolismo del fenol que influye en los mecanismo de resistencia de la planta (Elmer & Datnoff, 2014), por su parte, el Zn⁺⁺ es cofactor de enzimas y contribuye a las estabilidad de la membrana (Huber & Weinmann, 2011), que en condiciones de deficiencias en las plantas, aumentan la salida de azúcares

que beneficia el desarrollo de los patógenos (Helfenstein *et al.*, 2015; Cabot *et al.*, 2019). A diferencia de los otros micronutrientes el Mn^{++} , tiene un efecto directo en el desarrollo y crecimiento del patógeno (Heckman *et al.*, 2003), lo que conlleva a que el mismo organismo desarrolle mecanismos para oxidar el Mn^{++} a formas no disponibles (Elmer & Datnoff, 2014; Datnoff & Elmer, 2018), esto ya que afecta dos de las funciones de gran importancia para el desarrollo del patógeno como la inhibición de la aminopeptidasa necesaria para el suministro de aminoácidos y la pectina metilesterasa, necesaria para que el organismo penetre en las paredes celulares de las plantas (Marschner, 1995). El Mn^{++} también permite aumentar la producción de fenoles solubles, que hace parte de los mecanismos de defensas contra los patógenos fúngicos (Fernando *et al.*, 2009; Siddiqui *et al.*, 2015), y mejora la composición de la pared celular, a través de la biosíntesis de lignina y suberina, que hacen parte de los compuestos de las barreras bioquímicas (Hammerschmidt & Nicholson, 2000).

2.5.2 *Fusarium oxysporum* Schltdl., en la extracción de nutrientes

La extracción de los micronutrientes es un mecanismo de resistencia de las plantas contra los patógenos, que en concentraciones adecuadas reduce significativamente las infecciones (Siddiqui *et al.*, 2015). Cuando se evaluó en conjunto la interacción de los dos factores, la fertilización e inoculación del *F. oxysporum* se observó que la planta infectada tiene una mayor demanda nutricional que se ve reflejada a partir de la extracción de todos los nutrientes evaluados, independientemente, si la planta era fertilizada o no (Tabla 2-6). Así tenemos que, en las plantas sometidas a las diferentes condiciones, el promedio de extracción en $kg \cdot ton^{-1}$ de N para cada tratamiento (T) fue de 26,0 para T1, 27,4 para T2, 15,3 en T3 y 17,4 en T4. Por lo cual, para este patógeno el nitrógeno es un factor limitante, en este sentido, Zhang *et al.* (2013), logró demostrar en un suelo de pH alcalino (7.4) una correlación negativa entre la gravedad de la enfermedad inducida por el patógeno y la presencia de nitrógeno en forma de NH_4^+ , a su vez Cao *et al.* (2016), observó que el nitrógeno en forma de NO_3^- se correlacionan positivamente con la enfermedad inducida por el patógeno, estos autores atribuyen este efecto al hecho de que el amoníaco induce un mayor acidez en el suelo, y en esas condiciones favorecen la disponibilidad no solo del N sino de otros nutrientes P, K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} , Mn^{++} , Cu^{++} y Zn^{++} , lo cuales afectarían el desarrollo del patógeno al no estar disponibles.

Tabla 2-6: Promedios de la extracción de nutrientes en cultivo de Ají (*C. frutescens* L.), tipo tabasco Var. Amazon.

Tratamientos ¹	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
T1	26.0 ^a	5.9 ^a	35.1 ^a	11.3 ^a	6.4 ^a	4.5 ^a	481.1 ^a	40.2 ^a	10.2 ^a	24.7 ^a	57.4 ^a
T2	27.4 ^a	2.7 ^a	32.2 ^a	14.2 ^a	8.3 ^a	4.0 ^a	417.8 ^a	40.8 ^a	9.4 ^a	21.1 ^a	57.7 ^a
T3	15.3 ^a	3.1 ^a	25.1 ^a	9.1 ^a	5.2 ^a	3.2 ^a	302.4 ^a	24.2 ^a	7.7 ^a	15.0 ^a	37.8 ^a
T4	17.4 ^a	2.2 ^a	22.8 ^a	8.0 ^a	4.3 ^a	2.7 ^a	271.5 ^a	19.9 ^a	6.8 ^a	12.9 ^a	34.8 ^a

* Diferencias significativas. 1 CME: Cuadrados medios del error; con 4 grados de libertad. T1: no fertilizado-inoculado, T2: fertilizado-inoculado, T3: no fertilizado- no inoculado, T4: fertilizado-no inoculado. Valores dentro de la misma columna con letras distintas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0.001$). Unidades de medidas en los elementos N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, S (kg.ton-1) y Fe⁺⁺, Mn⁺⁺, Cu⁺⁺, Zn⁺⁺, B (g.ton-1).

Así mismo, *F. oxysporum* Schltdl., necesita de altas cantidades de elementos como K⁺, Fe⁺⁺ y Mn⁺⁺. En este trabajo, se encontró que cuando las plantas de Ají tabasco eran infectadas con el patógeno los niveles de estos nutrientes incrementaban independientemente que fueran fertilizadas o no, en el caso del K⁺ (T1:35,1 vs T4:22,8), para Fe⁺⁺ (T1: 481,1 vs T4:271,5) y Mn⁺⁺ (T1:40,2 vs T4: 19,9). Se ha demostrado que niveles bajos de Fe⁺⁺ y Mn⁺⁺ tienen un efecto supresivo en el desarrollo del patógeno, estos dos elementos son indispensables para la biología del parásito, ya que actúan como cofactores de diversas enzimas, adicionalmente participan en el metabolismo del nitrógeno, otro elemento fundamental para *F. oxysporum*. Por otra parte, el patógeno emplea el Fe⁺⁺ para producir sideróforos que compiten con los sideróforos de la planta en la captura de este mineral, limitando de esa manera su disponibilidad (Dong *et al.* 2016; Datnoff & Elmer, 2018). Por su parte, Domínguez-Hernández *et al.* (2010), señala que una baja disponibilidad de K⁺ favorece la supresión de *Fusarium*.

