

**ABSORCION DIFERENCIAL DE NUTRIENTES EN AJI (*Capsicum annum* L)
EN SANTA MARTA**

**CEINY GIMENA JIMÉNEZ TURIZO
LUISA FERNANDA BECERRA GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SANTA MARTA D.T.C.H.**

2017

**ABSORCIÓN DIFERENCIAL DE NUTRIENTES EN AJÍ (*Capsicum annuum* L)
EN SANTA MARTA**

**LUISA FERNANDA BECERRA GÓMEZ
CEINY GIMENA JIMÉNEZ TURIZO**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO

DIRECTOR:

NELSON VIRGILIO PIRANEQUE GAMBASICA I.A. Ph.D

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SANTA MARTA D.T.C.H.
2017**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Santa Marta 26 de julio de 2017

Dedicamos este trabajo a
nuestros padres, que nos
apoyaron
incondicionalmente
durante todo el proceso
para hacer de esto una
realidad.

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a Dios por haber alcanzado un peldaño más para llegar al cumplimiento de tan anhelada meta, agradecemos al Grupo de Investigación Suelo, Ambiente y Sociedad de la Universidad del Magdalena, docentes y compañeros quienes nos acogieron y apadrinaron para el desarrollo de este proyecto; agradecemos el apoyo brindado por la Dra. Sonia Esperanza Aguirre y nuestro director el Dr. Nelson Virgilio Piraneque Gambasica quienes con su dedicación y dirección hicieron posible la culminación de esta investigación.

Al Laboratorio de Suelo de Ingeniería Agronómica, Laboratorio de Calidad de Agua, al Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena y a todo su equipo de trabajo quienes nos brindaron total disponibilidad de todas sus herramientas; a nuestras familias Becerra Gómez y Jiménez Turizo por el apoyo incondicional la paciencia y el amor brindado durante todo nuestro proceso académico.

CONTENIDO

RESUMEN.....	11
1. PRESENTACION	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. ANTECEDENTES.....	15
4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	18
4.1 Cultivo de Ají (<i>Capsicum annuum L.</i>)	18
4.2. Suelo.....	19
4.2.1. Fertilidad del suelo	19
4.3. Extracción y absorción de nutrientes.....	19
4.3.1. Curvas de absorción de nutrientes	20
4.3.2. Pasos para la elaboración de curva de absorción de nutrientes	21
4.4. Fenología de un cultivo	21
5. JUSTIFICACION.....	24
6. OBJETIVOS	25
6.1. General	25
6.2. Específicos.....	25
7. METODOLOGIA.....	26
7.1. Semillero, condiciones del suelo, preparación del terreno y establecimiento en campo	27
7.2. Establecimiento de la curva de crecimiento de los cultivares Topito y Cubanel .	28
7.3. Establecimiento de etapas fenológicas del cultivo de ají.....	29
7.4. Determinación de nutrientes absorbidos por la planta	29
7.5. Parámetros evaluados.....	30
7.6. Análisis de los datos	31
8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	32
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
9.1. Acumulación de biomasa por los cultivares de ají	33
9.2. Curva de crecimiento de los cultivares de ají.....	35
9.3. Etapas fenológicas del cultivo de ají, cultivar Topito y Cubanel	37

9.4. Absorción de macro y micronutrientes por el cultivo de Ají, cultivares Topito y Cubanel.....	44
9.4.1. Curvas de acumulacion de macronutrientes por los cultivares topito y cubanel.	50
9.4.1.1. Curvas de acumulación de macronutrientes N, P, Ca, Mg, Na y K	50
9.4.1.2. Curvas de acumulación de micronutrientes	54
9.5. Relación entre absorción de nutrientes con parámetros de crecimiento en los dos cultivares de ají	57
9.6. Plan de fertilización para los cultivares Topito y Cubanel en la zona de estudio...	60
10. CONCLUSIONES	62
11. RECOMENDACIONES	63
12. BIBLIOGRAFIA	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Acumulación promedio de Biomasa por etapa para el cultivar Topito y Cubanel.	33
Tabla 2. Acumulación promedio de Masa seca por etapa para el cultivar Topito y Cubanel.	35
Tabla 3. Nutrientes absorbidos y porcentaje de acumulación en orden descendente por los cultivares Topito y Cubanel en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal, 2016.	45
Tabla 4. Acumulación de nutrientes por etapas fenológicas para cultivares Topito y Cubanel.	46
Tabla 5. Acumulación en kg ha ⁻¹ de macro y micronutrientes en el cultivar Topito (C. annuum. L) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.	47
Tabla 6. Acumulación en kg ha ⁻¹ de macro y micronutrientes en el cultivar Cubanel (C. annuum. L) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.	48
Tabla 7. Plan de fertilización para C. annuum. L cultivares Topito y Cubanel en las condiciones del Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena 2016.	27
Figura 2. Semillero, preparación del terreno y establecimiento en campo.....	28
Figura 3. Molida y tamizada de muestras vegetales para posterior determinación de nutrientes absorbidos.....	29
Figura 4. Método de mineralización en húmedo empleado para obtener extracto de plantas.	30
Figura 5. Desarrollo vegetativo de <i>C. annum</i> L. a) Cultivar Cubanel, b) Cultivar Topito.....	31
Figura 6. Curva de acumulación de biomasa en <i>Capsicum annum</i> L. en los cultivares Topito (curva azul) y Cubanel (curva naranja) en Santa Marta.....	34
Figura 7. Curva de crecimiento de <i>Capsicum annum</i> L. en los cultivares Topito (curva azul) y Cubanel (curva naranja) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.	36
Figura 8. Etapas fenológicas del cultivo de ají bajo las condiciones del Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena.....	37
Figura 9. Etapas fenológicas del periodo vegetativo de los cultivares Topito y Cubanel en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena.	38
Figura 10. Etapas fenológicas del periodo reproductivo de los cultivares Topito y Cubanel en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena.	40
Figura 11. Correlación entre parámetros de crecimiento en el cultivar Cubanel (<i>C. annum</i> L) ($Pr < 0.05$).....	41
Figura 12. Correlación entre parámetros de crecimiento cultivar Topito (<i>C. annum</i> L) ($Pr < 0.05$).....	42
Figura 13. Comportamiento de la variable altura para los cultivares Topito (izquierda) y Cubanel (derecha) con modelación ajustada con las observaciones realizadas.	43
Figura 14. Diametro del tallo para los cultivares Topito (izquierda) y Cubanel (derecha) con modelación ajustada con las observaciones realizadas.	43
Figura 15. Número de hojas para los cultivares Topito (izquierda) y Cubanel (derecha) con modelación ajustada con las observaciones realizadas.	44
Figura 16. Curvas de acumulación de % Carbono para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.....	50
Figura 17. Curvas de acumulación de % Nitrógeno para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.....	51
Figura 18. Curvas de acumulación de Fosforo en $g\ kg^{-1}$ para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.....	51

Figura 19. Curvas de acumulación de Calcio en g kg^{-1} para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.....	52
Figura 20. Curvas de acumulación de Magnesio en g kg^{-1} para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.....	52
Figura 21. Curvas de acumulación de Sodio en g kg^{-1} para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.....	53
Figura 22. Curvas de acumulación de Potasio en g kg^{-1} para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.....	53
Figura 23. Curvas de acumulación (mg kg^{-1}) de cobre (A), zinc (B) y hierro (C) en para los cultivares Topito (izquierda) y Cubanel (derecha) en cada una de las etapas fenológicas del cultivo en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.....	56
Figura 24. Curvas de acumulación (mg kg^{-1}) de Manganeseo (A), Azufre (S) y Boro (B) por parte de los cultivares Topito (izquierda) y Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.....	57
Figura 25. Correlación entre parámetros de crecimiento y nutrientes evaluados cultivar Cubanel.....	58
Figura 26. Correlación entre parámetros de crecimiento y nutrientes evaluados cultivar Topito.....	59

RESUMEN

El ají es considerado un cultivo promesa para la economía de la región Caribe, por su creciente demanda nacional e internacional, alto rendimiento y bajos costos de producción; siendo una de las hortalizas que más se cultiva en el departamento del Magdalena. Los requerimientos nutricionales para el desarrollo del cultivo del ají en los cultivares Topito y Cubanel se determinaron para dar respuestas a planes de fertilización en suelos con condiciones edafo-climáticas similares a los del Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena.

En el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, se determinaron las cantidades de macro y micronutrientes absorbidos para las plantas de ají cultivar Topito y Cubanel. Se realizaron muestreos al azar cada 15 días tomando de 3-10 plantas con características fisiológicas y morfológicas idóneas, se evaluaron parámetros de crecimiento (diámetro del tallo, N° hojas, altura de la planta, biomasa y masa seca) para establecer la curva de crecimiento y acumulación de biomasa de los cultivares.

Los resultados permitieron establecer en las etapas fenológicas del ají la absorción de nutrientes, la relación existente entre los parámetros de crecimiento y los contenidos de nutrientes en el tejido vegetal, evidenciando que los cultivares Topito y Cubanel presentaron diferencias en la absorción de nutrientes en las condiciones agroclimáticas de la zona de estudio donde la variedad Topito superó en los parámetros de crecimiento evaluados y en la acumulación total de macro y micronutrientes al cultivar Cubanel pese a pertenecer a la misma especie. Todo lo anterior conlleva al establecimiento un plan de fertilización particular para cada cultivar.

1. PRESENTACION

La nutrición vegetal es el conjunto de procesos mediante los cuales las plantas toman sustancias del exterior y las transforman en materia prima y energía. Así, utilizan la luz solar para sintetizar los componentes de dióxido de carbono agua y elementos minerales específicos que son esenciales para la vida, conocidos como macro y micronutrientes¹.

Con el fin de alcanzar el óptimo desarrollo y producción de un cultivo es importante conocer las cantidades de nutrientes extraídos del suelo, las exigencias y requerimientos en todo su ciclo fenológico, lo que se logra a través de las curvas de absorción de nutrientes, que son hasta la fecha, el instrumento que brinda los datos más reales de las cantidades consumidas por un cultivo durante todo su ciclo de vida; sirven para conocer las cantidades mínimas a las que debe tener acceso un cultivo para alcanzar los rendimientos propuestos en el sistema productivo. Las curvas de absorción se consiguen con base a la asociación entre peso seco y contenidos de nutrientes en los tejidos de la planta².

Por lo mencionado, este escrito presenta los resultados de investigación encaminados a determinar la absorción diferencial de nutrientes en el cultivo de ají (*Capsicum annuum* L CV Topito y Cubanel) en las condiciones edafoclimáticas del Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena (C.D.A.F) en las diferentes etapas fenológicas.

El proceso se llevó a cabo en el C.D.A.F de la universidad del Magdalena con apoyo del Grupo de Investigación Suelo Ambiente y Sociedad (G.I.S.A.S) avalado por COLCIENCIAS; en el que se determinó la absorción de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Na) y micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn, S, B), siendo el estudio de éstos un aporte esencial para la elaboración del plan de fertilización sin exceder el uso de fertilizantes.

Los resultados obtenidos de la investigación fueron presentados en diferentes eventos académicos como los Encuentros Departamentales de Semilleros de Investigación, nacionales e internacionales de la red COLSI 2015 y 2016 con apoyo del Grupo de Investigación Suelo Ambiente y Sociedad G.I.S.A.S y la Universidad del Magdalena, obteniendo altas calificaciones que avalan la calidad de los resultados.

¹ **FAGRO**. Nutrición vegetal. [En línea] <http://www.fagro.mx/nutricion-vegetal.html> [Citado en 2017/06/20].

² **BERTSCH, Florida**. Absorción de nutrientes por los cultivos. San José, Costa Rica. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa. 2003. p.307.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de ají (*Capsicum annum L.*) es importante para la economía colombiana; en los últimos años su producción ha aumentado de forma notoria pasando de un área cosechada de 1564 ha en 2010 a 3265 ha en 2013. De igual forma, muestra producciones de 13982 t. en 2010 y 23715 t. en 2013 representando una tasa de crecimiento promedio anual de 24.3 % en área cosechada y 18.1 % en producción³.

El ají se cultiva durante todo el año para el consumo en fresco, pero a la vez se cuenta con el producto seco (que está sujeto a las épocas de lluvia y sequía), según la FAO⁴ el promedio de área cultivada a nivel mundial para el periodo 2010 y 2013 fue de 1.9 millones de hectáreas, donde el 64 % se ubicó en Asia, particularmente en China con 37 % e Indonesia con 13 %; durante el 2013, China con 50.8 %, México con 7.4 % y Turquía con 6.9 %, fueron catalogados como los principales productores.

En Colombia, los principales departamentos productores de ají para el 2013 son: Magdalena con 1608 ha, La Guajira con 372 ha, Cesar con 280 ha, Córdoba con 273.5 ha, Atlántico 224.3 ha, Sucre con 153 ha⁵, con producciones de 12578.5 t. en Magdalena, 2732.8 t. en Córdoba, 2300 t. en La Guajira, 2300.4 t. para Valle del Cauca, 1054.5 t. en Cesar y 840.1 t. en Sucre⁶.

El Magdalena es el departamento que cuenta con mayor área sembrada de ají en el país (49.2 %) y con 53 % de la producción⁷; este cultivo cuenta con alto consumo interno y creciente demanda internacional, convirtiéndose en uno de los productos promesa para la economía de la región Caribe⁸. Para lograr esto, se requiere que la planta tenga acceso a agua y nutrientes en cantidad, calidad en momentos oportunos.

Sabiendo que la absorción de nutrimentos es un fenómeno que ocurre diariamente y que cada proceso metabólico de la planta requiere nutrimentos diferenciales, la

³ **AGRONET.** Area cosechada, producción y rendimiento de ají, 2010-2013. p. 3-6. [En línea] <<http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Agrocadenas.aspx>>. [Citado en 2015/06/17] .

⁴ **FAO.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2015-b). Base de datos sobre producción de bienes agropecuarios. [En línea] <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>. [Citado en 2015/05/12].

⁵ **AGRONET.** Principales departamentos productores de aji en colombia, ordenados por area 2013. [En línea] <<http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Agrocadenas.aspx>>. [Citado en 2015/06/17] .

⁶ **AGRONET.** Principales departamentos productores de aji en colombia, ordenados por produccion, 2013. [En línea] <<http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Agrocadenas.aspx>>. [Citado en 2015/06/17] .

⁷ **AGRONET.** Comparativo en la produccion de ají, departamentos, Atlantico- cesar- cordoba-la guajira-Magdalena-sucra, 2010-2013. P6 [En línea] <<http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Agrocadenas.aspx>>. [Citado en 2015/06/17] .

⁸ **CORPOICA.** Ají topito magazín. [En línea] <<http://www.corpoica.org.co:8086/ver?vid=11152>> [Citado en 2015/05/05].

duración y las variaciones en biomasa de cada una de las etapas fenológicas y su relación con los cambios en la concentración de elementos en los diferentes tejidos vegetales, permitirá familiarizarse con los requisitos nutricionales del cultivo. De esta forma, se podrá establecer las curvas de absorción, para afinar la fertilización a fin de satisfacer los requerimientos puntuales a lo largo del desarrollo del cultivo⁹.

Según investigaciones realizadas en algunos países centroamericanos en cuanto a requerimientos nutricionales de la planta, se tiene que los elementos requeridos en mayores cantidades por la planta son N, P, K, y en cantidades menores Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, y Cu (en orden descendente de cantidad)¹⁰.

En la región Caribe no se encuentran investigaciones sobre absorción de nutrientes para ají, por lo cual el trabajo es base fundamental para conocer los requerimientos nutricionales (*C. annuum* L. CV Topito y Cubanel).

⁹ **BERTSCH, Florida.** Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. En: N° 57, abril 2005, Quito, Ecuador. Informaciones Agronómicas. INPOFOS A.S.A, 2005. p. 1-2.

¹⁰ **CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE).** Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce. Turrialba, Costa Rica. 1993. p. 143.

3. ANTECEDENTES

La curva de absorción de nutrientes es una herramienta utilizada para obtener las cantidades de nutrientes absorbidos por los distintos tejidos de las plantas en diferentes etapas fenológicas, con ella es más real la cuantificación de nutrientes requeridos para su desarrollo óptimo¹¹.

Se han realizado varias investigaciones en el tema, el objeto siempre es alcanzar mayor producción y reducir los costos económicos y ambientales del sector agrícola. Entre los trabajos realizados a nivel general se pueden citar:

Rincón, et al¹². En su investigación “Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli en la Alberca Murcia”, llegaron a la conclusión que las condiciones ambientales y del manejo técnico del cultivo son factores determinantes en la productividad. La absorción total de macronutrientes por brócoli para una producción comercial de 19.2 kg ha⁻¹ de inflorescencias fue: 243.9, 28.7, 240.9, 221.3 y 23.0 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. La mayor velocidad de absorción de N, P y K se produjo en el período de mayor crecimiento foliar, la de Ca en el período de inflorescencias y la de Mg se mantuvo constante durante todo el cultivo. La velocidad de acumulación específica de N, K y Ca fue máxima en las primeras fases del crecimiento mientras que para el caso del P se mantuvo constante, aunque con una ligera disminución al final del cultivo; para el Mg la acumulación específica fue máxima en la formación de la inflorescencia.

Saravia¹³. En la investigación, “Curvas de absorción de nutrientes en invernadero para la variedad de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en Zamorano, Honduras”; se demostró que la planta absorbe 307, 61, 265, 155, 33, 43, 1, 2, 3, 1 y 0.35 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn y B, respectivamente hasta el día 110 después de siembra. Así mismo, en la etapa de cosecha, la planta absorbe el mayor porcentaje de nutrientes a excepción del Cu que lo hace en la etapa de maduración la que coincide con la mayor tasa de acumulación (6.7 t ha⁻¹) de materia seca.

¹¹ **BERTSCH, Florida**. Absorción de nutrientes por los cultivos. San José, Costa Rica. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa. 2003. p. 183.

¹² **RINCON, L. et al**. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. Centro de investigación y desarrollo agroalimentario (CIDA). Estación sericícola. Murcia, España. 1998. p. 334.

¹³ **SARAVIA, Fanny M**. Elaboración De Curvas De Absorción De Nutrientes Para La Variedad De Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) Alboran Bajo Condiciones De Invernadero En Zamorano, Honduras. Proyecto Especial Presentado Como Requisito Parcial Para Optar Al Título De Ingeniera Agrónoma En El Grado Académico De Licenciatura. Honduras: Zamorano. Carrera De Ciencias Y Producción Agropecuaria. 2004. p. 26.