2.5.3 Efecto de *Fusarium oxysporum* Schltdl., en rendimientos de Ají tipo tabasco Var. Amazon

El rendimiento de un cultivo constituye la principal evidencia de un apropiado manejo. En este orden de ideas, en la Tabla 2-7 se observa que, cuando las plantas de Ají tabasco (*C.*

frutescens L.) Var. Amazon son inoculadas con *F. oxysporum* Schltl., en ausencia de fertilizante se obtiene el menor rendimiento del cultivo expresado en ton.ha⁻¹ (T1: 5,7) seguido del tratamiento (T3: 8,2) en ausencia del inoculo, donde el rendimiento se va recuperando considerablemente a medida que se suministra fertilizante (T2: 9,4 y T4: 12,4), aún en presencia del inoculo. Sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa. Estos hallazgos están en concordancia con los encontrados en la literatura, donde se ha logrado establecer que la infección por *F. oxysporum* Schltl., en las especies de *Capsicum spp*, puede ser causante de daños o pérdidas del cultivo.

Tabla 2-7: Rendimientos promedios en ton. ha⁻¹ de fruto fresco en cultivo de Ají (*C. frutescens* L.), tipo tabasco Var. Amazon.

Tratamientos	Rendimientos (Ton.ha ⁻¹)
T1	5.7 ^a
T2	9.4 ^a
T3	8.2 ^a
T4	12.4 ^a

T1: no fertilizado-inoculado, T2: fertilizado-inoculado, T3: no fertilizado- no inoculado, T4: fertilizado-no inoculado. Valores dentro de la misma columna con letras distintas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.001$).

Se observa que para el cultivo de *Capsicum frutescens* L, las pérdidas son inferiores a los valores reportados en otras especies de *Capsicum spp*, los cuales pueden generar severidades que superan hasta un 40% de daños en los cultivo (Clavijo 2014; Tamayo y Jaramillo 2013; Lal *et al.*, 2017), esta reducción de pérdidas en los rendimientos se debe a la mayor resistencia del cultivo por la disponibilidad de nutrientes que permiten tener un mejor desarrollo de las plantas.

Por otra parte, las infecciones por hongos son una de las principales causas de podredumbre de las hortalizas aun también durante la etapa de comercialización lo que genera pérdidas económicas considerables (Medina-Romero *et al.*, 2017; Srinivas *et al.*, 2019) Por ello, es importante seguir buscar alternativas que permitan reducir las pérdidas por este tipo de patógenos, que sean de gran utilidad para el sector agrícola.

2.6 Conclusiones

La presencia de *Fusarium oxysporum* Schldl., en el cultivo de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon, altera el proceso de absorción y extracción de los nutrientes principalmente de nitrógeno, fósforo, manganeso, zinc y boro; y en menor proporción potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro y cobre. Al mismo tiempo, se ven afectados sus rendimientos, donde en ausencia del programa de fertilización e inoculado con *F. oxysporum* Schldl., presentó una disminución del 54% y con la implementación del plan de fertilización en presencia del inóculo de un 24%, en comparación a la condición ideal, es decir, cuando el cultivo recibe las dosis óptimas de fertilización en un ambiente libre del patógeno.

2.7 Bibliografía

- Azofeifa, Á., & 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(1), 19-29.
- Baligar, V. C., y N. K. Fageria. 2015. «Nutrient Use Efficiency in Plants: An Overview». Pp. 1-14 en *Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances*, editado por A. Rakshit, H. B. Singh, y A. Sen. New Delhi: Springer India.
- Cao, Yun, Jidong Wang, Huashan Wu, Shaohua Yan, Dejie Guo, Guangfei Wang, y Yan Ma. 2016. «Soil chemical and microbial responses to biogas slurry amendment and its effect on *Fusarium* wilt suppression». *Applied soil ecology* 107:116–123.
- Charlo, Hamilton César de O., Sueyde F. de Oliveira, Pablo F. Vargas, Renata Castoldi, José Carlos Barbosa, y Leila T. Braz. 2012. «Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber». *Horticultura Brasileira* 30(1):125–131.
- DANE. 2015. *DANE. El cultivo del pimentón (Capsicum annuum L) bajo invernadero*. Colombia: Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria.
- Datnoff, L. E., & Elmer, W. H. (2018). Mineral Nutrition and Florists' Crops Diseases. In R. J. McGovern & W. H. Elmer (Eds.), *Handbook of Florists' Crops Diseases* (pp. 237–251). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39670-5_10