Piraneque et al¹⁴. En su artículo “Evolución del contenido de elementos nutrientes en suelos cultivados con cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Tibasosa Boyacá, Colombia”, determinaron las curvas de absorción de nutrientes para la especie y concluyeron que las concentraciones de macronutrientes se presentaron en orden: N>Ca>K>Mg>S>P y los de micronutrientes: Mn>Fe>Zn>Cu>B, existiendo interacciones positivas entre N/Fe, P/K, P/Ca, P/Mg, K/Mg, K/S, Mg/S, B/Zn Y Cu/Mn y negativas entre N/K, N/S, P/Fe, Mg/Fe, B/Fe, S/Fe, Cu/Zn Y Zn/Mn, presentando relaciones de sinergia y antagonismo que afectan la concentración y disponibilidad de nutrientes.

Pineda et al¹⁵. En su trabajo “Extracción y eficiencia de nutrientes durante el crecimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en condiciones de hidroponía, Chapingo, México” afirman que la mayor tasa de acumulación de materia seca y de absorción de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) se produjo entre 59 a 74 días de trasplante (ddt) que comprende la etapa de floración y el inicio de llenado de los frutos. La absorción de nutrientes mostró un incremento gradual de P<Mg <Ca <K <N, con una eficiencia de 38.3, 59.6, 24.3, 39.3 y 80.3 %, respectivamente al finalizar el crecimiento vegetativo; durante los primeros 40 ddt, la concentración de N, P, K, Ca y Mg en la solución nutritiva debe reducirse, pero después de 40 ddt la concentración de Ca y P debe aplicarse en cantidades más bajas.

Vargas¹⁶. En su trabajo “Determinación de las curvas de acumulación de nutrientes en las variedades de clavel Nelson y Dakota (*Dianthus Caryophyllus*) en Quito, Ecuador, argumentó que la absorción de N, K, Zn, Fe y B es similar para épocas y variedades; pero con otros nutrientes como el cobre (Cu) existen diferencias estadísticas.

Mendoza et al¹⁷. En su investigación “Crecimiento, acumulación de macronutrientes y producción de melón (*Cucumis melo*), Mossoró, Brasil “, encontró que en la variedad (‘Olimpic xpress’) el fruto extrae 61 % de N, 73 % de P, 66 % de K, 9 % de Ca, 35 % de Mg y 39 % de S y, para la variedad (‘Iracema’), 58, 70, 55, 6, 33 y 41 %, respectivamente. Demostró que (‘Olimpic xpress’) es menos eficiente en la absorción de nutrientes.

¹⁴ **PIRANEQUE, Nelson V.** Factores edafológicos que determinan la presencia y diseminación del hongo *sclerotium cepivorum* en el cultivo de cebolla de bulbo (*allium cepa*) en Tibasosa, Boyacá, Universidad Nacional de Colombia sede palmira.2007. p. 42.

¹⁵ **PINEDA- PINEDA, J. et al.** Extraction and nutrient efficiency during the vegetative growth of tomato under hydroponics conditions. Universidad autónoma Chapingo, CP 56230, México. 2011. p. 1000.

¹⁶ **VARGAS, Marco V.** Determinación de las curvas de acumulación de nutrientes en las variedades de clavel nelson y dakota (*Dianthus Caryophyllus*), PULJILI- COTOPAXI. Tesis de grado previo a la obtención de título de magister en floricultura. Quito- Ecuador: Universidad central del Ecuador. Facultad de ciencias agrícolas. Instituto de investigación y postgrado. 2013. p.74.

¹⁷ **MENDOZA, Jorge et al.** Crecimiento, acumulación de macronutrientes y producción de melón cantalupo y amarillo. Universidad federal rural do semi-Arido, Brazil. 2014. p. 80-81.

Al revisar los antecedentes para la especie en estudio, ají (*C. annuum* L) se encontraron los siguientes antecedentes:

Azofeifa y Moreira¹⁸. En su artículo “Absorción y distribución de nutrimentos en plantas (*Capsicum annuum* CV. UCR 589) Alajuela, Costa Rica”, concluyeron que la etapa más susceptible a considerar para un programa de fertilización es el periodo entre los 96 y 124 DDS donde esta especie absorbe la mayor cantidad de K, Ca, Mg, N, P y S, elementos que son esenciales para este cultivo.

Azofeifa y Moreira¹⁹. En su investigación “Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de ají jalapeño (*C. annuum* L. CV. HOT) Alajuela, Costa Rica” muestran que entre los 96 y 166 DDS las flores presentaron el valor de biomasa más alta. En la raíz esto ocurre a los 194 dds. En el periodo de 82 - 152 dds ocurre el mayor incremento de biomasa reflejado en el peso seco total, debido al crecimiento de la parte aérea y los frutos. La concentración de los elementos nutritivos en las distintas partes de la planta varió durante el ciclo de crecimiento. El principal evento fenológico que reguló estas fluctuaciones fue el proceso de fructificación. Las plantas acumularon K, Ca y Mg principalmente en la parte aérea, P y S en la fruta, y N entre la parte aérea y los frutos. Una buena parte de los nutrimentos fueron translocados a los frutos, importantes en el sistema de producción.

Salazar y Juárez²⁰. En su investigación “Requerimiento macronutricional en plantas de ají (*C. annuum* L.) Xalisco, Nayarit, México” probaron que la extracción de nutrientes difiere según la variedad (jalapeño, dulce y pimiento), órganos muestreados y sistemas de producción. Por lo anterior sugiere continuar con investigaciones respecto al tema involucrando las condiciones bióticas y abióticas del cultivo.

CORPOICA²¹. En el magazín sobre ají Topito realizado en Sevilla-Magdalena cita la investigación “Mejoramiento genético de especies hortícolas de interés socioeconómico actual y potencial en Colombia”; mencionando que el ají Topito se ha convertido en uno de los productos promesa para la economía del país; por su alto consumo interno, las necesidades del mercado internacional, fácil manejo agronómico, rentabilidad hasta de 100 % y producción superior a 20 t ha⁻¹.

¹⁸ **AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco**. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* CV. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica Agronomía Costarricense 2005; 29: p. 77-84.

¹⁹ **AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco**. Absorción y distribución en las plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L CV. HOT) en Alajuela, Costa Rica, Agronomía costarricense 32(1):19-29 ISSN: 0377-9424/ 2008. p.13.

²⁰ **SALAZAR- JARA. FL, JUAREZ – LOPEZ. P**. Requerimiento Macronutricional De Chile (*Capsicum annuum* L). Xalisco, Nayarit, México, Bio- Ciencias., ISSN 2007-3380. 2013. p. 32

²¹ **CORPOICA**. Ají topito magazín. [En línea] <<http://www.corpoica.org.co:8086/ver?vid=11152>> [Citado en 2015/05/05].

4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

4.1 Cultivo de Ají (*Capsicum annuum* L.)

El ají tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América, donde las especies más cultivadas son *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense* y *C. pubescens*; pertenece a la familia *Solanaceae*, es una planta herbácea de crecimiento determinado, tallo leñoso, hojas simples, alternas, pequeñas, las flores son actinomorfas, pequeñas y constan de una corola blanca, el fruto es una baya con 2 a 4 lóculos, la altura de las plantas varía de 0.80 a 1 m según las variedades. El desarrollo óptimo del cultivo se da a temperaturas diurnas 20-25°C y nocturnas de 16-18°C; por debajo de 15°C afecta el desarrollo y deja de crecer a partir de los 10°C, por encima de 35°C se produce la caída de las flores. Es una planta muy exigente en luminosidad, sobre todo en los primeros estados de desarrollo y durante la floración, las necesidades hídricas se estiman en (1m³ m⁻²)²².

En cuanto a los requerimientos edáficos, los suelos más adecuados para el cultivo de ají son franco-arcilloso, franco-arenoso, profundos y bien drenados, con valores de pH óptimos 5.8 - 7, es medianamente sensible a la acidez y a la alcalinidad²³.

La adquisición de los nutrientes se ve afectada o favorecida por diversos factores entre los que se encuentran la alta heterogeneidad espacial de los suelos, la solución química en relación a la distancia y el área de absorción: el sistema de raíces y área ectomicorrícica, existiendo varios procesos químicos que ocurren en la vecindad de las raíces influenciando el movimiento dinámico y por tanto la absorción de nutrimentos por parte de las plantas²⁴.

En lo que se refiere a la cantidad de nutrientes absorbidos por una planta, ésta se obtiene de la relación entre el peso seco de los tejidos y la concentración de nutrientes en los mismos. Este dato se consigue con cada muestreo durante el ciclo del cultivo con el fin de elaborar las respectivas curvas de absorción²⁵. Por tal razón, las plantas que reciben nutrición mineral balanceada son más tolerantes a enfermedades, es decir, tienen mayor capacidad para protegerse de nuevas infecciones y limitar las ya existentes, cuando uno o más nutrimentos son abastecidos en cantidades excesivas o deficientes²⁶.

²² **INFOAGRO**. El cultivo del pimiento (1ª parte) [En línea] <<http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>> [Citado en 2015/05/01]

²³ **ASOFRUCOL**. Plan Hortícola Nacional. [En línea] <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf> [Citado en 2017/05/08].

²⁴ **HINSINGER, P. and JAILARD, B.** Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. *J. Soil Sci.* 44, 525-534. 1993.

²⁵ **BERTSCH, Florida.** Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. En: N° 57, abril 2005, Quito, Ecuador. *Informaciones Agronómicas*. INPOFOS A.S.A, 2005.p.1-2.

²⁶ **HUBER, D.M.** Soil borne plant pathogen: management of disease with macro and microelements. In: Engelhard A.W (ed.). *St. Paul, Minnesota, APS Press.* 1989. p.1-8.

4.2. Suelo

Los suelos se componen de sólidos, líquidos y gases mezclados en proporciones variables, está regida por las propiedades físicas, químicas y biológicas que pueden ser evaluadas y medidas por reconocimiento visual o por tacto, con algún tipo de escala de tamaño, consistencia, etc. El espesor, estructura, textura, porosidad consistencia son importantes propiedades físicas de los suelos teniendo significado directo ya que el espesor ocupado por las raíces y las relaciones de aire y agua, están determinadas en su mayoría por la constitución de los horizontes. Además, presenta significación indirecta adicional, puesto que ciertos aspectos químicos y biológicos de la fertilidad pueden inferirse aproximadamente, conociendo las propiedades físicas. De los suelos profundos podemos mencionar que ofrecen una amplia zona para la ocupación de las raíces, mayor capacidad para almacenar agua y nutrientes en comparación con otros suelos²⁷.

4.2.1. Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo es la expresión con la que se designa la aptitud de un suelo para asegurar a la planta unas buenas condiciones de desarrollo y el suministro adecuado de agua y elementos nutritivos, todo ello lleva a la obtención de buenas cosechas. La fertilidad del suelo es la resultante de la interacción de numerosos componentes físicos, químicos y biológicos que por una parte dependen del medio (suelo, clima) y por otra, de la actividad humana (laboreo, riego, fertilización, etc.)²⁸

Para la fertilización del suelo, un elemento es esencial es si la planta lo requiere para su desarrollo normal y para que pueda completar su ciclo de vida. Los macronutrientes son constituyentes de compuestos orgánicos como las proteínas y así, son esenciales en grandes cantidades. Los micronutrientes son constituyentes de moléculas enzimáticas y por tanto, son esenciales en pequeñas cantidades. Teniendo en cuenta estas consideraciones, resulta difícil generalizar cuáles elementos minerales son esenciales para el crecimiento de las plantas²⁹.

4.3. Extracción y absorción de nutrientes

La extracción de nutrientes depende de diferentes factores internos como el potencial genético y la edad de la planta y externos como la temperatura, humedad y brillo solar, entre otros. El análisis edáfico acompañado del foliar, son herramientas de diagnóstico que dan solidez a los programas de fertilización y se utilizan para confirmar síntomas visuales de deficiencia o toxicidad. Pero es necesario conocer el comportamiento de extracción de nutrientes, determinar

²⁷ THOMPSON, L.M y TROEH, F.R. Los suelos y su fertilidad. New york, USA., cuarta edición, Editorial Reverte, S.A., 1988. p. 52-54.

²⁸ AGUIRRE, Sonia E. y PIRANEQUE, Nelson V. Nutrición vegetal. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. UNAD, Bogotá, Colombia. 2013. p.13.

²⁹ *Ibíd.* p.19.

épocas de mayor absorción durante un ciclo productivo, lo que permite afinar los planes de fertilización³⁰.

Por tal razón, se debe considerar que el flujo de nutrimentos en el sistema suelo - planta está en función del ambiente, la especie, el manejo agrícola, los factores socioeconómicos y por sus complejas interacciones bioquímicas generadas, así como las diferentes vías de movimiento. Por lo antes mencionado, cuando la disponibilidad excede a la demanda, varios procesos actúan para evitarlo. Dichos procesos incluyen transformaciones como la nitrificación, desnitrificación, inmovilización, fijación, precipitación, hidrólisis, lixiviación y volatilización entre otros³¹.

Para que estos procesos se lleven a cabo, las plantas absorben nutrientes esenciales en mezcla con el agua directamente de la solución del suelo. Sin embargo, las cantidades presentes en ésta pueden no ser suficientes para el crecimiento de la misma, por lo que el contenido de nutrientes en solución constantemente puede ser reemplazado a partir de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el suelo y la aplicación de fertilizantes. Así, la absorción de nutrientes por las plantas depende en gran medida de su disponibilidad, la que está relacionada con los procesos y reacciones que tienen lugar en el suelo³².

4.3.1. Curvas de absorción de nutrientes

Las curvas de absorción son el instrumento que brinda los datos más cercanos a lo que en realidad consume un cultivo durante todo su ciclo de vida; por lo tanto, sirven para conocer la cantidad mínima requerida por un cultivo que persigue determinado rendimiento. La obtención de estas curvas de absorción de nutrientes se construye con base en el asocio entre la masa seca de los tejidos de la planta con las concentraciones de nutrientes presentes en los mismos³³.

³⁰ **BERTSCH, Florida**. Absorción de nutrientes por los cultivos. San José, Costa Rica. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa. 2003. p. 183.

³¹ **SHAVIV, A. y MIKKELSEN, R. L.** Slow release fertilizers for a safer environment maintaining high agronomic use efficiency. *Fert. Res*, 1993, vol. 35, p. 1-12.

³² **AGUIRRE, Sonia E. y PIRANEQUE, Nelson V.** Nutrición vegetal. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. UNAD, Bogotá, Colombia. 2013. p. 20.

³³ **BERTSCH, Florida**. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. En: N° 57, abril 2005, Quito, Ecuador. Informaciones Agronómicas. INPOFOS A.S.A, 2005. p.1-2.

4.3.2. Pasos para la elaboración de curva de absorción de nutrientes

Según Bertsch³⁴, los pasos que hay que seguir para construir una curva de absorción son los siguientes:

- a. Seleccionar una sola variedad del cultivo
- b. Escoger lotes con plantas en excelentes condiciones (IDEAL) y con rendimientos potenciales altos.
- c. Se pueden utilizar lotes diferentes para las distintas edades siempre y cuando las condiciones de suelo, manejo y rendimiento sean semejantes
- d. Definir las etapas fenológicas más importantes del ciclo de cultivo (no necesariamente basándose en días o días después de la siembra)
- e. Dividir la planta en los tejidos de importancia (vegetativo, frutos, raíz, etc.)
- f. Tomar mínimo 3 repeticiones por etapa y tejido; y medir: peso fresco, peso seco y concentración de nutrientes en los tejidos
- g. Calcular el peso seco acumulado (kg ha^{-1}) para cada etapa fenológica
 - Usar el mayor número de repeticiones posibles (mínimo 3)
 - Si los cálculos se hacen por planta, multiplicar cada repetición por el número de plantas/ha que haya y luego sacar un promedio
 - Si los cálculos se hacen por área, transformar dicho valor a kg ha^{-1} con base en el área útil real que el cultivo ocupe en la ha (excluir caminos, pasillos, canales, etc.).
- h. Graficar la curva de crecimiento en kg ha^{-1} , poniendo el tiempo en el eje x y los kg/ha en el eje y, para los diferentes tejidos y el total.

4.4. Fenología de un cultivo

Dado de que plantas no tienen el mismo comportamiento en todos los ambientes, la fenología de éstas tiende a actuar de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas donde se encuentre. Sin embargo, las plantas tienen un patrón fenológico establecido que permite describir ciertas etapas de forma general. La semilla es donde se encuentra encapsulado el embrión producto de la embriogénesis, está en un estado de latencia el cual se ve interrumpido al momento de ser hidratada aumentando la producción de giberelinas e iniciación de la germinación encaminada por un pequeño aumento de auxinas hacia las regiones meristemáticas; no siendo fotosintéticamente activas, los cotiledones que emergen de la semilla contienen nutrientes necesarios para que la especie complete su desarrollo hasta obtener las primeras hojas verdaderas fotosintéticamente activas³⁵.

³⁴ **SECSUELO.** Utilidad de los estudios de absorción. [En línea] <<http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/3-Utilidad-de-los-estudios-de-absorcion-Bertsch-F.pdf>> [Citado en 2015/06/17].

³⁵ **PARADAIS SPHYNX.** Desarrollo de las plantas, crecimiento y nutrición vegetal. [En línea] <<https://naturaleza.paradais-sphinx.com/plantas/desarrollo-de-las-plantas-crecimiento.htm>> [Citado en 2017/05/30]

De igual forma, el rizoma es propio de plántulas o plantas adultas siendo un entramado de raíces, sin embargo, la formación de las raíces inicia desde la radícula lo que tiene lugar por los procesos osmóticos y de cavitación, encargadas de captar el agua del suelo que tiene diluidos elementos necesarios para el crecimiento vegetal. Las raíces son encargadas de captar la savia no elaborada que posteriormente será transportada por la xilema hasta las hojas donde el aporte energético de la luz solar es transformado en sustancias de reserva o sustratos energéticamente disponibles que aportan al crecimiento de la planta y desarrollo vegetativo³⁶.

Por consiguiente, para que una planta alcance su periodo de estabilización en un medio definitivo se ve sometida a condiciones de estrés por factores antropogénicos, como respuesta a esto se efectúan procesos de adaptación y acomodación siendo la adaptación una modificación que se manifiesta continuamente en la fisiología de la planta, mientras la acomodación es una modificación transitoria y por lo tanto reversible³⁷.

El crecimiento vegetativo se conoce como el periodo en el cual se da la formación o crecimiento de las plantas (tallo, hojas, raíces, flores); inicialmente germina la semilla y se da el proceso de adhesión al suelo por generación de raíces verdaderas, el crecimiento aéreo con la formación de dos cotiledones; posteriormente dada la cantidad de luz y agua se inicia el crecimiento del tallo el cual consiste en un alargamiento de éste por encima de los cotiledones (epicótilo) dando lugar a la formación de un nodo con células meristemáticas que se diferenciarán permitiendo la formación de las primeras hojas verdaderas. Al pasar el tiempo y dada la constitución de las hojas verdaderas, se inicia la fotosíntesis que requiere de agua y elementos básicos del suelo transportados a través de haces vasculares (xilema y floema), crecen las raíces y generan pelos radiculares aumentando la superficie de absorción³⁸.

Consecutivamente, se da el crecimiento reproductivo el cual depende básicamente de la radiación solar, cuando disminuye en cuanto al tiempo de estímulo, se incrementa la regulación hormonal de la planta y da lugar a formación de florigen (hormona de crecimiento) que funciona como un factor de diferenciación celular buscando que en los meristemas se formen flores en vez de hojas o se dé la elongación del tallo³⁹.

³⁶ **PARADAIS SPHYNX**. Partes de planta, estructura, crecimiento vegetativo y reproductivo. [En línea] <<https://naturaleza.paradais-sphinx.com/plantas/partes-de-las-plantas-estructura.htm> > [Citado en 2017/05/30]

³⁷ **ACOSTA, M et al.** Fundamentos de fisiología vegetal. BARCELONA: EDICIONS UNIVERSITAT DE BARCELONA. 2000. p. 431.

³⁸ **PARADAIS SPHYNX**. Partes de planta, estructura, crecimiento vegetativo y reproductivo. [En línea] <<https://naturaleza.paradais-sphinx.com/plantas/partes-de-las-plantas-estructura.htm> > [Citado en 2017/05/30]

³⁹ **Ibíd.**

Es por ello que la floración es la etapa del desarrollo en donde inicia la fase reproductiva de la planta; el éxito de la reproducción de una planta depende que la floración tenga lugar en el momento más adecuado de su desarrollo y cuando las condiciones ambientales sean favorables⁴⁰

A la anterior etapa le sigue el desarrollo del fruto, el cual es precedido por la fecundación o estímulo partenocarpico del ovario. Este inicia su desarrollo hasta convertirse en un fruto maduro, transición que se da en fases consecutivas con características bien definidas, pero inestables en duración, según las condiciones ambientales, especies y demás variables. El crecimiento de un fruto sigue una curva sigmoide o doble sigmoide en algunos casos, en ella se distinguen 3 fases: un periodo inicial caracterizado por la división celular (fase I), segundo periodo de alargamiento celular (fase II), y un periodo final en el que el fruto casi prácticamente en su crecimiento y madurez (fase III)⁴¹

Se tiene conocimiento que los frutos del cultivo de ají son no climatéricos, esto indica para los efectos de proceso de maduración, que ellos acumulan monosacáridos durante su crecimiento, por tal razón durante la maduración no experimentan incrementos significativos de su tasa respiratoria. Por consiguiente, la maduración se define como el conjunto de cambios externos, de sabor y de textura que un fruto experimenta cuando completa su crecimiento. En esta fase del desarrollo se incluyen procesos como la maduración del pericarpio, disminución del contenido de almidón, incremento en la concentración de azúcares, reducción de la concentración de ácidos, pérdida de la firmeza junto a otros cambios físicos y químicos. Al superar esta fase, el fruto pierde turgencia aumenta su sensibilidad a las condiciones del medio, pierde control metabólico e inicia su senescencia⁴².

⁴⁰ **ACOSTA, M et al.** Fundamentos de fisiología vegetal. BARCELONA: EDICIONS UNIVERSITAT DE BARCELONA. 2000. p. 403.

⁴¹ **ibíd.** p. 425.

⁴² **ibíd.** p. 515.

5. JUSTIFICACION

La misión del ingeniero agrónomo es aumentar la producción agrícola, pero en lo posible sin detrimento de los recursos naturales. No existe contradicción entre el conocimiento y la producción, siempre y cuando su aplicación tenga una concepción holística sostenible. Generar conocimiento en los requerimientos nutricionales puntuales de un cultivo permitirá reducir la aplicación excesiva de agroquímicos lo que reduce la lixiviación (contaminación del agua) y la volatilización o contaminación atmosférica.

En la costa Caribe se ha aumentado la producción de hortalizas entre ellas se destaca la producción de ají; por lo que es necesario establecer las curvas de absorción de nutrientes que permitan elevar la rentabilidad de este cultivo teniendo en cuenta su alto consumo interno y la creciente demanda internacional.

El cultivo de ají es propio de la economía agrícola de pequeños productores por lo tanto es pertinente generar tecnologías que permitan llegar a estas comunidades a través de trabajos desarrollados por la academia que puedan ser replicados en campo en pro de elevar en nivel de vida de estos productores.

Los resultados aquí alcanzados y mostrados pueden servir como fuente de información básica para los productores e investigadores en el cultivo del ají en la zona Caribe con zonas de características agroecológicas similares, que deseen utilizar los métodos y resultados obtenidos para mejorar el proceso productivo, elevar los ingresos o avanzar en los procesos generación del conocimiento.

6. OBJETIVOS

6.1. General

Determinar la absorción diferencial de nutrientes en el cultivo de ají (*Capsicum annuum L.*, CV Topito y Cubanel) en las diferentes etapas fenológicas bajo condiciones del Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena (C.D.A.F).

6.2. Específicos

- Establecer la curva de crecimiento del cultivo de ají (*C. annuum L.*, CV topito y cubanel) en las condiciones edafoclimáticas del C.D.A.F.
- Determinar las etapas fenológicas del cultivo en los cultivares Topito y Cubanel.
- Determinar la absorción de macro y micronutrientes en el cultivo de ají para los cultivares Topito y Cubanel.
- Establecer la relación existente entre absorción de nutrientes con parámetros de crecimiento en los cultivares de ají Topito y Cubanel.

7. METODOLOGIA

El trabajo se realizó en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena (C.D.A.F) (Figura 1) Ubicado en el distrito de Santa Marta, departamento del Magdalena; zona de vida de Monte espinoso tropical (me-T – Holdridge), coordenadas geográficas 74° 11' 5.33" de longitud oeste y 11° 13' 28.98" de latitud norte⁴³ 20 m de altura sobre el nivel del mar, y 28 °C de temperatura promedio anual.

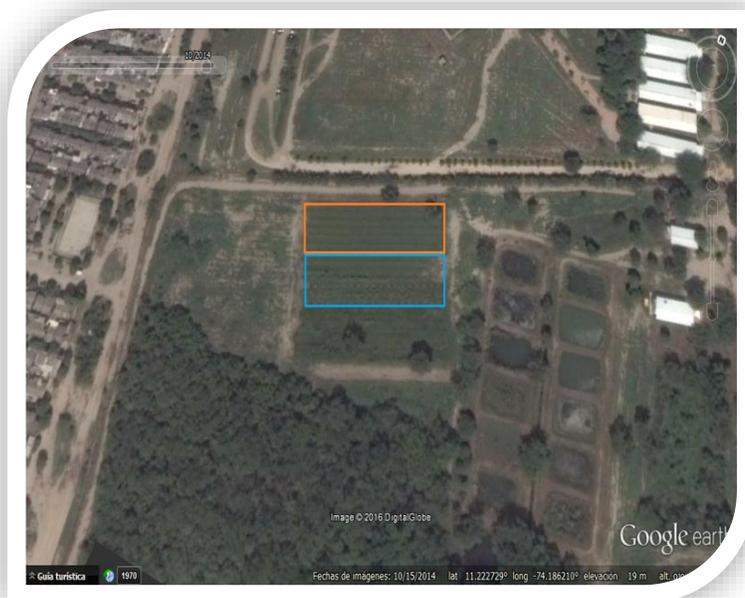
Suelos con estructura de bloques subangulares, a 10 cm un horizonte sin estructura (masiva o de grano suelto), los suelos se encuentran asociados a bajo grado evolutivo, ocurrencia de texturas gruesas, suelos provenientes de sedimentos coluvio-aluviales gruesos y de granito⁴⁴.

La siembra en campo se realizó entre los meses de agosto del año 2015 y enero del 2016. Los análisis de tejidos vegetales y mineralización en húmedo se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad del Magdalena, la absorción de macro y micronutrientes se realizó por espectrofotometría de absorción atómica en el laboratorio de suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT.

⁴³ **GOOGLE EARTH.** La información geográfica del mundo en tu mano [En línea] <<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>> [Citado en 2015/06/17].

⁴⁴ **VÁSQUEZ, José R.** Caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en los suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena. Diss. Universidad Nacional de Colombia, 2009.p. 26-27.

Figura 1. Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena 2016.



Fuente: adaptado de google earth

7.1. Semillero, condiciones del suelo, preparación del terreno y establecimiento en campo

En la siembra de los cultivares Topito y Cubanel se empleó semilleros de 72 puestos por unidad de semillas con dimensiones de 52 cm de largo por 26 cm de ancho y 8 cm de largo. El suelo fue Pindstrup plus - Naranja. Se aplicó riego manual (regadera) con periodicidad diaria; cinco días después de la siembra (dds), se obtuvo un porcentaje de germinación de 90 %; las plántulas con cuatro hojas verdaderas (15 dds), se asperjó con nutritfoliar® a razón de 1 cm³ 5 L⁻¹ de agua cada 15 días hasta el trasplante el cual se realizó 56 dds cuando las plántulas alcanzaron 15 cm de altura.

El lote en campo fue de 100 m de largo por y 10 m de ancho (1000 m²). Con pH de 8.06, C.E de 0.8 dSm⁻¹, 1.9 g kg⁻¹ de N, 0.41, 1.03 y 0.25 mg kg⁻¹ de P, S y B, respectivamente, 11.7 g kg⁻¹ de CO₂ y relación C: N de 6.55. Se hizo un pase de rastrillo californiano y se surcó a distancia de 1m. Para el trasplante se ahoyó a 10 cm de profundidad y 50 cm entre sitios, el riego por aspersión con periodicidad diaria hasta cosecha (Figura 2).

La fertilización edáfica fue con 5 gramos de 17-6-18-2 a los 15, 37, 52 y 67 ddt. Las aplicaciones foliares fueron con Nutrifoliar de 1 cc 5L⁻¹ de agua, con bomba manual a los 15, 35 dds y 2.45 cc 5L⁻¹ a los 45 dds; pasados 10 días después del trasplante (ddt), se aplicaron 25 cc 37.5 L⁻¹ con bomba de espalda.

Figura 2. Semillero, preparación del terreno y establecimiento en campo.



7.2. Establecimiento de la curva de crecimiento de los cultivares Topito y Cubanel

Se siguió la metodología descrita por Bertsch⁴⁵ para establecer las curvas de crecimiento. A los 15 días después del trasplante (ddt) se tomó de 3 a 10 plantas (según estadio de crecimiento) por cultivar en forma aleatoria, teniendo en cuenta condiciones de la planta tales como, hojas sanas, color verde uniforme, aspecto vigoroso; al momento de tomar la muestra se tuvo cuidado en no afectar la parte aérea y el sistema de raíces de la planta. Posteriormente, se retiró el exceso de suelo de las raíces, para ser llevadas al laboratorio de física y química de suelos de la Universidad del Magdalena, donde fueron lavadas con agua destilada y secadas al ambiente, fueron medidos los parámetros de crecimiento, luego se separó la parte aérea de la raíz y se empacaron y rotularon en sobres de papel kraft. Las muestras fueron llevadas al horno (memmert GmbH+ Co.KG estufa universal 200 - 800) a 70° C por 48 horas hasta obtener masa constante.

⁴⁵ SECSUELO. Utilidad de los estudios de absorción. [en línea] <<http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/3-Utilidad-de-los-estudios-de-absorcion-Bertsch-F.pdf>> [Citado en 2015/06/17].

7.3. Establecimiento de etapas fenológicas del cultivo de ají

Se hizo un registro del desarrollo de las plantas desde el momento de la siembra, el primer muestreo destructivo se realizó a los 15 días de trasplante (ddt) a intervalos de 15 días hasta finalizar el ciclo productivo de la planta.

7.4. Determinación de nutrientes absorbidos por la planta

Para la determinación de los nutrientes absorbidos por la planta, la muestra seca fue llevada al laboratorio de suelos de la Universidad del Magdalena donde se trituro con un molino IKA A 11 Basic, pasando el material por un tamiz de 2 mm, se empacó y se rotuló (Figura 3).

Figura 3. Molida y tamizada de muestras vegetales para posterior determinación de nutrientes absorbidos.



Posteriormente, por el método de mineralización en húmedo (Figura 4) para plantas descrita por ICA⁴⁶, pero modificada para este trabajo. Se tomaron 0.5 g de cada muestra, se llevó a un Erlenmeyer de 50 ml, donde se le incorporaron 15 ml de la solución ceniza A (12 ml de metanol ácido 30 %, 3 ml de peróxido de hidrogeno 30 %); fueron llevadas a una plancha de calentamiento a temperatura entre 120-130 °C, hasta alcanzar ebullición lo que se logró en un tiempo aproximado de 50 minutos. Consecutivamente, se dejaron enfriar las muestras a temperatura ambiente para luego agregar 5 ml de la solución ceniza B (20 ml de peróxido de hidrogeno al 30%, 20 ml de metanol ácido al 30% y 10 ml de ácido perclórico concentrado) se incorpora nuevamente a la plancha de calentamiento a temperatura de 180 °C hasta obtener disminución de la muestra y color blanco transparente, al cabo de lo cual se retiró de la plancha dejando enfriar.

⁴⁶ ICA. Manuel de técnicas de laboratorio. Amezquita Edgar *et al.* Código 0131047-93. Santafé de Bogotá, Colombia. 1993. p.179-185.

Se aplicó 18.5 ml de agua destilada suavemente por las paredes del Erlenmeyer, la solución final fue filtrada y embazada en recipientes plásticos debidamente rotulados, posteriormente se realizó una dilución 1 (tomaron 10 ml de la solución final y se agregaron 15 ml de agua destilada). La dilución 1 se empleó para la extracción y preparación de soluciones. La determinación de macro y micronutrientes (K, Ca, Mg, P, S, Cu, Zn, B, Fe y Mn) fue llevada a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica, N y C (Método de combustión) siguiendo los métodos descritos por ICA⁴⁷

Figura 4. Método de mineralización en húmedo empleado para obtener extracto de plantas.



7.5. Parámetros evaluados

Altura de la planta: se utilizó regla para medir la altura de la planta desde la base del tallo a la última bifurcación de las ramas (Figura 5).

Diámetro del tallo: se usó pie de rey para medir el diámetro del tallo de la planta ubicándolo en parte media de este.

Número de hojas: manualmente fueron contadas las hojas fotosintéticamente activas por planta muestreada.

⁴⁷ ICA. Manual de técnicas de laboratorio. Amezquita Edgar *et al.* Código 0131047-93. Santafé de Bogotá, Colombia. 1993. p.179-185.

Biomasa aérea y raíz: con ayuda de un bisturí se separa la parte aérea y radical de la planta, se pesaron en una balanza digital individualmente

Masa seca total: después de seca la muestra en el horno, se determinó la masa seca de la raíz y la masa seca aérea obteniendo la masa seca total de la muestra.

Número de frutos: manualmente fueron contados los frutos en la última etapa de muestreo, estos fueron pesados en la balanza digital en fresco y llevados a horno a 70 °C por 48 horas para posteriormente masa seca del fruto.

La curva de crecimiento se realizó mediante la utilización de los datos de masa seca por muestreo en relación a los días de trasplante (ddt), graficada en Excel.

Figura 5. Desarrollo vegetativo de *C. annuum* L. a) Cultivar Cubanel, b) Cultivar Topito.



7.6. Análisis de los datos

Para evaluar el comportamiento de las dos variedades, los datos colectados fueron tabulados en una hoja de cálculo Excel para el posterior análisis e interpretación. La curva de crecimiento se elaboró mediante la relación masa seca acumulada con respecto al tiempo. La evolución de crecimiento y de los contenidos de nutrientes fue examinada mediante análisis de medias repetidas en el tiempo y las relaciones entre contenidos nutricionales con parámetros de crecimiento se realizaron mediante análisis de correlación de Pearson. Para todos los análisis se empleó el software R statistical 3.02-2015.

8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	MESES												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Consulta bibliográfica													
Germinación y establecimiento en vivero													
Establecimiento en campo													
Muestreo de las plantas													
Análisis de los tejidos muestreados en el laboratorio													
Organización de datos													
Análisis estadístico y elaboración de curvas													
Redacción													
Socialización de proyecto y resultados													
Escritura del artículo													

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Acumulación de biomasa por los cultivares de ají

En la (Tabla 1) se observan los promedios de acumulación de biomasa por etapa para los cultivares evaluados.

Tabla 1. Acumulación promedio de Biomasa por etapa para el cultivar Topito y Cubanel.

Estadios (dds)	Biomasa (kg ha ⁻¹)			
	Topito		Cubanel	
	Promedio ± SD	Tukey	Promedio ± SD	Tukey
1-56	11.060± 351	D	107.630± 28.3	D
56-71	30.060± 1351	D	44.340± 17.8	D
71-86	126.160± 5054	D	107.870± 37.3	D
86-101	728.650± 26.3	C	350.210± 14.1	C
101-116	1725.933± 110.2	B	1011.967± 45.1	B
116-131	3219.416± 83.4	A	2559.785± 38.8	A

Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey P>0.05).

La curva acumulación de biomasa por los cultivares Topito y Cubanel siguió parámetros similares, sin embargo, Topito presentó con diferencias significativas, mayor promedio de acumulación de la variable (5841.279 kg ha⁻¹) superando en 29% a Cubanel (4181.802 kg ha⁻¹) en el periodo comprendido entre los 86 y 116 días después de la siembra (dds) (Figura 6), que coincide con el máximo crecimiento para los dos cultivares evaluados.

En la etapa de desarrollo de fruto (101- 116 dds), se evidencio disminución del crecimiento vegetativo en el cultivar Topito, lo que coincide con lo reportado por Valles *et al*⁴⁸. De igual forma, como lo indican Azofeifa y Moreira⁴⁹, los flujos de crecimiento vegetativo son interrumpidos por el proceso de formación y maduración de los frutos; además, en esta investigación la acumulación de biomasa en las plantas fue continua en todas las etapas evaluadas siendo máxima en los periodos de floración y fructificación.