-
- Deltour, Pauline, Soraya C. França, Olinto Liparini Pereira, Irene Cardoso, Stefaan De Neve, Jane Debode, y Monica Höfte. 2017. «Disease suppressiveness to Fusarium wilt of banana in an agroforestry system: influence of soil characteristics and plant community». *Agriculture, ecosystems & environment* 239:173–181.
- Domínguez-Hernández, Julia D., Miguel A. Negrín-Medina, y Carmen M. Rodríguez-Hernández. 2010. «Potassium selectivity in transported volcanic soils (sorribas) under banana cultivation in relation to banana-wilt expression caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*». *Communications in soil science and plant analysis* 41(14):1674–1692.
- Dong, Xian, Min Wang, Ning Ling, Qirong Shen, y Shiwei Guo. 2016. «Effects of iron and boron combinations on the suppression of Fusarium wilt in banana». *Scientific reports* 6:38944.
- Dordas C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agron. Sust. Develop.* <https://doi.org/10.1051/agro:2007051>
- Elmer, W. H., & Datnoff, L. E. 2014. Mineral Nutrition and Suppression of Plant Disease. In N. K. B. T.-E. of A. and F. S. Van Alfen (Ed.) (pp. 231–244). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00251-5>
- FAOSTAT. 2018. «FAOSTAT». *Faostat*. Recuperado 12 de marzo de 2020 (<http://www.fao.org/>).
- Fernando D. R., Baker A. J. M., Woodrow I. E. 2009. Physiological responses in *Macadamia integrifolia* on exposure to manganese treatment. *Australian Journal of Botany* 57, 406-413. <https://doi.org/10.1071/BT09077>
- Gupta N., Debnath S., Sharma S., Sharma P., Purohit J. 2017. Role of Nutrients in Controlling the Plant Diseases in Sustainable Agriculture. In: Meena V., Mishra P., Bisht J., Pattanayak A. (eds) *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_8
- Hammerschmidt. R., & Nicholson .R.L. 2000. A survey of plant defense responses to pathogens. In: Agrawal AA, Tuzun S, Bent E (eds) *Induced plant defenses against pathogens and herbivores*. APS, Minneapolis, MN, p 390
- Heckman, J.R., Clarke, B.B. and Murphy, J.A. 2003. Optimizing Manganese Fertilization for the Suppression of Take-All Patch Disease on Creeping Bentgrass. *Crop Sci.*, 43: 1395-1398. <https://doi-org.ezproxy.unal.edu.co/10.2135/cropsci2003.1395>
- Helpenstein J., Pawlowski M. L., Hill C. B., Stewart J., Lagos-Kutz D., Bowen C. R., et al. 2015. Zinc deficiency alters soybean susceptibility to pathogens and pests. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 178, 896–903. [10.1002/jpln.201500146](https://doi.org/10.1002/jpln.201500146)

- Huber, D. M., & Thompson, I. A. (2007). Nitrogen and Plant Disease. In L. E. Datnoff, E. W. H., & H. D. H (Eds.), *Mineral nutrition and plant diseases* (The Americ, pp. 31–44). USA.
- Jaramillo-Noreña, J. E.; Aguilar-Aguilar, P. A.; Espitia-Malagón, E. M.; Tamaño-Molano, P. J.; Guzmán-Arroyave, M. 2014. *Modelo productivo del cultivo de pimentón (Capsicum annuum L.) bajo condiciones protegidas en el oriente antioqueño*. Corporació. Mosquera.
- Lal, Kishan, Pappu Singh, S. Biswas, Supriya Yadav, Virendra Kumar, y Narender Kumar. 2017. «Suitable integrated approach for management of Fusarium wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.)». *J Pure App1 Microbiol* 11:953–962.
- Li, H. Y., W. Guo, D. Liu, y M. Q. Li. 2018. «First Report of *Fusarium semitectum* Causing Root Rot of Greenhouse Pepper (*Capsicum annuum*) in China». *Plant disease* 102(10):2032–2032.
- Marouani, Amel, y Youcef Harbeoui. 2016. «Eficiencia de uso de nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)». *Acta agronómica* 65(2):164–169.
- Marschner H (1995) *Mineral nutrition of higher plants*, 2nd edn. Academic, London, p 889
- Medina-Romero, Yoli Mariana, Gonzalo Roque-Flores, y Martha Lydia Macías-Rubalcava. 2017. «Volatile organic compounds from endophytic fungi as innovative postharvest control of *Fusarium oxysporum* in cherry tomato fruits». *Applied microbiology and biotechnology* 101(22):8209–8222.
- Prabhu AS, Fageria NK, Berni RF, Rodrigues FA. 2007. Phosphorus and plant disease. In: Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM (eds) *Mineral nutrition and plant disease*. APS Press, St. Paul, pp 45–55
- Puentes-Páramo, Yina, Juan Menjivar-Flores, y Fabio Aranzazu-Hernández. 2014. «Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.)». *Bioagro* 26(2):99–106.
- Romero-Lozada, María del Pilar, Yina Jazbleidi Puentes-Paramo, y Juan Carlos Menjivar-Flores. 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.
- Siddiqui, Sazada, Saad A. Alamri, Sulaiman A. Alrumman, Mukesh K. Meghvansi, K. K. Chaudhary, Mona Kilany, y Kamal Prasad. 2015. «Role of Soil Amendment with Micronutrients in Suppression of Certain Soilborne Plant Fungal Diseases: A Review». Pp. 363-80 en *Organic Amendments and Soil Suppressiveness in Plant*

Disease Management, editado por M. K. Meghvansi y A. Varma. Cham: Springer International Publishing.