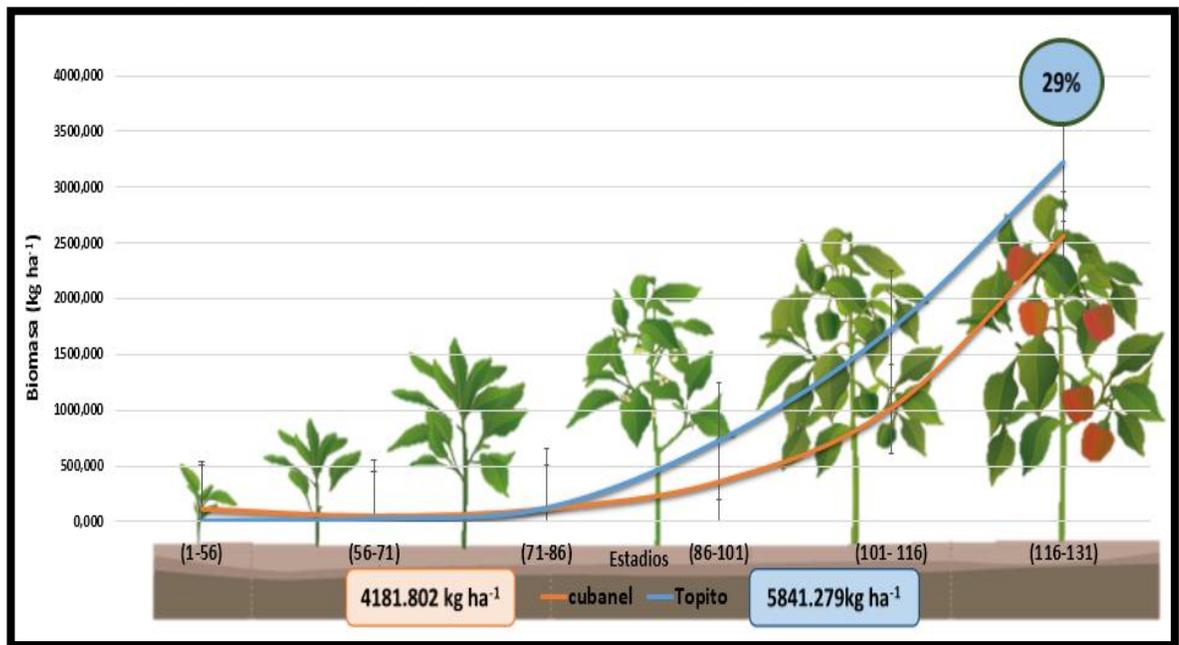
En términos generales, los cultivares presentaron tres etapas bien definidas directamente relacionadas con el comportamiento en la acumulación de biomasa

⁴⁸ VALLES, Rigió *et al.* Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura. Barquisimeto. Venezuela. Rev. Fac. Agron (LUZ). 2009, 26:159-178. p 174.

⁴⁹ AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco A. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. hot), en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense, vol. 28, no 1, 2004. p. 58.

de acuerdo a lo reportado por Azofeifa y Moreira⁵⁰: la etapa inicial donde la biomasa se distribuye entre el tallo, las hojas y la raíz; la etapa intermedia, donde se concentra la acumulación en las secciones mencionadas, además del incremento por aparición de flores y frutos; y la etapa final caracterizada por que la acumulación de biomasa alcanzada en la etapa anterior, permanece relativamente constante hasta el final de ciclo fenológico.

Figura 6. Curva de acumulación de biomasa en *Capsicum annuum* L. en los cultivares Topito (curva azul) y Cubanel (curva naranja) en Santa Marta.



Estadio 1 (1-56 dds); Estadio 2 (56 -71 dds); Estadio 3 (71 - 86 dds); Estadio 4 (86 – 101 dds); Estadio 5 (101 - 116 dds); Estadio 6 (116 - 131 dds). Los recuadros muestran la acumulación de biomasa por los cultivares estudiados.

⁵⁰ AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco A. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. hot), en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense, vol. 28, no 1, 2004. p. 66.

9.2. Curva de crecimiento de los cultivares de ají

En la Tabla 2 se observan los promedios de masa seca por etapa y cultivar evaluados.

Tabla 2. Acumulación promedio de Masa seca por etapa para el cultivar Topito y Cubanel.

Estadios (ddt)	Masa Seca (kg ha ⁻¹)			
	Topito		Cubanel	
	Promedio ± SD	Tukey	Promedio ± SD	Tukey
1	1.722± 0.57	D	5.074± 1.7	D
1-15	6.130± 2.92	D	7.596± 2.58	CD
15- 30	19.285± 746	D	14.238± 4.37	CD
30- 45	110.310± 3.97	C	42.780± 17.4	C
45- 60	264.633± 16.9	B	112.367± 59.3	B
60- 75	503.865± 11.51	A	259.025± 63.4	A

Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey P>0.05).

La acumulación de masa seca para los cultivares Topito y Cubanel mostró diferencias estadísticas (P<0.05), siendo Topito con promedio de 905.945 kg ha⁻¹, el que exhibió la mayor acumulación de la variable y superó a Cubanel en 51 % (Figura 7); se resalta que a partir de los 30 días después del trasplante (ddt) se presentó crecimiento de tendencia exponencial en la acumulación de masa seca por parte de los cultivares estudiados lo que supone mayor crecimiento a partir de este estadio de crecimiento hasta el final del estadio 4 (45 ddt).

Azofeifa y Moreira⁵¹, encontraron que las plantas de ají dulce se ajustaron a una curva de crecimiento de tipo sigmoideal, lo cual permite inferir que, a pesar de ser una misma especie, los cultivares presentan comportamiento diferenciado en cuanto a su crecimiento dadas las condiciones edafoclimáticas en las que se estudia, por tanto, todos los planes de manejo cultural deben ajustarse a las características particulares de cada zona productora.

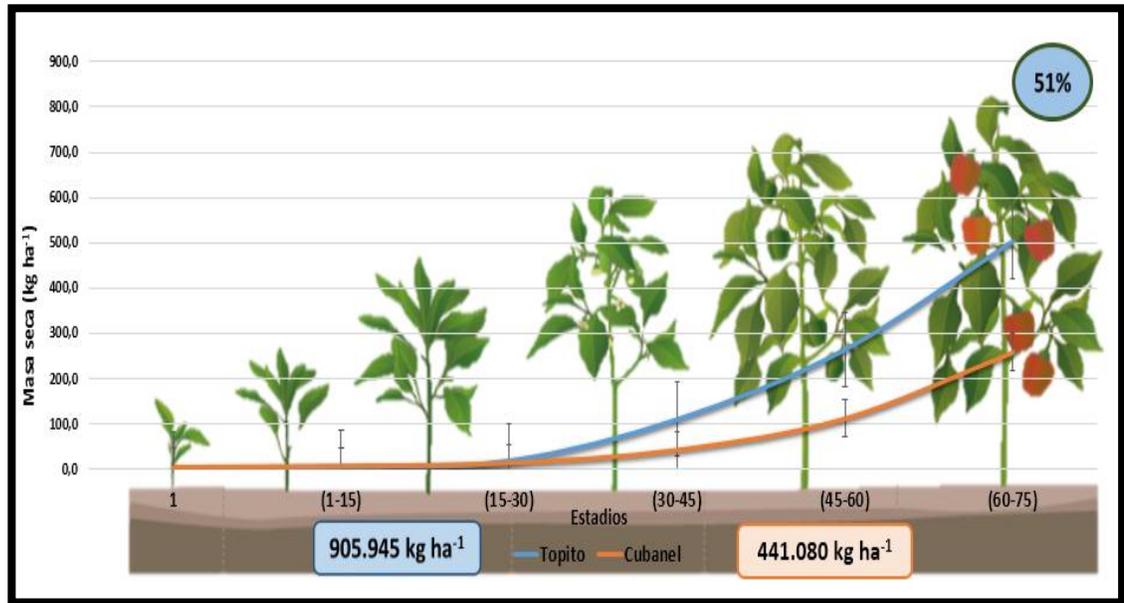
De acuerdo con lo mencionado por Rylsky⁵² las plantas de ají dulce presentan curva de crecimiento con 3 etapas similares a las encontradas en este estudio para los cultivares Topito y Cubanel. La primera, una fase inicial (1- 30 ddt) donde la planta joven tiene área foliar reducida y un escaso sistema de raíces; la segunda, de 30 – 60 ddt se caracteriza por ser una fase vegetativa y exponencial

⁵¹ AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco A. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. hot), en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense, vol. 28, no 1, 2004. p. 57.

⁵² RYLSKI, I. Pepper (*Capsicum annuum*) In: Handbook of fruit set and development. CRC. UK. 1986. p. 341-353.

donde presenta rápido crecimiento a medida que sus órganos se desarrollan y la tercera, comprendida entre los 60 -75 ddt, que se constituye en fase de equilibrio, donde después del inicio de la fructificación disminuye el crecimiento con tendencia a estabilizarse.

Figura 7. Curva de crecimiento de *Capsicum annum L.* en los cultivares Topito (curva azul) y Cubanel (curva naranja) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.

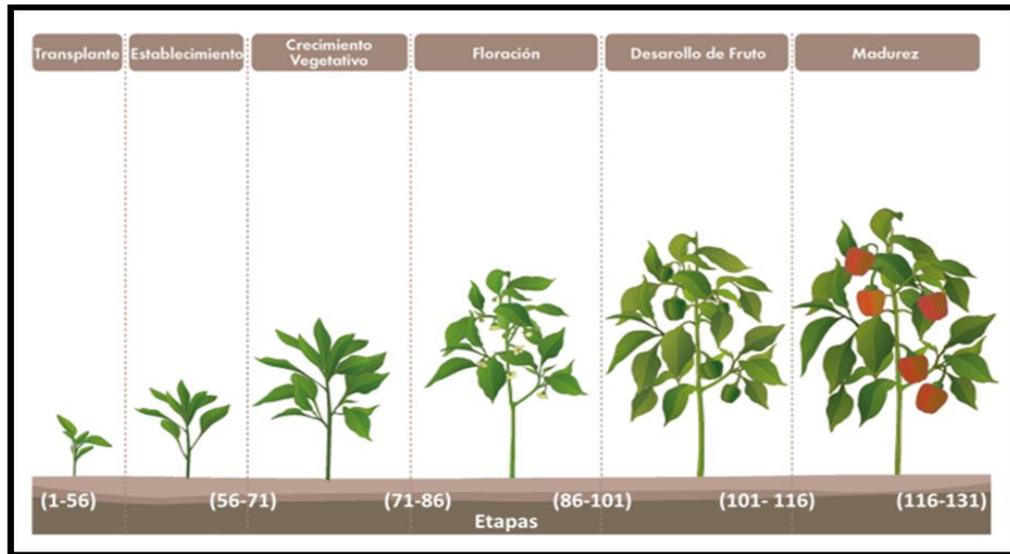


Estadios 1 (1 ddt) días después del trasplante; Estadio 2 (1 -15 ddt); Estadio 3 (15 - 30 ddt); Estadio 4 (30 - 45 ddt); Estadio 5 (45 - 60 ddt); Estadio 6 (60 - 75 ddt).

9.3. Etapas fenológicas del cultivo de ají, cultivar Topito y Cubanel

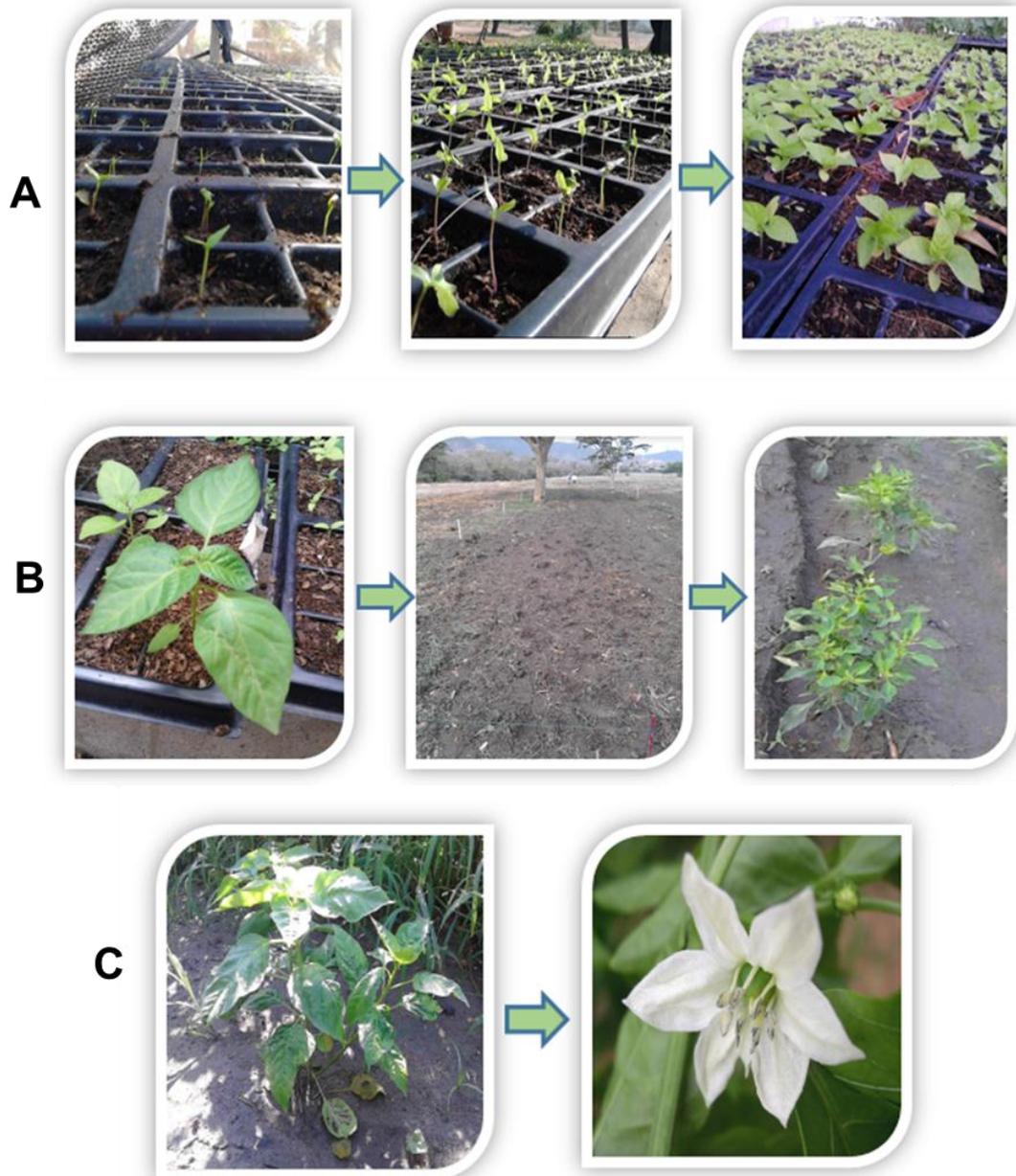
Para establecer las etapas fenológicas de los cultivares Topito y Cubanel, se tomó como referencia la acumulación de biomasa que se presentó en el transcurso de la investigación (Tabla 1) lo que permitió su identificación y visualización (Figura 8).

Figura 8. Etapas fenológicas del cultivo de ají bajo las condiciones del Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena.



Se logró la identificación de seis etapas, las cuales se visualizan a continuación (Figura 9 y Figura 10):

Figura 9. Etapas fenológicas del periodo vegetativo de los cultivares Topito y Cubanel en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena.



A) siembra semillero, desarrollo de plántulas. B) hojas verdaderas, lote y desarrollo vegetativo. C) desarrollo vegetativo y desarrollo floral.

Etapas 1. Semillero y trasplante: Comprendida entre el día 1-56 dds, se sembraron las semillas en bandejas, trascurridos 7 días, las semillas germinaron alcanzando una altura promedio de 15 cm siendo la aparición de la radícula, el evento que evidenció el fenómeno de la germinación tal como lo enuncian Solomon *et al*⁵³.

Etapas 2. Trasplante y estabilización: Alcanzando los 56 dds las plántulas con 15 cm en promedio, fueron llevadas a campo, hasta cumplir un periodo de adaptación e inicio de crecimiento vegetativo a los 71 dds.

Etapas 3. Crecimiento vegetativo: Se evidenció el crecimiento vegetativo de las plantas trascurriendo un periodo de 71-86 dds, donde se observó la aparición de los primeros botones florales en el cultivar cubanel y aproximadamente 7 días después, en el cultivar Topito.

Etapas 4. Crecimiento reproductivo y floración: Pasados los 86 dds se reflejó la formación de flores y cuajado del fruto en los cultivares, además la disminución progresiva de crecimiento vegetativo hasta los 101 dds.

Etapas 5. Desarrollo del fruto: A los 101 dds se da inicio al desarrollo del fruto hasta los 116 dds.

Etapas 6. Maduración del fruto: Pasados los 116 dds el fruto alcanzo su madurez y se inició la cosecha a los 131 dds.

Las etapas de crecimiento del ají siguen las secuencias descritas por Mundarain *et al*.⁵⁴ Sin embargo, las etapas aquí descritas presentan diferencias en cuanto al tiempo de presentación y duración, dadas las condiciones edafo-climáticas reinantes en la zona de estudio y los cultivares evaluados.