- Souza, Viviane de, Mario Augusto García, Gisele Renata de Castro, Yuri Marcela Garzón, y Creucí Maria Caetano. 2017. «Cytogenetic evaluation of chili (*Capsicum* spp., Solanaceae) genotypes cultivated in Valle del Cauca, Colombia». *Acta Agronómica* 66(4):612–617.
- Srinivas, C., D. Nirmala Devi, K. Narasimha Murthy, Chakrabhavi Dhananjaya Mohan, T. R. Lakshmeesha, Bhim Pratap Singh, Naveen Kumar Kalagatur, S. R. Niranjana, Abeer Hashem, Abdulaziz A. Alqarawi, Baby Tabassum, Elsayed Fathi Abd_Allah, y S. Chandra Nayaka. 2019. «*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity– A review». *Saudi Journal of Biological Sciences* 26(7):1315-24.
- Srinivas, Chandra, D. Nirmala Devi, K. Narasimha Murthy, Chakrabhavi Dhananjaya Mohan, T. R. Lakshmeesha, BhimPratap Singh, Naveen Kumar Kalagatur, S. R. Niranjana, Abeer Hashem, y Abdulaziz A. Alqarawi. 2019. «*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity– A review». *Saudi journal of biological sciences*.
- Tamayo, Pablo, y Jorge Jaramillo. 2013. «Enfermedades del tomate, pimentón, ají y berenjena en Colombia.» *CORPOICA* 164.
- Tejada-Tovar, Candelaria Nahir, Ángel Villabona-Ortiz, y Clemente Granados-Conde. 2017. «Caracterización de la pulpa de ají tabasco (*Capsicum frutescens* L.) Cultivada en el departamento de sucre–colombia». *BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS* 15(1).
- Thaines Bodah, Eliane. 2017. «Root Rot Diseases in Plants: A Review of Common Causal Agents and Management Strategies». *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal* 5(3).
- Velarde-Félix, Sixto, José Antonio Garzón-Tiznado, Sergio Hernández-Verdugo, Carlos Alfonso López-Orona, y Jesús Enrique Retes-Manjarrez. 2018. «Occurrence of *Fusarium oxysporum* causing wilt on pepper in Mexico». *Canadian Journal of Plant Pathology* 40(2):238–247.
- Velásquez-Valle, Rodolfo, y Luis Roberto Reveles-Torres. 2017. «Necrosis foliar; nuevo síntoma asociado a la pudrición de la raíz de chile (*Capsicum annuum*) en Durango y Zacatecas, México». *Revista mexicana de micología* 46:47–53.
- Walters, D. and Bingham, I. 2007. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. *Annals of Applied Biology*, 151: 307-324. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00176.x>

3. Conclusiones y recomendaciones

3.1 Conclusiones

Se encontró que en el cultivo de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon tienen una demanda y patrones de distribución de nutrientes diferentes a las reportadas en la literatura para otras especies del género *Capsicum spp*, donde para producir una tonelada de fruto extrae en elementos mayores y secundarios ($\text{kg}\cdot\text{ton}^{-1}$) 17.11 de N, 2.18 de P, 22.26 de K^+ , 7.84 de Ca^{++} , 4.18 de Mg^{++} , 2.71 de S; y en micronutrientes ($\text{g}\cdot\text{ton}^{-1}$) 264.5 de Fe^{++} , 19.4 de Mn^{++} , 6.7 Cu^{++} , 12.6 de Zn^{++} y 34 de B, siendo una menor cantidad de NPK que lo reportado por otros autores. Al mismo tiempo los nutrientes se acumulan en orden decreciente en el tejido foliar > frutos > raíces, obtenido el mayor incremento en los contenidos de materia seca a los 105 DDT, correlacionándose con la extracción y distribución de los elementos N, P, K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} y B.

La presencia de *Fusarium oxysporum* Schltdl., en el cultivo de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon, altera el proceso de absorción y extracción de los nutrientes principalmente de nitrógeno, fósforo, manganeso, zinc y boro; y en menor proporción potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro y cobre. Al mismo tiempo, se ven afectados sus rendimientos, donde en ausencia del programa de fertilización e inoculado con *F. oxysporum* Schltdl., presentó una disminución del 54% y con la implementación del plan de fertilización en presencia del inoculo de un 24%, en comparación a la condición ideal, es decir, cuando el cultivo recibe las dosis óptimas de fertilización en un ambiente libre del patógeno.

3.2 Recomendaciones

Es necesario difundir esta información de la extracción y distribución de nutrientes en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo Tabasco Var. Amazon, para que sea utilizada en la elaboración de las propuestas nutricionales, al mismo tiempo, se debe tener presente el conocimiento de las características química y física del suelo, las cuales permitan calcular las cantidades que aporta el suelo y el ajuste de eficiencia de cada elemento, para poder suministrar las dosis necesarias con referencia a los rendimientos esperados, se propone la siguiente distribución quincenal o mensual de cada elemento (Anexo C).

En este estudio, también se observó que la presencia de *F. oxysporum* Schltdl., tiene un efecto adverso en el proceso de extracción y de los contenidos de nutrientes en el cultivo de Ají (*C. frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon, que conduce a una disminución del rendimientos. Se deben buscar alternativas que podrían estar enfocadas al empleo de fertilizantes a base de materia orgánica que alteran la composición de los suelos y por ende de la microbiota allí presente, y que pueden competir con el patógeno mitigando su efecto, hasta ahora este aspecto no ha sido estudiado para los cultivos de Ají (*C. frutescens* L.) tipo tabasco.

A. Anexo: Data de diseño de bloques completamente al azar (DBCA) de contenidos de materia seca, extracción y distribución de nutrientes.

Tabla 3-1: Algoritmo de bloques completamente al azar (DBCA) para contenidos de materia seca en plantas de Ají (*C. frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon

DATA DBCA;
INPUT Trata\$ Repe\$ Epoca\$ PSeco;
CARDS;

NoFer R1	0DDT	0.41666
NoFer R2	0DDT	0.41666
NoFer R3	0DDT	0.41666
SiFer R1	0DDT	0.41666
SiFer R2	0DDT	0.41666
SiFer R3	0DDT	0.41666
NoFer R1	15DDT	14.5831
NoFer R2	15DDT	54.1658
NoFer R3	15DDT	41.666
SiFer R1	15DDT	49.9992
SiFer R2	15DDT	45.8326
SiFer R3	15DDT	49.9992
NoFer R1	30DDT	196.03853
NoFer R2	30DDT	296.87025
NoFer R3	30DDT	283.74546
SiFer R1	30DDT	321.45319
SiFer R2	30DDT	410.20177
SiFer R3	30DDT	332.49468
NoFer R1	45DDT	351.45271
NoFer R2	45DDT	789.15404
NoFer R3	45DDT	615.40682
SiFer R1	45DDT	1013.94211
SiFer R2	45DDT	1074.77447
SiFer R3	45DDT	722.69677
NoFer R1	60DDT	1206.2307
NoFer R2	60DDT	1597.05778

```

NoFer R3      60DDT  556.44943
SiFer R1      60DDT 1357.89494
SiFer R2      60DDT  792.27899
SiFer R3      60DDT 1407.26915
NoFer R1      75DDT 2950.16113
NoFer R2      75DDT 2651.41591
NoFer R3      75DDT 2935.99469
SiFer R1      75DDT 2680.37378
SiFer R2      75DDT 2263.92211
SiFer R3      75DDT  3708.274
NoFer R1      90DDT 2743.08111
NoFer R2      90DDT 4347.01378
NoFer R3      90DDT  2145.799
SiFer R1      90DDT 4394.30469
SiFer R2      90DDT 3769.31469
SiFer R3      90DDT 2199.9648
NoFer R1     105DDT   4721.79945
NoFer R2     105DDT   4117.64245
NoFer R3     105DDT   4950.96245
SiFer R1     105DDT   5805.11545
SiFer R2     105DDT   6117.61045
SiFer R3     105DDT   9721.71945

```

```
;
```

```
PROC UNIVARIATE NORMAL;
```

```
VAR PSeco;
```

```
HISTOGRAM/NORMAL;
```

```
RUN;
```

```
PROC ANOVA;
```

```
CLASS Trata Repe Epoca;
```

```
MODEL PSeco = Trata Repe Epoca;
```

```
MEANS Trata Repe Epoca/TUKEY;
```

```
PROC PRINT;
```

```
RUN;
```

Tabla 3-2: Algoritmo de diseño de bloque completamente al azar (DBCA) para extracción y distribución de macronutrientes y micronutrientes en diferentes épocas de muestreo en plantas de Ají (*C. frutescens* L.), tipo tabasco Var. Amazon

```
DATA DBCA;
```

```
INPUT Trata$      Repe$ Epoca$      N      P      K      Ca      Mg      S      Fe
      Mn      Cu      Zn      B;
```

```
CARDS;
```

```

NoFer R1      ODDT  0.014416436 0.002079133 0.019353857 0.007333216
              0.001387478 0.001356228 0.06770725  0.017187225 0.006031154
              0.060332368 0.02395795  0.73436325
NoFer R2      ODDT  0.014416436 0.002079133 0.019353857 0.007333216
              0.001387478 0.001356228 0.06770725  0.017187225 0.006031154
              0.060332368 0.02395795  0.73436325