Azofeifa y Moreira⁵⁵ en su investigación en chile jalapeño (*Capsicum annuum L.* cv. Hot) encontraron que las fases de floración y fructificación coinciden siendo estas a los 68 dds donde anotan que las mayores tasas de crecimiento de fruto ocasionaron una disminución paulatina en la producción de flores; lo antes mencionado es similar a lo observado en las etapas establecidas en esta investigación puesto que, partiendo del crecimiento vegetativo, crecimiento

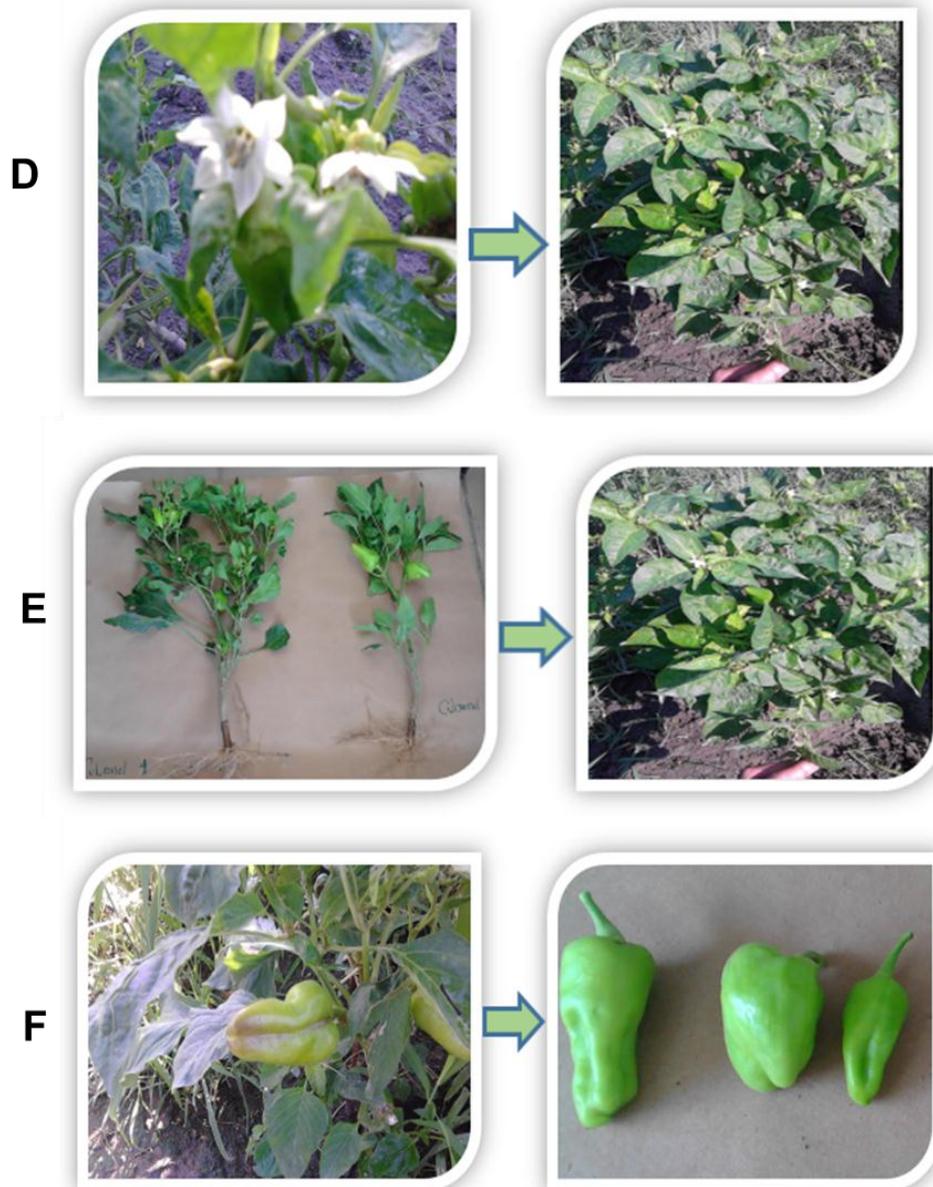
⁵³ SOLOMON, Eldra P. BERG, Linda R. y MARTIN, Diana. Biología. Quinta edición. McGraw-Hill interamericana Editores S.A. de C.V., México. 2001.

⁵⁴ MUNDARAIN, Sol. COA, Martín y CAÑIZARES, Adolfo. Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens L.*). Revista UDO Agrícola 5 (1): 62-65. 2005.

⁵⁵ AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco A. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum L.* cv. hot), en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense, vol. 28, No 1, 2004. p. 62.

reproductivo y floración hasta el desarrollo del fruto fue evidente la aparición de flores y su disminución en el momento del cuajado del fruto.

Figura 10. Etapas fenológicas del periodo reproductivo de los cultivares Topito y Cubanel en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena.



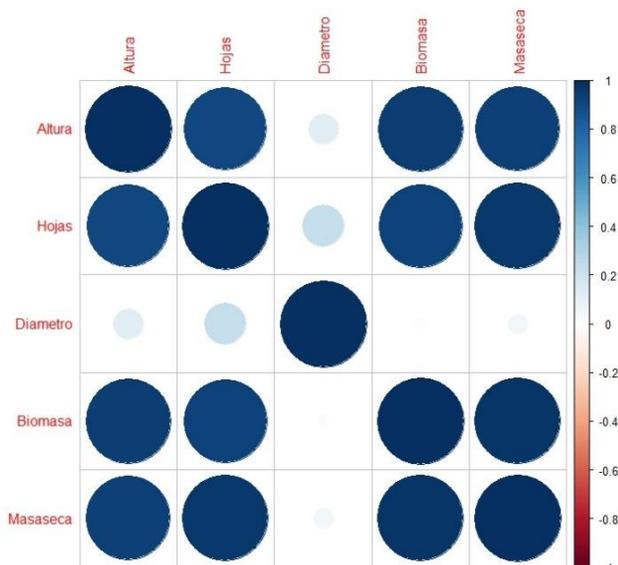
D) Desarrollo floral cultivar Topito 71 dds, Cubanel 80 dds. E) Desarrollo del fruto cultivar Topito 101 dds, cultivar Cubanel 108 dds.

9.3.1. Establecimiento de la relación entre la absorción de nutrientes con parámetros de crecimiento en los cultivares de ají Topito y Cubanel.

Los cultivares Topito y Cubanel a pesar de pertenecer a la misma familia y especie, su comportamiento no es el mismo. Los análisis evidenciaron diferencias significativas entre los parámetros evaluados y correlación positiva entre los mismos. Es decir, a medida que la altura de la planta aumenta de igual forma, el número de hojas y diámetro del tallo, incrementan.

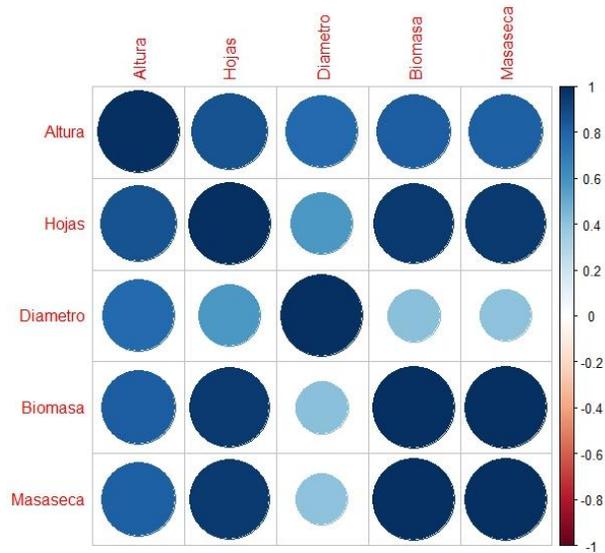
La biomasa en el cultivar Cubanel presentó asociación positiva con las variables masa seca ($r=0.98$; $Pr < 0.05$), altura ($r=0.95$; $Pr < 0.05$) y número de hojas ($r=0.92$; $Pr < 0.05$) (Figura 11); a su vez, la Masa Seca presentó asociación positiva con las variables número de hojas ($r=0.97$; $Pr < 0.05$) y altura ($r= 0.94$; $Pr < 0.05$); mientras que la variable altura, presento asociación positiva con los antes mencionados y numero de hojas ($r= 0.90$; $Pr < 0.05$).

Figura 11. Correlación entre parámetros de crecimiento en el cultivar Cubanel (*C. annum* L) ($Pr < 0.05$).



En el cultivar Topito se presentaron asociaciones positivas del parámetro biomasa con masa seca ($r= 0.99$; $Pr < 0.05$), altura ($r=0.82$; $Pr < 0.05$), y numero de hojas ($r=0.92$; $Pr < 0.05$); de igual forma, Masa seca exhibió asociación con número de hojas ($r= 0,95$; $Pr < 0,05$) y altura (0.82 ; $Pr < 0.05$); el parámetro número de hojas mostró relación positiva con altura ($r=0.86$; $Pr < 0.05$) y diámetro ($r=0.57$; $Pr < 0.05$); por último, el diámetro está asociada positivamente con altura ($r= 0.77$; $Pr < 0.05$) (Figura 12).

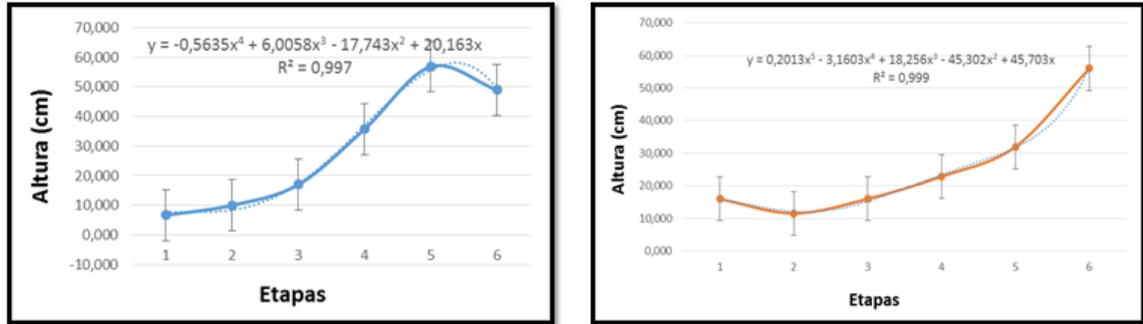
Figura 12. Correlación entre parámetros de crecimiento cultivar Topito (*C. annuum* L) ($Pr < 0.05$).



Altura: Se evidenciaron diferencias significativas entre los cultivares en estudio (Figura 13), donde el cultivar Cubanel superó a Topito en la primera etapa; en las etapas dos y tres tienen un comportamiento similar; partiendo de la etapa tres a las seis, Topito y Cubanel presentaron el mayor crecimiento. Sin embargo, Topito alcanzó su mayor altura en la etapa cinco y un descenso en la sexta etapa, generando una curva sigmoideal mientras Cubanel origina una curva de tipo exponencial. De acuerdo con lo reportado por Díaz *et al*⁵⁶ en su investigación sobre pimentón (*Capsicum annuum* L. C.V. Júpiter) se presentó un aumento continuo de la altura de la planta en todo su crecimiento vegetativo aun pasando 102 ddt lo cual coincide con lo encontrado en esta investigación evidenciado en el cultivar Cubanel, sin embargo, el cultivar Topito tuvo un comportamiento distinto puesto que para ese periodo la planta mostró reducción en el valor medio de la variable.

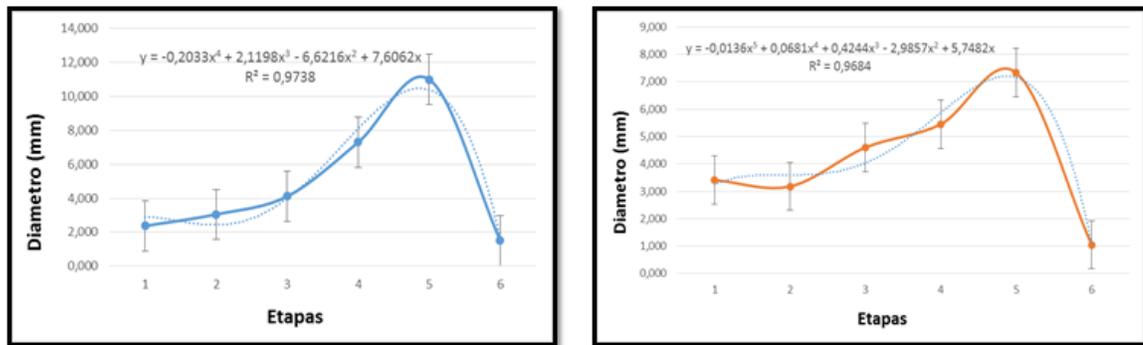
⁵⁶ **DÍAZ, Lisbeth et al.** Crecimiento vegetativo del pimentón en función de la densidad de plantas y edad del cultivo. Barquisimeto, Venezuela. Bioagro 11(2): 69-73. 1999. p. 71.

Figura 13. Comportamiento de la variable altura para los cultivares Topito (izquierda) y Cubanel (derecha) con modelación ajustada con las observaciones realizadas.



Diámetro: Se evidenció comportamiento con fase de crecimiento en el valor de la variable, seguido de una fase de estabilización y termina con una fase de descenso generando curvas de tipo sigmoideal similar para los dos cultivares en estudio (Figura 14), con diferencias entre las etapas, debidas al crecimiento normal de la especie; esto coincide con Díaz *et al*⁵⁷ quienes reportan que el crecimiento del diámetro fue progresivo hasta los 80 días de trasplante, a diferencia de lo ocurrido en los cultivares Topito y Cubanel donde el diámetro del tallo tuvo un incremento notorio de hasta los 116 dds.

Figura 14. Diametro del tallo para los cultivares Topito (izquierda) y Cubanel (derecha) con modelación ajustada con las observaciones realizadas.

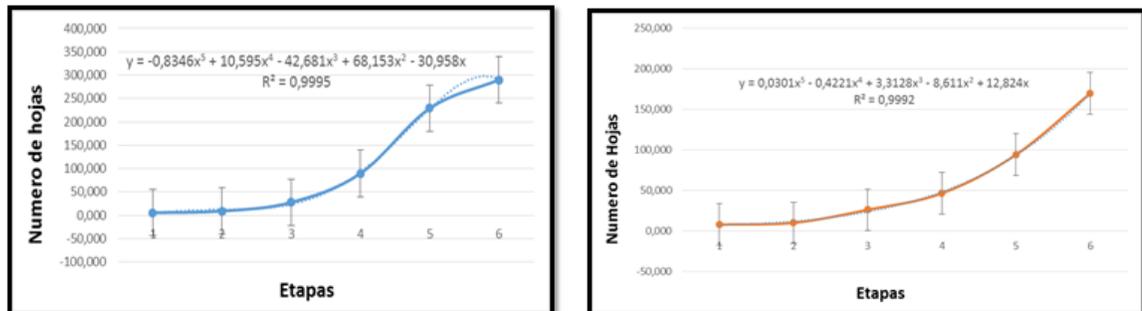


Numero de hojas: El comportamiento de la variable de la curva presentó tendencia sigmoideal en Topito y tipo exponencial en Cubanel (Figura 15), sin embargo, el cultivar Topito superó a Cubanel en la variable a partir de la cuarta

⁵⁷ **DÍAZ, Lisbeth et al.** Crecimiento vegetativo del pimentón en función de la densidad de plantas y edad del cultivo. Barquisimeto, Venezuela. Bioagro 11(2): 69-73. 1999. p. 71.

etapa. En los cultivares estudiados, la variable mostró diferencias significativas entre las etapas, siendo la etapa 4 – 5 en la que se presentó mayor desarrollo foliar. Al respecto no se encontró literatura científica que respalde lo encontrado en esta investigación sobre este parámetro por lo que se constituye en aporte básico para otros estudios similares

Figura 15. Número de hojas para los cultivares Topito (izquierda) y Cubanel (derecha) con modelación ajustada con las observaciones realizadas.



9.4. Absorción de macro y micronutrientes por el cultivo de Ají, cultivares Topito y Cubanel

La absorción de macronutrientes por parte de los cultivares Topito y Cubanel presentó comportamiento similar (tabla 3); el orden de absorción para los macronutrientes fue N>K> Ca> Mg> S> P> Na; Por su parte, el comportamiento de la absorción de micronutrientes presentó diferencias entre cultivares, siendo en orden descendente para el cultivar Topito Fe> Mn> Zn> B >Cu, mientras para Cubanel fue Fe> Mn> Zn> Cu> B.

De acuerdo a lo encontrado, el N exhibió la mayor acumulación en los cultivares Topito y Cubanel con 54.064 % y 52.015 %, respectivamente. Por otro lado, el nutriente que menor porcentaje de acumulación presentó fue Cu con 0.007 %, para el caso de Topito, mientras que B con 0.007 %, fue el nutriente con menor acumulación por parte del cultivar Cubanel.

Tabla 3. Nutrientes absorbidos y porcentaje de acumulación en orden descendente por los cultivares Topito y Cubanel en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal, 2016.

Topito				Cubanel			
Nutriente	Unidad	Acumulación	%	Nutriente	Unidad	Acumulación	%
N	kg ha ⁻¹	231.031983	54.06	N	kg ha ⁻¹	113.638773	52.02
K	kg ha ⁻¹	131.128852	30.69	K	kg ha ⁻¹	62.6736099	28.69
Ca	kg ha ⁻¹	31.7507965	7.43	Ca	kg ha ⁻¹	21.7316019	9.95
Mg	kg ha ⁻¹	17.4952810	4.09	Mg	kg ha ⁻¹	10.4405961	4.78
S	kg ha ⁻¹	6.62517953	1.55	S	kg ha ⁻¹	4.51230874	2.07
P	kg ha ⁻¹	4.68190326	1.10	P	kg ha ⁻¹	2.42989645	1.11
Na	kg ha ⁻¹	3.13834304	0.73	Na	kg ha ⁻¹	2.27228814	1.04
Fe	kg ha ⁻¹	0.95810392	0.22	Fe	kg ha ⁻¹	0.51750685	0.24
Mn	kg ha ⁻¹	0.36486181	0.09	Mn	kg ha ⁻¹	0.14553045	0.07
Zn	kg ha ⁻¹	0.08441947	0.02	Zn	kg ha ⁻¹	0.07396836	0.03
B	kg ha ⁻¹	0.04174484	0.01	Cu	kg ha ⁻¹	0.02130932	0.01
Cu	kg ha ⁻¹	0.03158017	0.01	B	kg ha ⁻¹	0.01628866	0.01

La tabla 4 muestra con diferencias entre los cultivares y etapas fenológicas, la acumulación de nutrientes. La menor tasa de acumulación de nutrientes se presentó en la etapa de semillero y trasplante, mientras en la etapa desarrollo de fruto se manifestó la mayor acumulación, donde Cubanel mostró mayor acumulación de nutrientes superando a Topito. A partir de lo anterior, Topito presentó mayor acumulación de Zn en la etapa de semillero y trasplante, de Cu y Na en la etapa de trasplante y estabilización, así mismo, la mayor absorción de N, P y B fue evidente en el periodo de crecimiento vegetativo; mientras en la etapa desarrollo de fruto se acumularon las mayores cantidades de K, Mn, Fe y S, finalmente, en la maduración el fruto los elementos con mayor absorción fueron Ca y Mg.