```

NoFer	R3	ODDT	0.014416436	0.002079133	0.019353857	0.007333216
			0.001387478	0.001356228	0.06770725	0.017187225
			0.060332368	0.02395795	0.73436325	0.006031154
SiFer	R1	ODDT	0.014416436	0.002079133	0.019353857	0.007333216
			0.001387478	0.001356228	0.06770725	0.017187225
			0.060332368	0.02395795	0.73436325	0.006031154
SiFer	R2	ODDT	0.014416436	0.002079133	0.019353857	0.007333216
			0.001387478	0.001356228	0.06770725	0.017187225
			0.060332368	0.02395795	0.73436325	0.006031154
SiFer	R3	ODDT	0.014416436	0.002079133	0.019353857	0.007333216
			0.001387478	0.001356228	0.06770725	0.017187225
			0.060332368	0.02395795	0.73436325	0.006031154
NoFer	R1	15DDT	0.59499048	0.056499096	0.69207226	0.19687185
			0.13041458	0.05979071	30.874506	0.51728339
			0.42270157	0.6770725	12.29147	0.101331712
NoFer	R2	15DDT	2.74203946	0.24291278	3.11911676	0.8562363
			0.598407092	0.237746196	27.1787318	1.98371826
			1.99413476	2.49996	45.62427	0.39832696
NoFer	R3	15DDT	2.18038178	0.195288542	2.4978767	0.69082228
			0.474200746	0.181205434	18.0580444	1.46497656
			1.46122662	1.979135	25.791254	0.301703506
SiFer	R1	15DDT	2.6895403	0.213079924	2.91370338	0.7479047
			0.54769957	0.225913052	26.6954062	1.6916396
			1.88996976	2.062467	50.020033	0.345119478
SiFer	R2	15DDT	2.08621662	0.166622334	2.23246428	0.63832312
			0.433909724	0.18249708	32.832808	1.35914492
			1.23498024	2.0583004	46.999248	0.302203498
SiFer	R3	15DDT	2.3062131	0.178372146	2.4874602	0.67248924
			0.456367698	0.18437205	20.937165	1.41997728
			1.42747716	1.87497	40.186857	0.38374386
NoFer	R1	30DDT	9.83088437	0.961505449	12.61423567	3.453319746
			2.261334651	0.837653264	213.0845073	12.26269963
			7.495963396	12.76725405	79.23602387	2.343150009
NoFer	R2	30DDT	15.82368432	1.572918583	19.10069438	4.716237039
			3.236023223	1.375352994	324.0398153	18.18402155
			11.85237286	20.11617814	78.55624308	3.930437112
NoFer	R3	30DDT	15.61333352	1.35518665	14.81113802	4.581010036
			2.667807314	1.172252077	149.515941	14.69109827
			10.00733988	24.37748495	52.15374886	2.819871548
SiFer	R1	30DDT	14.62722429	1.290373104	15.55943855	4.654050534
			2.865249989	1.103257348	252.2792968	14.84961657
			9.372391706	18.0020453	117.9495711	2.994014595
SiFer	R2	30DDT	19.59706144	1.854968237	27.34031255	6.045465771
			3.812738995	1.697666587	315.0676672	22.27214364
			13.13341486	25.34730277	147.0253559	4.489657331
SiFer	R3	30DDT	16.91035443	1.561150021	20.17055227	5.540786346
			3.618442104	1.076895269	167.4773203	18.39695564
			12.04455728	15.00225996	103.1146001	3.90806247
NoFer	R1	45DDT	17.81594411	1.36625939	16.71206594	6.159443114
			3.365633649	1.720484972	130.5104118	16.74841952
			11.55848173	11.87920576	72.2780102	3.615921311
NoFer	R2	45DDT	36.21150394	2.571406774	36.4889995	11.93422572
			6.717652933	3.579428145	260.3745839	32.98901383
			24.13655131	31.71095095	167.1285759	7.286716744

NoFer	R3	45DDT	28.59654245	2.098420591	28.63331269	9.927903651
			5.625222495	3.240635649	315.2582891	29.295322293
			17.65905078	19.98334693	172.2105779	5.77053267
SiFer	R1	45DDT	46.84541713	3.410397516	44.12908559	14.21521005
			8.350168479	5.267784464	623.5421065	47.53967685
			32.718039	42.52098632	186.1520215	10.25760671
SiFer	R2	45DDT	38.97912632	3.192965578	58.78147615	18.95305091
			10.49758204	5.630245331	465.6392163	53.95367839
			31.78869971	38.811754	211.6595301	9.389276853
SiFer	R3	45DDT	33.4122154	2.465160557	30.35961841	9.116843712
			5.750543407	3.508975106	289.2532885	27.57635044
			20.77143849	21.15261989	166.6169174	7.191489101
NoFer	R1	60DDT	45.28448377	4.110225902	22.71526155	17.87742229
			3.342759015	6.845348806	329.5472272	44.76782537
			31.2373127	51.6283406	647.2708935	12.37667697
NoFer	R2	60DDT	61.22304125	5.271776067	38.4245102	20.70493955
			4.642177807	8.604062333	705.832519	86.3734305
			52.20176893	75.14108939	704.7939315	22.42212041
NoFer	R3	60DDT	22.33785092	2.2416433	8.460802125	5.67157592
			0.693622235	2.727087616	171.5935045	16.26840637
			13.7766129	20.17269807	182.0064629	5.311123354
SiFer	R1	60DDT	65.70355289	4.655402596	24.7226461	13.07838449
			2.125240996	6.40887454	468.4218801	60.56861422
			41.26704805	59.31175933	932.5527873	16.37323802
SiFer	R2	60DDT	37.12286436	2.962552598	13.52434611	7.728740922
			1.057560162	3.676993251	249.2168458	24.39046391
			18.75292912	29.04988936	482.096453	8.68197567
SiFer	R3	60DDT	50.12044806	4.239036341	52.07187517	15.9122454
			9.399130862	6.390272754	389.6329324	35.93671667
			36.35337667	46.2180105	557.4389975	11.36992225
NoFer	R1	75DDT	82.6089074	11.03512552	139.1977311	39.60009556
			28.06646135	11.08292267	882.5096921	136.6211682
			72.16409536	164.1761231	819.6275108	29.89692789
NoFer	R2	75DDT	74.08902289	10.69922048	116.5612392	42.10032638
			25.38073765	8.997101877	959.7846432	118.767683
			72.09780475	157.1794851	1017.567052	26.9331524
NoFer	R3	75DDT	89.31390429	11.97597713	123.2375907	39.34647461
			25.8526926	9.66963695	1050.73048	128.0485554
			74.60943123	168.2663702	906.592786	27.0131407
SiFer	R1	75DDT	83.33593744	8.095149642	121.526618	39.67561518
			24.40159082	9.418130558	722.2236109	108.2048104
			63.85414498	127.4171488	1148.830577	20.74369935
SiFer	R2	75DDT	66.13869176	4.872509539	94.3549903	29.85302234
			18.41268664	7.432653992	764.7315141	82.89688196
			49.97133586	106.1745512	639.1116491	17.74824727
SiFer	R3	75DDT	134.6061796	12.81533453	181.7071135	50.23588371
			33.39101157	14.68257966	1232.332366	145.5741916
			81.29782421	174.0583817	1377.505043	33.79759465
NoFer	R1	90DDT	73.18245406	9.28467436	98.88564697	37.33852757
			19.80119359	17.43632935	1543.923214	137.1090146
			75.34714859	138.603699	758.883691	32.54687508
NoFer	R2	90DDT	130.6243058	18.88487284	177.2692678	58.69486295
			32.78965452	30.73457282	2520.094449	211.0634563
			126.5581834	206.7018594	1103.079225	50.59229468

```

NoFer R3 90DDT 62.2866909 6.811647262 79.29598124 26.66499002
13.00804395 12.77350395 684.9339992 76.50421341 21.39762638
47.30630559 63.88139455 885.3795837
SiFer R1 90DDT 155.3064317 11.42572552 154.051806 85.79706473
43.55957387 32.374432 1807.705868 231.035345 48.46845366
119.1573435 231.645127 1817.154258
SiFer R2 90DDT 116.779944 11.22318709 154.4980905 50.89538358
29.87920734 23.83758526 1397.099646 151.7951337 45.87851593
100.6282649 177.6831987 1296.524047
SiFer R3 90DDT 40.90851212 6.603311012 49.4908748 15.895579
4.544260624 6.325148796 1981.847457 52.02333428 26.18041444
29.9453542 55.26911568 917.06866
NoFer R1 105DDT 125.4944504 20.7884278 197.4492366 73.32018103
39.86759128 24.07481271 2510.470249 210.9654787 55.26536574
125.5573661 286.3319811 1006.645352
NoFer R2 105DDT 108.9929436 23.69263133 202.5423843 73.22237009
39.75728054 21.47082313 2151.152039 186.5777439 69.54076233
125.0965401 278.1724242 803.0548593
NoFer R3 105DDT 138.029979 30.55008411 213.7387676 77.32532528
46.92154091 32.46581387 2662.813644 194.1482477 64.75667221
119.0460119 351.6649983 1002.598542
SiFer R1 105DDT 175.9601013 22.82642644 193.4935707 67.15559216
33.60959765 24.53852404 2382.751459 164.0013343 64.04251697
115.0742005 321.4119407 1305.650984
SiFer R2 105DDT 191.3078765 21.68691342 252.3171087 68.45255058
38.52462318 29.84432457 3117.106376 218.9171223 64.94812748
144.6244568 361.0501606 1232.454239
SiFer R3 105DDT 266.9949988 35.94321657 379.1165382 155.0368944
82.7632591 46.3919973 4305.520694 335.5934846 118.9674715
208.1143785 579.3411471 1855.121359

```

```
;
```

```
PROC UNIVARIATE NORMAL;
```

```
VAR N P K Ca Mg S Fe Mn Cu Zn B;
```

```
HISTOGRAM/NORMAL;
```

```
RUN;
```

```
PROC ANOVA;
```

```
CLASS Trata Repe Epoca;
```

```
MODEL N P K Ca Mg S Fe Mn Cu Zn B =
```

```
Trata Repe Epoca ;
```

```
MEANS Trata Repe Epoca/ TUKEY;
```

```
PROC PRINT;
```

```
RUN;
```

Tabla 3-3: Algoritmo de diseño de bloque completamente al azar (DBCA) para extracción de nutrientes por tonelada de fruto fresco en plantas de Aji (*C. frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon

```
DATA DBCA;
```

```
INPUT Trata$ Repe$ N P K Ca Mg S Fe Mn Cu
Zn B;
```

CARDS;

```

NoFer R1  15.24361718 2.525138237 23.983854  8.906089217 4.842654775
          2.92433034 304.9429461 25.62565106 6.712998672 15.25125945
          34.78030378
NoFer R2  13.23920462 2.877907357 24.60251079 8.894208273 4.8292555
          2.608027744 261.2971178 22.66331056 8.447009062 15.19528363
          33.78917499
NoFer R3  16.76628849 3.710871561 25.96251819 9.392587907 5.699487149
          3.943572299 323.4478632 23.58288798 7.865893019 14.46033531
          42.71620453
SiFer R1  14.24093199 1.847405089 15.65996361 5.435085648 2.720116612
          1.985969829 192.842589 13.27307629 5.183135963 9.313269606
          26.01274696
SiFer R2  15.4830694 1.755181186 20.42071333 5.540052038 3.117903064
          2.415382769 252.2759398 17.71756113 5.256429497 11.70485263
          29.22077645
SiFer R3  21.60863511 2.90898277 30.68293778 12.54755967 6.698256798
          3.754631157 348.4575592 27.16049808 9.628362673 16.84326554
          46.8876627

```

;

PROC UNIVARIATE NORMAL;

VAR N P K Ca Mg S Fe Mn Cu Zn B;

HISTOGRAM/NORMAL;

RUN;

PROC ANOVA;

CLASS Trata Repe;

MODEL N P K Ca Mg S Fe Mn Cu Zn B =

Trata Repe;

MEANS Trata Repe/ **TUKEY;**

PROC PRINT;

RUN;

B. Anexo: Data de diseño estadístico de franjas para interacciones de fertilización x inoculación, extracción de nutrientes y rendimientos.