De modo similar, la acumulación de nutrientes durante las etapas fenológicas para el cultivar Cubanel fueron evidentes, donde en el periodo de trasplante y estabilización predominó la acumulación de Na, en crecimiento vegetativo P, mientras en la etapa desarrollo de fruto los nutrientes más absorbidos fueron Fe, Mn, Zn, Ca, Cu, Mg, S, N y B. En el periodo de maduración de fruto el nutriente más acumulado fue K.

Tabla 4. Acumulación de nutrientes por etapas fenológicas para cultivares Topito y Cubanel.

ETAPA	CULTIVAR	N	P	Ca	Mg	Na	K	S	Cu	Zn	Mn	Fe	B
		%	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
1	Topito	1.69 B	2.64 B	14.58 D	12.16 C	3.41 A	105.21 B	6.51 AB	22.2 D	154.35 A	166.84 E	605.44 F	0.37 F
	Cubanel	1.93 B	2.95 A	27.74 D	12.16 C	5.34 AB	78.05 E	4.5 C	24.38 D	132.48 B	201.42 E	953.14 A	1.21 E
2	Topito	2.63 AB	3.81 B	22.05 C	14.62 BC	4.13 A	76.38 D	4.95 C	29.59 B	53.74 DE	243.82 D	917.21 C	1.31 D
	Cubanel	2.40 AB	3.48 A	30.47 C	16.04 B	6.44 A	86.34 D	4.8 C	26.19 CD	117.16 C	212.12 D	893.71 B	1.73 B
3	Topito	4.2 A	8.22 A	21.92 C	17.09 AB	3.47 A	110.52 A	6.91 A	34.24 A	113.21 B	354.66 B	1139.24 B	2.95 A
	Cubanel	3.79 AB	5.15 A	34.88 B	17.36 B	4.98 AB	101.84 BC	5.63 B	26.16 CD	103.23 E	225.15 D	796.84 D	1.54 C
4	Topito	4.02 A	4.94 B	24.83 B	14.56 BC	1.67 A	104.64 B	4.73 B	24.78 C	80.08 CD	332.36 C	745.87 E	1.47 C
	Cubanel	3.85 AB	4.64 A	29.48 CD	14.95 B	3.17 B	100.35 C	4.27 B	27.58 C	71.84 F	211.41 C	537.15 E	1.42 D
5	Topito	4.1 A	4.78 B	29.6 E	13.86 C	1.27 A	110.82 A	7.13 C	25.04 C	80.15 C	445.61 A	1314.09 A	1.51 B
	Cubanel	4.08 A	5.03 A	48.96 A	22.59 A	4.28 AB	105.99 A	7.95 A	37.08 A	148.44 A	344.49 A	1850.76 F	1.92 A
6	Topito	4.14 A	2.8 B	34.74 A	19.47 A	2.84 A	98.95 C	4.2 C	20.93 D	51.68 E	354.77 B	807.87 D	0.96 E
	Cubanel	3.62 AB	3.5 A	47.18 A	20.51 A	4.19 AB	103.76 AB	7.81 A	30.54 B	113.34 D	310.24 B	855.39 C	1.2 F

Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey P>0.05).

La tabla 5 representa la acumulación (kg ha^{-1}) de los nutrientes evaluados en el cultivar Topito. N represento el 85 % del total de la acumulación siendo el nutriente traslocado en mayores cantidades ($197.32 \text{ kg ha}^{-1}$) cantidad que debe ser repuesta al suelo para mantener su equilibrio y disponibilidad para el normal desarrollo del cultivo. Así mismo, K con acumulación en el fruto de 45.82 kg ha^{-1} denota una cantidad importante a ser restituida en futuros planes de fertilización.

Tabla 5. Acumulación en kg ha^{-1} de macro y micronutrientes en el cultivar Topito (*C. annuum*. L) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.

Topito					
Elementos	Unidad	Acumulación total	Acumulación Sin Fruto	Acumulación fruto	% Acumulación Fruto
N	kg ha^{-1}	231.031982	33.71287747	197.3191045	85
P	kg ha^{-1}	4.68190326	3.175018813	1.506884447	32
Ca	kg ha^{-1}	31.7507965	25.77876763	5.972028870	19
Mg	kg ha^{-1}	17.4952810	13.90963926	3.585641740	20
Na	kg ha^{-1}	3.13834304	1.811208357	1.327134683	42
K	kg ha^{-1}	131.128852	85.30678608	45.82206592	35
Cu	kg ha^{-1}	0.03158017	0.019050571	0.012529599	40
Zn	kg ha^{-1}	0.08441947	0.054575882	0.029843588	35
Mn	kg ha^{-1}	0.36486181	0.312556287	0.052305523	14
Fe	kg ha^{-1}	0.95810392	0.798753453	0.159350467	17
S	kg ha^{-1}	6.62517952	4.350744630	2.274434890	34
B	kg ha^{-1}	0.04174484	0.030661720	0.011083120	27

La Tabla 6 muestra las cantidades (kg ha^{-1}) acumuladas en fruto por el cultivar Cubanel donde se resalta que el 88 % de N fue el nutriente que en mayor cantidad fue traslocado al fruto representado en $100.02 \text{ kg ha}^{-1}$ seguido de K con 24.92 kg ha^{-1} , siendo estas las cantidades mínimas que deben ser incorporadas al suelo.

Tabla 6. Acumulación en kg ha⁻¹ de macro y micronutrientes en el cultivar Cubanel (*C. annuum*. L) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.

Cubanel					
Elementos	Unidad	Acumulación total	Acumulación Sin Fruto	Acumulación Fruto	% Acumulación Fruto
N	kg ha ⁻¹	113.638773	13.6211323	100.0176407	88
P	kg ha ⁻¹	2.42989645	1.5134109	0.91648555	38
Ca	kg ha ⁻¹	21.7316019	16.2893864	5.4422155	25
Mg	kg ha ⁻¹	10.4405961	7.3681198	3.0724763	29
Na	kg ha ⁻¹	2.27228814	1.5248667	0.74742144	33
K	kg ha ⁻¹	62.6736099	37.755552	24.9180579	40
Cu	kg ha ⁻¹	0.02130932	0.0116435	0.00966582	45
Zn	kg ha ⁻¹	0.07396836	0.0435934	0.03037496	41
Mn	kg ha ⁻¹	0.14553045	0.1105669	0.03496355	24
Fe	kg ha ⁻¹	0.51750685	0.4110161	0.10649075	21
S	kg ha ⁻¹	4.51230874	2.6418385	1.87047024	41
B	kg ha ⁻¹	0.016288664	0.03066172	-0.014373056	34

Referente a los porcentajes de acumulación en los cultivares en estudio (Tabla 5 y Tabla 6) se evidencio que el cultivar Cubanel con el 88 % de N, 40 % de K y 38 % de P, supero a Topito en 3 %, 5 % y 6 %, respectivamente. De igual forma, Cubanel supero a Topito en acumulación en 5 %, 6 %, 4 %, 7 % y 7 % para Cu, Zn, Fe, S y B, respectivamente. Se destaca que el cultivar Topito con 42 % de Na superó a Cubanel en 9 %.

La acumulación de macronutrientes en el fruto presento comportamiento similar en los cultivares Topito y Cubanel, los resultados mostraron el orden de acumulación en fruto: N>K>Ca>Mg>S>Na>P lo que coincide parcialmente con lo reportado por Azofeifa y Moreira⁵⁸ quienes reportaron que el orden de acumulación en el fruto fue N>P>Mg>K>S; además esta investigación coincide con los autores en que la mayor acumulación de Ca se presentó en la parte aérea de la planta y N fue el elemento más acumulado en el fruto.

Referente al orden de extracción total por parte de los cultivares en estudio, existieron diferencias con lo reportado por Azofeifa y Moreira⁵⁹ quienes refieren que la extracción en orden decreciente fue K>N>Ca>S>P>Mg, mientras que para este estudio fue N>K>Ca>Mg>S>P>Na.

⁵⁸ AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* CV. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica Agronomía Costarricense 2005; 29: p. 80.

⁵⁹ AZOFEIFA Álvaro y MOREIRA, Marco. Absorción y distribución en las plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L CV. HOT) en Alajuela, Costa Rica, Agronomía costarricense 32(1):19-29 ISSN: 0377-9424/ 2008. p. 19.

La concentración de los nutrientes en las distintas partes de la planta varió durante el ciclo de crecimiento donde el principal evento fenológico que regulo estas fluctuaciones fue la fructificación⁶⁰, es preciso resaltar que el cultivar Cubanel tuvo las mayores concentraciones de nutrientes en la etapa de desarrollo del fruto (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), mientras que en Topito estuvieron distribuidas en todas las etapas fenológicas.

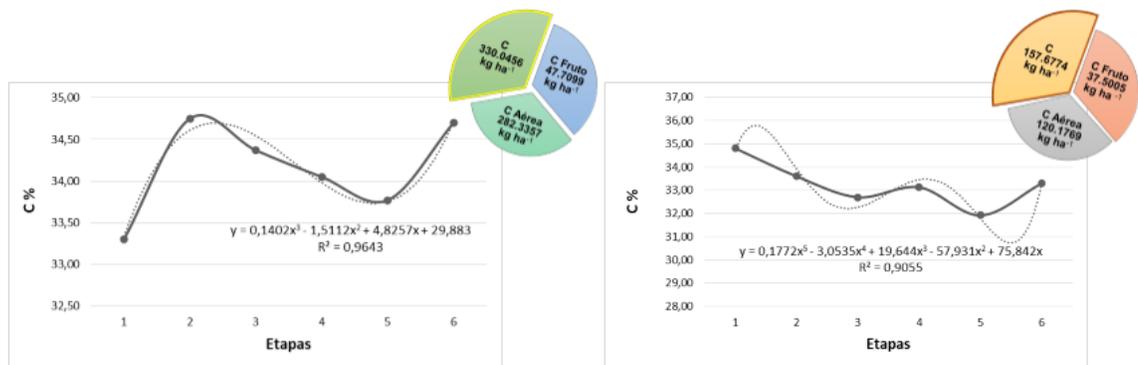
Igualmente es necesario resaltar que la extracción realizada por los frutos determina una salida importante de nutrientes del sistema, lo que lleva a pensar a que es necesario reponerlos y, según la ley de la restitución, estas serían las mínimas cantidades a aplicar al suelo cuando se planifique el siguiente cultivo a establecer.

⁶⁰ AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* CV. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica Agronomía Costarricense 2005; 29: p. 82.

9.4.1. Curvas de acumulación de macronutrientes por los cultivares topito y cubanel

El comportamiento de las curvas de acumulación de Carbono (C) en los dos cultivares (Figura 16) fue diferente. Topito con 330.0456 kg ha⁻¹ supero a Cubanel con 157.6774 kg ha⁻¹. Se evidencio que para el cultivar Topito, la etapa de trasplante y estabilización mostró la mayor acumulación siendo similar a lo encontrado en la etapa de maduración de fruto (47.7099 kg ha⁻¹); a diferencia de Cubanel quien acumuló la mayor cantidad de este elemento en la etapa de semillero y trasplante.

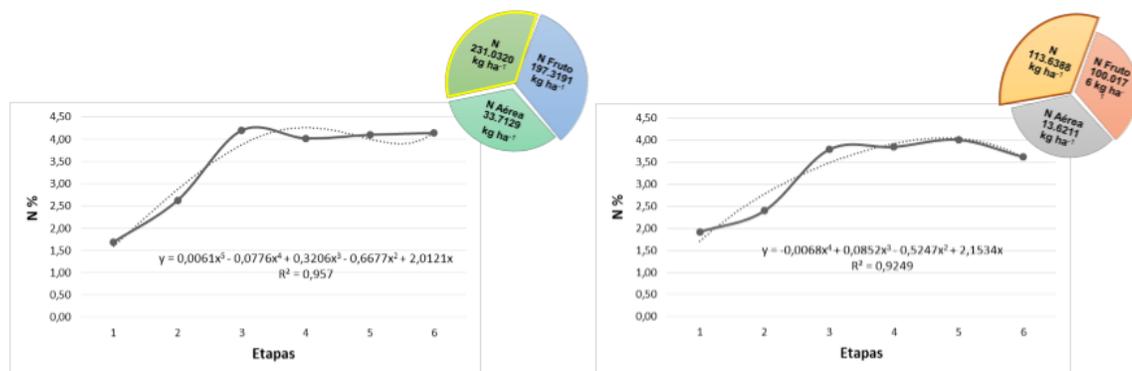
Figura 16. Curvas de acumulación de % Carbono para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.



9.4.1.1. Curvas de acumulación de macronutrientes N, P, Ca, Mg, Na y K

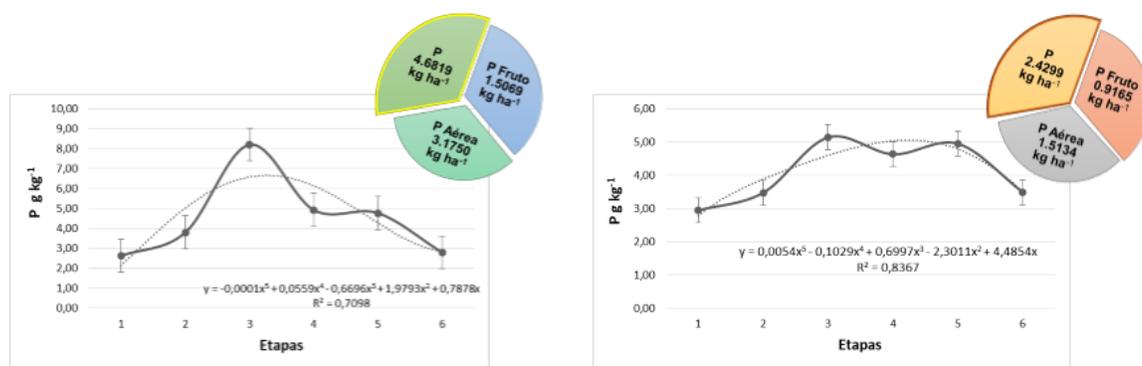
Para nitrógeno (N) la curva de acumulación en los dos cultivares de estudio (Figura 17) tuvo un comportamiento similar, donde Topito tuvo su cumbre de absorción en la etapa de crecimiento vegetativo y se mantuvo hasta la maduración del fruto; mientras Cubanel alcanza la mayor absorción en el periodo de desarrollo del fruto. Sin embargo, la absorción de este nutriente tiende a mantenerse nivelada partiendo de la etapa de crecimiento vegetativo hasta maduración del fruto. Cabe destacar que se presentaron diferencias en cuanto a cantidad de nutriente acumulado, donde Topito acumuló 231.0320 kg ha⁻¹ y Cubanel 113.6388 kg ha⁻¹. Sin embargo, en el fruto fue 197.3191 kg ha⁻¹ y 100.0176 kg ha⁻¹, respectivamente lo que indica que el mayor porcentaje del nutriente fue trasladado al fruto.

Figura 17. Curvas de acumulación de % Nitrógeno para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.



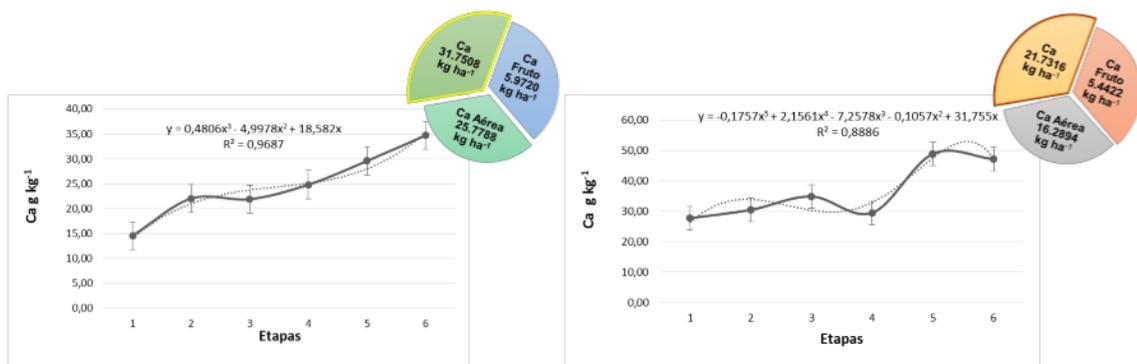
La acumulación de fósforo (P) por los cultivares, exhibió curvas similares (Figura 18), sin embargo, Topito con una acumulación de 4.6819 kg ha⁻¹ superó a Cubanel (2.4299 kg ha⁻¹); los dos cultivares mostraron el pico de acumulación en la etapa de crecimiento vegetativo y descenso desde este punto hasta la maduración del fruto.

Figura 18. Curvas de acumulación de Fósforo en g kg⁻¹ para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.



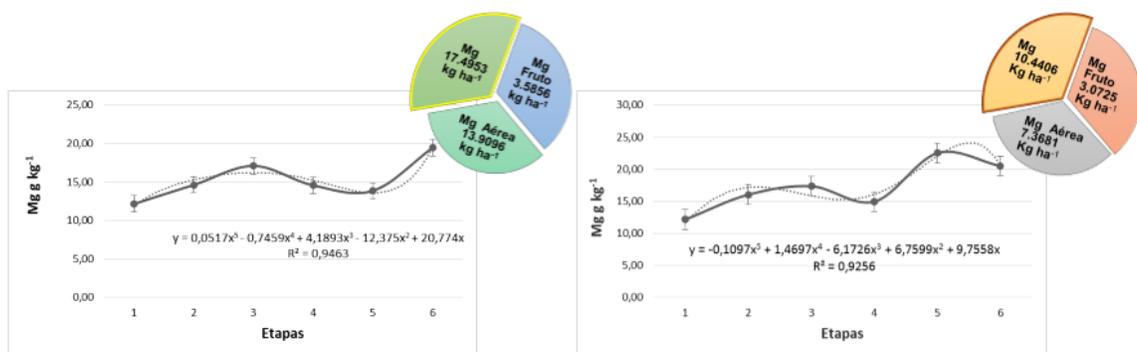
Los contenidos de calcio (Ca) (Figura 19) en el material seco de los cultivares, mostraron comportamientos diferentes. De esta manera, Topito obtuvo su pico de mayor absorción en la etapa de maduración del fruto (5.9720 kg ha⁻¹) mientras que Cubanel lo alcanzó en la etapa desarrollo del fruto con 5.4429 kg ha⁻¹.