Tabla 3-4: Algoritmo de diseño estadístico de franjas para interacciones de fertilización x inoculación, extracción de nutrientes y rendimientos en plantas de Ají (*C. frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon

```

DATA FRANJAS;
INPUT REP$ FERTI$ INOCU$      N      P      K      Ca      Mg      S      Fe      Mn
      Cu      Zn      B REND;
CARDS;
R1    NoFer InoSi 21.08 4.53 27.51 8.85 4.85 4.31 382.77 34.02
      8.04 21.84 47.54 6.14
R2    NoFer InoSi 23.02 5.41 30.61 12.37 6.48 4.01 555.92 41.87
      11.87 23.13 55.26 5.69
R3    NoFer InoSi 34.39 7.98 47.22 12.89 8.05 5.33 504.71 44.88
      10.92 29.31 69.6 5.31
R1    SiFer InoSi 21.9 2.14 28.72 13.54 7.8 3.1 380.77 36.51
      7.66 18.8 52.47 9.94
R2    SiFer InoSi 33.29 3.43 41.23 15.51 9.15 5.11 443.05 46.29
      9.76 25.48 64.38 7.39
R3    SiFer InoSi 27.06 2.63 26.78 13.59 7.97 4.02 429.62 39.85
      10.82 19.08 56.32 10.79
R1    NoFer InoNo 15.55 2.58 24.47 9.09 4.94 2.98 311.15 26.15
      6.85 15.56 35.49 8.06
R2    NoFer InoNo 11.55 2.51 21.46 7.76 4.21 2.27 227.9 19.77 7.37
      13.25 29.47 9.43
R3    NoFer InoNo 19.09 4.23 29.56 10.7 6.49 4.49 368.31 26.85
      8.96 16.47 48.64 7.22
R1    SiFer InoNo 12.41 1.61 13.64 4.74 2.37 1.73 168.03 11.57
      4.52 8.11 22.67 14.18
R2    SiFer InoNo 16.71 1.89 22.04 5.98 3.37 2.61 272.31 19.12
      5.67 12.63 31.54 11.44
R3    SiFer InoNo 23.22 3.13 32.97 13.48 7.2 4.03 374.42 29.18
      10.35 18.1 50.38 11.49
;

```

```
PROC UNIVARIATE NORMAL;  
VAR      N      P      K      Ca      Mg      S      Fe      Mn      Cu      Zn      B  END;  
HISTOGRAM/NORMAL;  
RUN;  
PROC ANOVA;  
CLASS REP FERTI INOCU;  
MODEL   N      P      K      Ca      Mg      S      Fe      Mn      Cu      Zn      B  END =  
REP FERTI REP*FERTI INOCU INOCU*REP INOCU*FERTI;  
TEST H= REP FERTI E= REP*FERTI;  
TEST H= INOCU E= INOCU*REP;  
MEANS  REP FERTI / TUKEY E= REP*FERTI;  
MEANS  INOCU / TUKEY E= INOCU*REP;  
MEANS  INOCU*FERTI / TUKEY;  
PROC PRINT;  
RUN;
```

C. Anexo: Propuesta de distribución de nutrientes en un programa de fertilización semanal o quincenal para cultivos de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon en un ciclo de cultivo.

Tabla 3-5: Distribución semanal de N, P, K, Ca, Mg y S ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); y Fe, Mn, Cu, Zn, B ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$), de acuerdo a curvas de extracción de nutrientes para cultivo de Ají tipo tabasco para un ciclo de 105 días.

Semanas	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$						$\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$				
2	2,5	0,2	2,5	0,6	0,8	0,4	27	1,5	1	1,5	2,6
3	7,5	0,5	9	2,4	1,5	0,5	109	8	1,5	5	9
4	7,5	0,75	9,5	2,4	1,5	0,5	109	9	1,5	5	9
5	11	0,75	11	4	2	1	106	12	3	8	7
6	12	0,75	12	5	3	2	109	13	3	9	8
7	5,5	0,75	0	0	0	0,5	0	0	1,5	2	5
8	5,5	0,75	0	0	0	0,5	0	0	1,5	2	6
9	22	2	40	13	8	2	225	35	6	16	45
10	22	2	50	13	8	2	225	35	6	16	45
11	5	0,75	0	5,5	0,5	4	415	16	8	10	9,5
12	5	0,75	0	5,5	0,5	4	415	16	8	10	9,5
13	53	8	71	23	13	5	770	47	21	36	133
14	54	9	71	23	13	5	770	48	21	36	133
TOTAL	212,5	26,95	276	97,4	51,8	27,4	3280	240,5	83	156,5	421,6

Tabla 3-6: Distribución quincenal de N, P, K, Ca, Mg y S ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); y Fe, Mn, Cu, Zn, B ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$), de acuerdo a curvas de extracción de nutrientes para cultivo de Aji tipo tabasco para un ciclo de 105 días.

Intervalo (días)	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$						$\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$				
0 a 15	2,5	0,2	2,5	0,6	0,8	0,4	27	1,5	1	1,5	2,6
15 a 30	15	1,25	18,5	4,8	3	1	218	17	3	10	18
30 a 45	23	1,5	23	9	5	3	215	25	6	17	15
45 a 60	11	1,5	0	0	0	1	0	0	3	4	11
60 a 75	44	4	90	26	16	4	450	70	12	32	90
75 a 90	10	1,5	0	11	1	8	830	32	16	20	19
90 a 105	107	17	142	46	26	10	1540	95	42	72	266
TOTAL	212,5	26,95	276	97,4	51,8	27,4	3280	240,5	83	156,5	421,6