Figura 19. Curvas de acumulación de Calcio en g kg^{-1} para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.



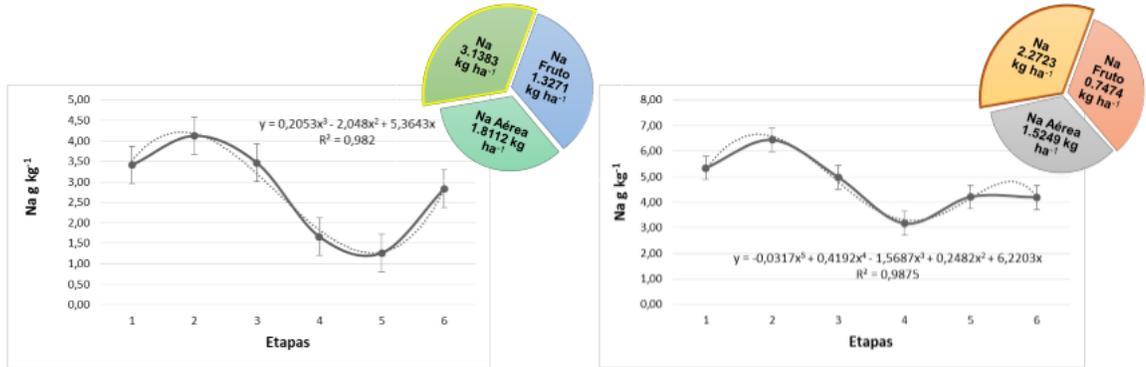
Magnesio (Mg). Las curvas de acumulación (Figura 20) para los dos cultivares exhibieron la mayor absorción en la etapa de maduración y desarrollo del fruto, no obstante, Topito con 17.4953 kg ha^{-1} supero a Cubanel que acumuló 10.4406 kg ha^{-1} .

Figura 20. Curvas de acumulación de Magnesio en g kg^{-1} para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.



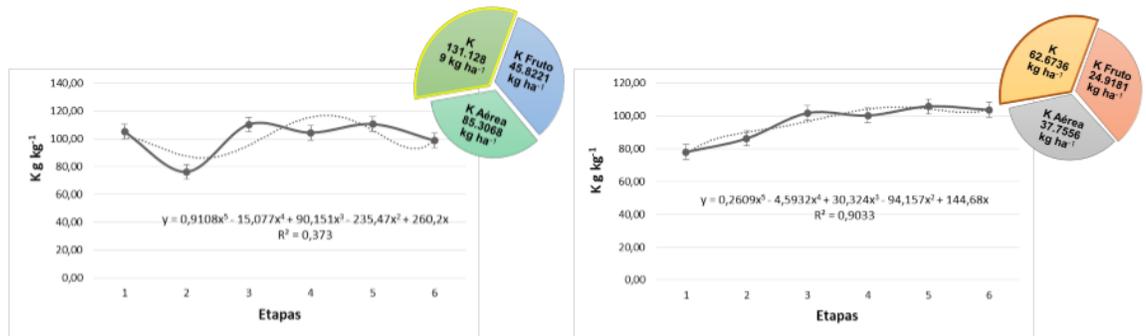
La acumulación de sodio (Na) (Figura 21) por parte de los cultivares, presentó comportamientos distintos, sin embargo, en la etapa de trasplante y estabilización mostraron la máxima absorción. Topito mostró mayor acumulación en el fruto con 1.3271 kg ha^{-1} .

Figura 21. Curvas de acumulación de Sodio en g kg^{-1} para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.



Las curvas de acumulación de potasio (K) (Figura 22) mostraron comportamiento diferente para los dos cultivares, no obstante, exhibieron mayor acumulación en la etapa de desarrollo del fruto; cabe destacar que Topito con $131.1289 \text{ kg ha}^{-1}$ superó a Cubanel quien reportó absorción de $62.6736 \text{ kg ha}^{-1}$.

Figura 22. Curvas de acumulación de Potasio en g kg^{-1} para los cultivares Topito (izquierda), Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.



Referente al comportamiento de N, P, K, Ca y Mg Martínez *et al*⁶¹ en su investigación reportaron comportamiento lineal de la curva en la fase de crecimiento e inicio de la floración de las plantas, las cuales respondieron al incremento en las concentraciones de N, P y K, lo que se puede explicar por la aceleración del crecimiento y la mayor exigencia de nutrientes para la formación de órganos y tejidos, lo que coincide con lo encontrado en esta investigación donde, a partir de la etapa de crecimiento vegetativo, los cultivares Topito y Cubanel exhibieron mayor absorción de N, P y K.

Además, la mayor acumulación de biomasa estuvo asociada con niveles altos de N y P, con niveles bajos de K, donde la planta crece sin barreras y solo se ve afectada con altos niveles de Ca y Mg; de acuerdo con esto, los cultivares en estudio mostraron comportamiento similar que permite inferir que, entre la etapa de trasplante y estabilización y la etapa de crecimiento vegetativo, los cultivares mostraron comportamientos favorables. Martínez *et al*⁶² encontraron que en la floración y fructificación se incrementan los requerimientos de K, Ca y Mg, teniendo una función importante en la formación y llenado del fruto, lo que coincide con lo exhibido en las curvas de acumulación de estos nutrientes en los cultivares Topito y Cubanel en las etapas de crecimiento reproductivo, floración y desarrollo del fruto.

9.4.1.2. Curvas de acumulación de micronutrientes

La acumulación permite visualizar la dinámica de la absorción de micronutrientes durante el ciclo del cultivo y su relación con las diferentes etapas fisiológicas. Así, se presentaron diferencias marcadas entre etapas y los cultivares evaluados.

El contenido de cobre (Cu) (Figura 23 A) en los cultivares fue bajo, la acumulación para topito fue 0.0316 kg ha⁻¹ y Cubanel 0.0213 kg ha⁻¹ exhibiendo curvas con diferente comportamiento, siendo la etapa de crecimiento vegetativo el pico de mayor absorción del nutriente en Topito, mientras que en cubanel se dio en la etapa del desarrollo del fruto.

El consumo de cinc (Zn) (Figura 23 B) para los cultivares en estudio mostró comportamiento y curva de acumulación diferentes. Topito presentó la mayor tasa de absorción en la etapa de semillero y trasplante, mientras que Cubanel la presentó en la etapa de maduración del fruto; es de resaltar que para este último cultivar, la cantidad de nutriente traslocada al fruto fue de 0.0304 kg ha⁻¹ siendo superior en 15 % a lo reportado por Topito.

⁶¹ MARTINEZ, Adriana *et al*. Respuesta del ají (*Capsicum annum* l. Var. Cayena) a concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en Palmira, Valle de Cauca, Colombia. ISSN 2422-0582 e- ISSN 2422-4456. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 2016. p. 43.

⁶² *Ibíd.*

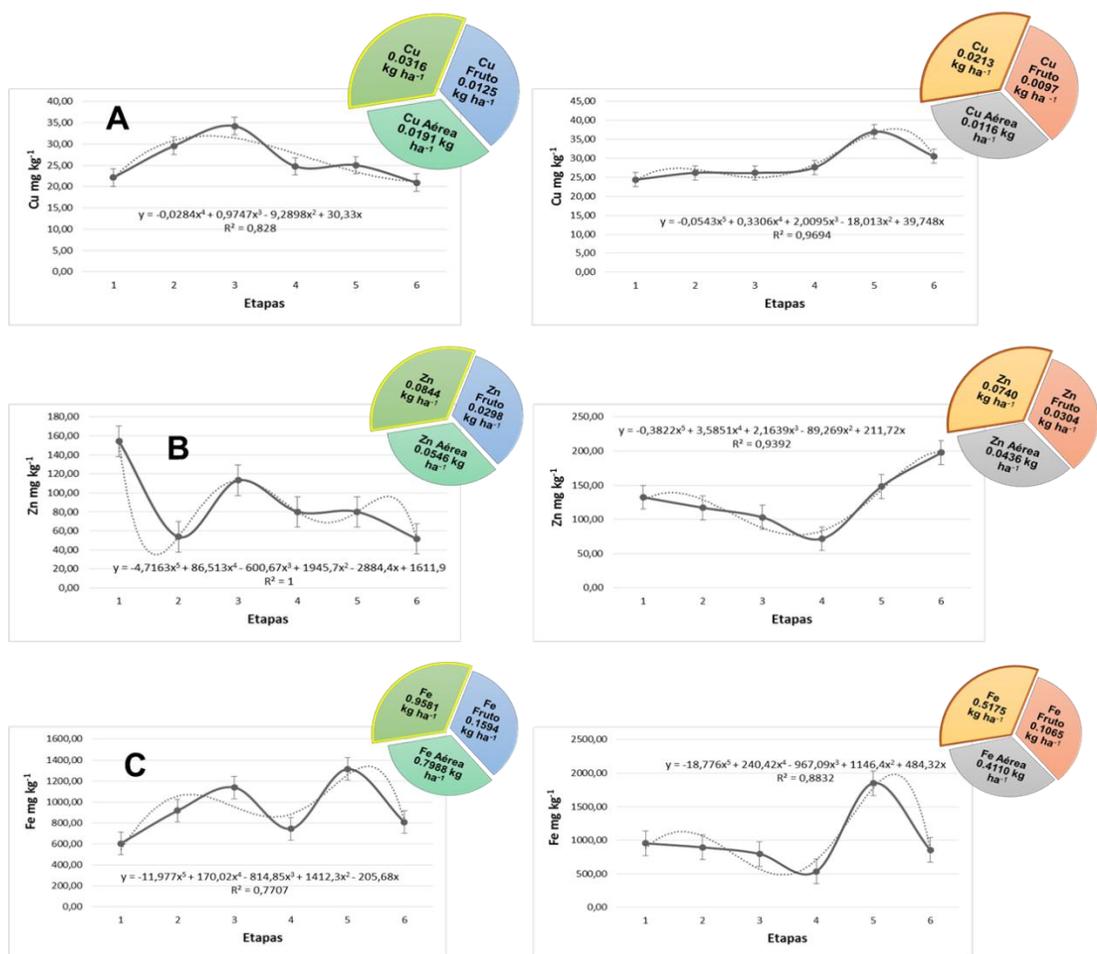
La acumulación de hierro (Fe) (Figura 23 C) mostró diferencias entre cultivares, sin embargo, la etapa de desarrollo del fruto fue donde se presentó la mayor dinámica de absorción. Topito con $0.9581 \text{ kg ha}^{-1}$ mostró el mayor consumo del nutriente y a su vez, la mayor translocación al fruto ($0.1594 \text{ kg ha}^{-1}$).

Por su parte, el consumo de manganeso (Mn) por parte de los cultivares en estudio fue bajo; aun así, el comportamiento de la curva (Figura 24 A) Para ambos cultivares exhibió mayor absorción en la etapa de desarrollo del fruto, siendo el cultivar Topito el que exhibió la mayor acumulación del nutriente con $0.3649 \text{ kg ha}^{-1}$.

La acumulación de azufre (S) (Figura 24 B) Mostró diferencias entre los cultivares, donde Topito acumuló $6.6252 \text{ kg ha}^{-1}$ y Cubanel $4.5123 \text{ kg ha}^{-1}$ siendo la etapa de desarrollo del fruto la etapa donde se presentó la mayor absorción por parte de los cultivares.

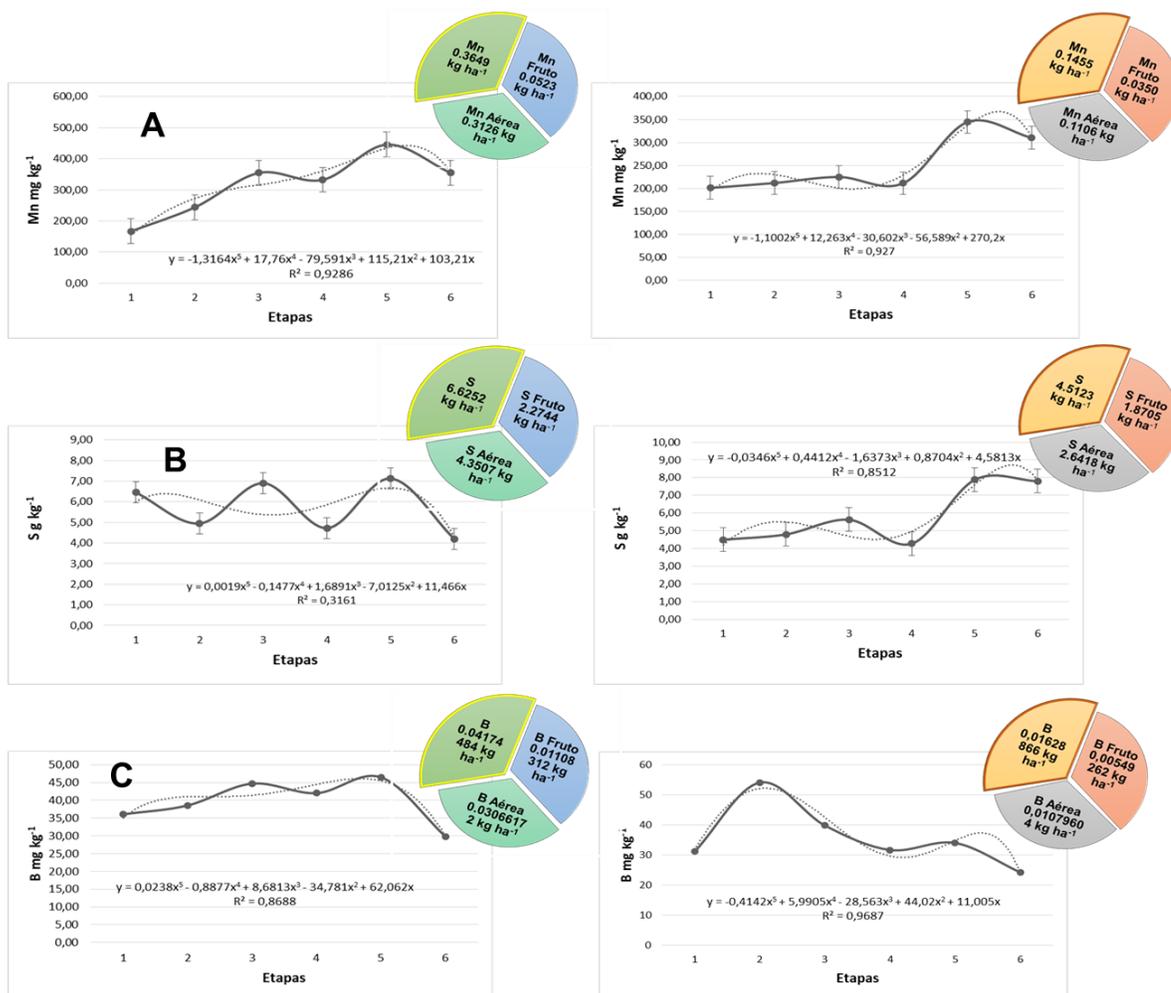
La absorción de boro (B) (Figura 24 C) mostró diferencias en los cultivares y en las etapas fenológicas estudiadas. Topito absorbió la mayor cantidad del nutriente en la etapa de desarrollo del fruto, mientras cubanel lo mostró en la etapa de trasplante y estabilización, exhibiendo disminución hasta la etapa de maduración del fruto.

Figura 23. Curvas de acumulación (mg kg^{-1}) de cobre (A), zinc (B) y hierro (C) en para los cultivares Topito (izquierda) y Cubanel (derecha) en cada una de las etapas fenológicas del cultivo en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.



El comportamiento en la dinámica de absorción de micronutrientes permite entrever que estos deben estar presentes en todas las etapas de crecimiento de los cultivares dada su importancia en los procesos metabólicos en los que participan. Por otro lado, es importante resaltar que no hay reportes en la literatura consultada respecto a la absorción de micronutrientes y por tanto, los resultados obtenidos en esta investigación constituyen el primer reporte de la dinámica de absorción de estos elementos esenciales en el ciclo fenológico de los cultivares evaluados.

Figura 24. Curvas de acumulación (mg kg^{-1}) de Manganeso (A), Azufre (S) y Boro (B) por parte de los cultivares Topito (izquierda) y Cubanel (derecha) en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.

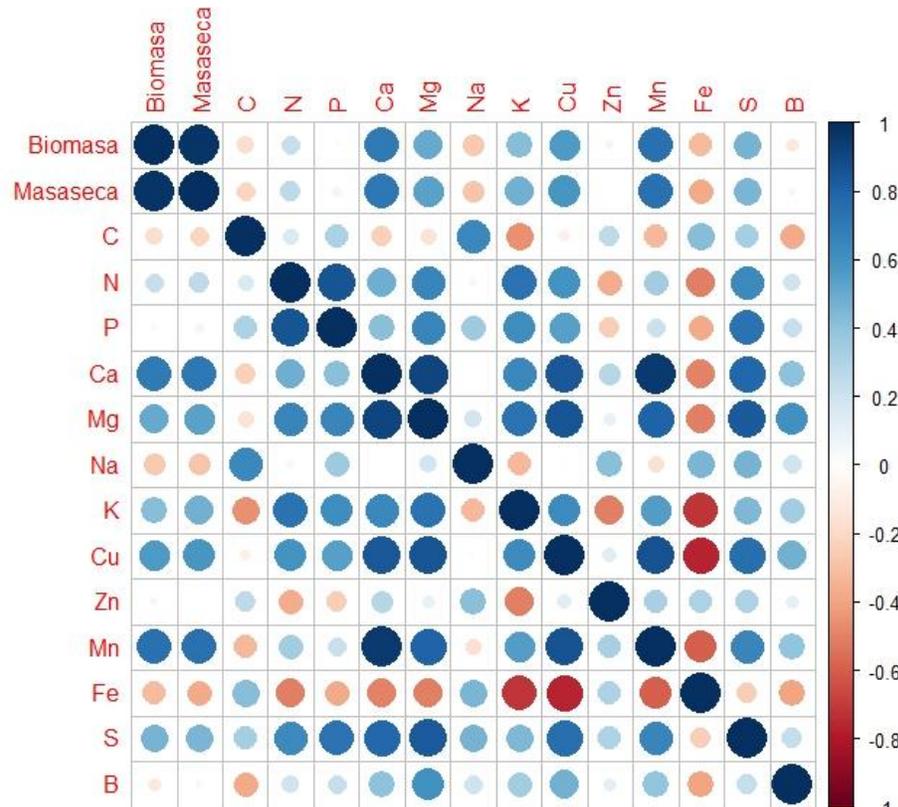


9.5. Relación entre absorción de nutrientes con parámetros de crecimiento en los dos cultivares de ají

Se evidenciaron relaciones positivas ($P < 0.05$) caracterizadas porque el incremento de uno de los parámetros está acompañado por el aumento de otro. Así mismo, se encontraron asociaciones inversas ($P > 0.05$) que denotan que incrementos de un parámetro, trae consigo la reducción de otro. Para verificar lo descrito, la variable biomasa en el cultivar Cubanel presentó asociación positiva con nutrientes como Mn ($r = 0.7433$; $P < 0.05$), Ca ($r = 0.7080$; $P < 0.05$), Cu ($r = 0.5630$; $P < 0.05$), K ($r = 0.4211$; $P < 0.05$) y Mg ($r = 0.5040$; $P < 0.05$) y asociación inversa con Na ($r = -0.2678$; $P > 0.05$) y Fe ($r = -0.3168$; $P < 0.0340$); de igual forma, la

relación de masa seca fue inversa con nutrientes como Fe ($r = -0.3724$; $P > 0.05$) y Na ($r = -0.2757$; $P > 0.05$) (Figura 25). Estos resultados sugieren efectos adversos de nutrientes como el sodio en el crecimiento, existiendo reportes de efectos adversos en la absorción y con ello la división celular cuando las concentraciones de este elemento son elevadas (Villa *et al*)⁶³.

Figura 25. Correlación entre parámetros de crecimiento y nutrientes evaluados cultivar Cubanel.

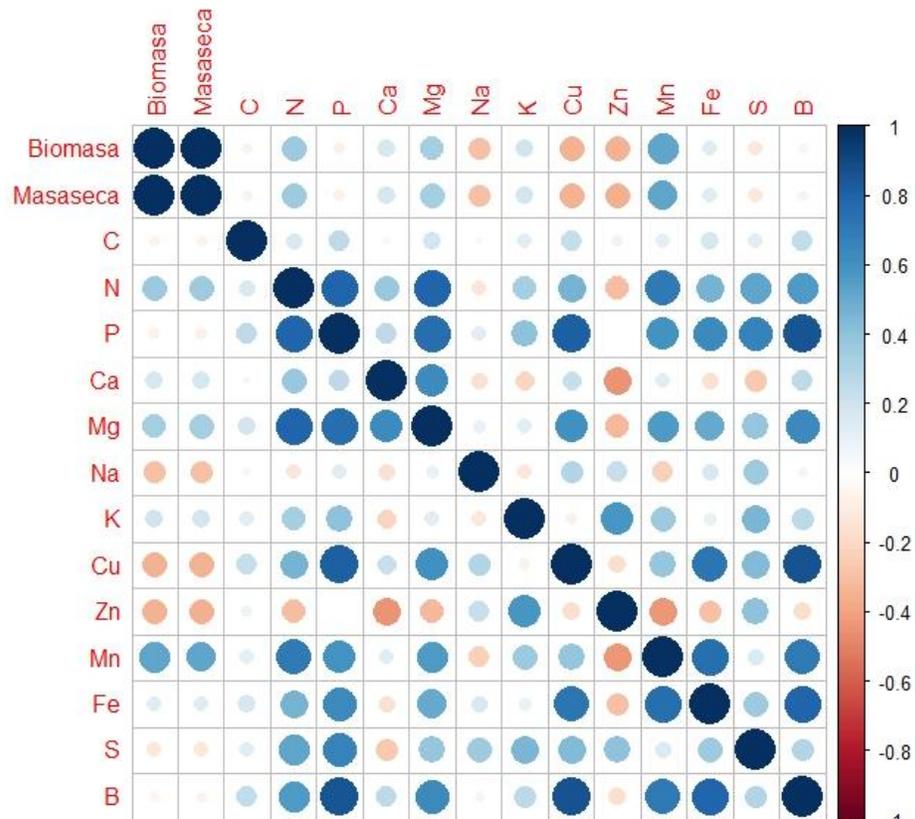


En el cultivar Topito se presentaron relaciones positivas entre la variable biomasa con los nutrientes N ($r = 0.3609$; $P < 0.05$), Mn ($r = 0.5255$; $P < 0.05$) y Mg ($r = 0.3341$, $p < 0.05$) e inversa con B ($r = -0.0583$; $P > 0.05$), Cu ($r = -0.3420$; $P > 0.05$), Na ($r = -0.2985$; $P > 0.05$) y Zn ($r = -0.3478$; $P > 0.05$); A su vez, la masa seca mostró asociación positiva con Mn ($r = 0.5214$; $P < 0.05$), Mg ($r = 0.3395$; $P < 0.05$) y N ($r = 0.3587$; $P < 0.05$), e inversa con Cu ($r = -0.3413$; $P > 0.05$) y Zn ($r = -0.3508$; $P > 0.05$) y Na ($r = 0.2990$; $P < 0.05$) (Figura 26).

⁶³ VILLA Castorena, M., CATALÁN Valencia, E. A., INZUNZA Ibarra, M. A., & ULERY, A. L. Absorción y traslocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino. Revista Fitotecnica Mexicana. 2006, 29(1).

Lo anterior permite entrever que existen relaciones entre nutrientes que tiene efectos positivos o negativos en el crecimiento del vegetal que deben ser objeto de profundo análisis. A manera de ejemplo puede señalarse el efecto del Zn en la absorción de N, P y Ca. En la figura se denota claramente que el incremento del primero tiene efectos negativos sobre la absorción de los segundos y así, se afecta notoriamente la acumulación de materia seca y por tanto del crecimiento del vegetal.

Figura 26. Correlación entre parámetros de crecimiento y nutrientes evaluados cultivar Topito.



Los mayores valores de biomasa permiten verificar que se requieren de mayor disponibilidad de nutrientes, pero las relaciones inversas explican el efecto de antagonismo entre elementos como por ejemplo P y Zn.

Finalmente, las asociaciones entre masa seca y nutrientes permiten estimar la cantidad mínima requerida por una especie que ha sido cultivada en óptimas condiciones para que exprese su mayor desarrollo y producción. De esta forma, es posible establecer el plan de fertilización para los cultivares en la zona de estudio, por consiguiente, el análisis de las relaciones existentes entre los parámetros de

crecimiento y los nutrientes existentes en el suelo es de gran relevancia dado que permite el manejo adecuado y sostenible del sistema productivo.

9.6. Plan de fertilización para los cultivares Topito y Cubanel en la zona de estudio.

Con base en las curvas de absorción de nutrientes en cada una de las etapas estudiadas en los cultivares Topito y Cubanel, mostradas en los capítulos anteriores, se sugiere un programa de fertilización para el ají en las condiciones bajo las cuales se desarrolló el estudio.

Como primera opción se puede pensar en fraccionar la fertilización en seis aplicaciones, pero dado el costo de la mano de obra en la zona y las condiciones ambientales reinantes, es suficiente pensar en tres aplicaciones, según las etapas y las cantidades requeridas en cada una de ellas (Tabla 7). Es necesario resaltar que las dosis recomendadas se encuentran en cantidad de nutriente por unidad de área, lo que conlleva a pensar que, en el caso de realizar este programa en condiciones específicas, se debe considerar además, en la eficiencia de la aplicación. Como guía se sabe que en los suelos colombianos la eficiencia del N llega al 50 %, del K al 60 %, del Ca y Mg al 80 % y del P al 20 %. Esto es de utilidad a la hora de elegir la fuente y el método de aplicación a emplear.

Tabla 7. Plan de fertilización para *C. annuum*. L cultivares Topito y Cubanel en las condiciones del Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, 2016.

Nutriente	DOSIS												TOTAL	
	PRIMERA				SEGUNDA				TERCERA				TOPITO	CUBANEL
	TOPITO		CUBANEL		TOPITO		CUBANEL		TOPITO		CUBANEL			
kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹												
N	21.9	10	10.8	10	109.7	50	54.2	50	87.7	40	43.4	40	219.3	108.4
P	1.6	50	0.7	50	1.6	50	0.7	50	0.0		0.0		3.3	1.4
Ca	15.7	10	6.2	10	93.9	60	37.4	60	47.0	30	18.7	30	156.5	62.4
Mg	4.0	30	3.0	30	5.4	40	4.1	40	4.0	30	3.0	30	13.5	10.1
K	29.8	30	14.7	30	49.7	50	24.5	50	19.9	20	9.8	20	99.5	48.9
Cu	0.0	30	0.0	30	0.0	50	0.0	50	0.0	20	0.0	20	0.0	0.0
Zn	0.0	40	0.0	40	0.0	60	0.0	60	0.0		0.0		0.1	0.1
Mn	0.1	50	0.0	40	0.1	50	0.1	60	0.0		0.0		0.3	0.1
Fe	0.4	60	0.2	80	0.2	40	0.1	20	0.0		0.0		0.6	0.3
S	2.3	50	1.8	50	2.3	50	1.8	50	0.0		0.0		4.6	3.5
B	0.0	50	0.0	50	0.0	50	0.0	50	0.0		0.0		0.0	0.0

10. CONCLUSIONES

La curva de crecimiento en las plantas de ají evaluadas bajo las condiciones del Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena fue continua y estuvo ligada a su fenología lo que permitió establecer que el periodo fenológico total para el cultivo estuvo caracterizado por seis periodos bien marcados, con duración de 131 días a inicio de cosecha siendo el inicio de floración, el evento en el que se reportó la mayor diferencia entre los cultivares, donde Topito inició este proceso siete días antes que Cubanel.

El orden de absorción para los macronutrientes fue $N > K > Ca > Mg > S > P > Na$, mientras que la absorción de micronutrientes presentó diferencias entre cultivares siendo en orden descendente para el cultivar Topito $Fe > Mn > Zn > B > Cu$, y para Cubanel $Fe > Mn > Zn > Cu > B$. La absorción de nutrientes por parte de los cultivares presento orden de acumulación similar, sin embargo, el cultivar Cubanel fue superado por Topito en acumulación total de los nutrientes evaluados.

La respuesta medida como absorción de nutrientes por parte de los cultivares estudiados, mostró diferencias entre los mismos, siendo el cultivar Topito el que más nutrientes absorbió y el que mejor desarrollo vegetativo presentó, lo que permitió establecer asimismo, planes de fertilización diferenciales, lo que sugiere manejo especial de los mismos y el uso adecuado del sistema para asegurar una nutrición balanceada.

Con lo obtenido en desarrollo del trabajo, se aportan argumentos de juicio con el objeto de incorporarlos al conocimiento existente sobre el manejo del cultivo del ají en la zona con el fin de integrar el suministro adecuado de nutrientes como un componente activo en el sistema productivo en programas de agricultura moderna o de manejo por sitio específico.

11. RECOMENDACIONES

De las experiencias obtenidas durante la realización de la presente investigación se recomienda:

- Realizar mayores estudios en este campo donde se incluyan macro y micronutrientes en la fertilización con dosis y fuentes variables para precisar mayor eficiencia de los planes de fertilización.
- Verificar si dosis crecientes de fertilizante se corresponden con mayores niveles de producción por parte del cultivo de Ají en la zona de estudio para estimar las necesidades reales.
- Efectuar estudios de absorción y acumulación de nutrientes en éste y otros cultivos de importancia económica, teniendo en cuenta las condiciones edáficas y climáticas particulares de las zonas productoras, para establecer planes acorde a las realidades de cada localidad.
- Determinar bajo diferentes condiciones climáticas si las etapas fenológicas y su duración, se corresponden con lo encontrado en esta investigación.

12. BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, Manuel et al. Fundamentos de fisiología vegetal. BARCELONA: EDICIONS UNIVERSITAT DE BARCELONA. 2000. p.403- 425- 431- 515.

AGRONET. Area cosechada, producción y rendimiento de ají, 2010-2013. p. 3 - 6. [En línea] <<http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Agrocadenas.aspx>>. [Citado en 2015/06/17] .

AGRONET. Principales departamentos productores de aji en colombia, ordenados por area 2013. [En línea] <<http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Agrocadenas.aspx>>. [Citado en 2015/06/17] .

AGRONET. Principales departamentos productores de aji en colombia, ordenados por producción, 2013. [En línea] <<http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Agrocadenas.aspx>>. [Citado en 2015/06/17] .

AGRONET. Comparativo en la produccion de ají, departamentos, Atlantico- cesar-cordoba-la guajira-Magdalena-sucre, 2010-2013. p.6 [En línea] <<http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Agrocadenas.aspx>>. [Citado en 2015/06/17] .

AGUIRRE, Sonia E. y PIRANEQUE, Nelson V. Nutrición vegetal. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. UNAD, Bogotá, Colombia. 2013. p. 13-19-20.

ASOFRUCOL. Plan Hortícola Nacional. [En línea] <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf> [citado en 2017/05/08].

AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco. Absorción y distribución en las plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L CV. HOT) en Alajuela, Costa Rica, Agronomía costarricense 32(1):19-29 ISSN: 0377-9424/ 2008. p. 13-19.

AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. hot), en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense, vol. 28, no 1, 2004. p. 58- 57- 62- 66.

AZOFEIFA, Álvaro y MOREIRA, Marco. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* CV. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica Agronomía Costarricense 2005; 29: p. 77-80-82- 84.

BERTSCH, Florida. Absorción de nutrientes por los cultivos. San José, Costa Rica. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa. 2003. p.183 - 307.

BERTSCH, Florida. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. En: N° 57, abril 2005, Quito, Ecuador. Informaciones Agronómicas. INPOFOS A.S.A, 2005. p. 1-2.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE). Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce. Turrialba, Costa Rica. 1993. p. 143.

CORPOICA. Ají topito magazín. [En línea] <<http://www.corpoica.org.co:8086/ver?vid=11152>> [Citado en 2015/05/05].

DÍAZ, Lisbeth et al. Crecimiento vegetativo del pimentón en función de la densidad de plantas y edad del cultivo. Barquisimeto, Venezuela. Bioagro 11(2): 69-73. 1999. p. 71.

FAGRO. Nutrición vegetal. [En línea] <http://www.fagro.mx/nutricion-vegetal.html> [citado en 2017/06/20].

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2015-b). Base de datos sobre producción de bienes agropecuarios. [En línea] <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>. [Citado en 2015/05/12].

GOOGLE EARTH. La información geográfica del mundo en tu mano [En línea] <<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>> [Citado en 2015/06/17].

HINSINGER, P. and JAILARD, B. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. J. Soil Sci: 44, 525-534, 1993.

Huber, D.M, Soil borne plant pathogen: management of disease with macro and microelements. In: Engelhard A.W (ed.) St. Paul, Minnesota, APS Press. 1989. p. 1-8.

ICA. Manuel de técnicas de laboratorio. Amezcuita Edgar *et al.* Código 0131047-93. Santafé de Bogotá, Colombia. 1993. p.179-185.

INFOAGRO. El cultivo del pimiento (1ª parte) [En línea] <<http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>> [Citado en 2015/05/01].

MARTINEZ, Adriana et al. Respuesta del ají (*Capsicum annum* L. Var. Cayena) a concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en Palmira, Valle de Cauca, Colombia.

ISSN 2422-0582 e- ISSN 2422-4456. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 2016. p. 43-44.

MENDOZA, Jorge et al. Crecimiento, acumulación de macronutrientes y producción de melón cantalupo y amarillo. Universidad federal rural do semi-Arido, Brazil. 2014. p. 80-81.

MUNDARAIN, Sol. COA, Martín y CAÑIZARES, Adolfo. Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). Revista UDO Agrícola 5 (1): 62-65. 2005.

PARADAIS SPHYNX. Desarrollo de las plantas, crecimiento y nutrición vegetal. [En línea] <<https://naturaleza.paradais-sphynx.com/plantas/desarrollo-de-las-plantas-crecimiento.htm>> [Citado en 2017/05/30].

PARADAIS SPHYNX. Partes de planta, estructura, crecimiento vegetativo y reproductivo. [En línea] <<https://naturaleza.paradais-sphynx.com/plantas/partes-de-las-plantas-estructura.htm>> [Citado en 2017/05/30].

PINEDA- PINEDA, J et al. Extraction and Nutrient Efficiency during the Vegetative Growth of Tomato under Hydroponics Conditions. Universidad autónoma Chapingo, CP 56230, México. 2011. p. 1000.

PIRANEQUE, Nelson V. Factores edafológicos que determinan la presencia y diseminación del hongo *sclerotium cepivorum* en el cultivo de cebolla de bulbo (*allium cepa*) en Tibasosa, Boyacá, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 2007. p. 42.

RINCON, L. et al. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. Centro de investigación y desarrollo agroalimentario (CIDA). Estación sericícola. Murcia, España. 1998. p. 334.

RYLSKI, I. Pepper (*Capsicum annum*) In: Handbook of fruit set and development. CRC. UK. 1986. p. 341-353.

SALAZAR- JARA. FL. y JUAREZ – LOPEZ. P. Requerimiento Macronutritional De Chile (*capsicum annum* L). Xalisco, Nayarit, México, Bio- Ciencias. ISSN 2007-3380. 2013. p. 32.

SARAVIA, Fanny M. Elaboración De Curvas De Absorción De Nutrientes Para La Variedad De Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) Alboran Bajo Condiciones De Invernadero En Zamorano, Honduras. Proyecto Especial Presentado Como Requisito Parcial Para Optar Al Título De Ingeniera Agrónoma En El Grado

Académico De Licenciatura. Honduras: Zamorano. Carrera De Ciencias Y Producción Agropecuaria. 2004. p. 26.

SECSUELO. Utilidad de los estudios de absorción. [En línea] <<http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/3-Utilidad-de-los-estudios-de-absorcion-Bertsch-F.pdf>> [Citado en 2015/06/17].

SHAVIV, A. y MIKKELSEN, R. L. Slow release fertilizers for a safer environment maintaining high agronomic use efficiency. *Fert. Res*, 1993, vol. 35, p. 1-12.

SOLOMON, Eldra P. BERG, Linda R. y MARTIN, Diana. Biología. Quinta edición. McGraw-Hill interamericana Editores S.A. de C.V., México. 2001.

THOMPSON, L.M. y TROEH, F.R. Los suelos y su fertilidad. New york, USA., cuarta edición, Editorial Reverte, S.A., 1988. p. 52-54.

VALLES, Rigió et al. Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimiento (*Capsicum annum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura. Barquisimeto. Venezuela. *Rev. Fac. Agron (LUZ)*. 2009, 26:159-178. P 174.

VARGAS, Marco V. Determinación de las curvas de acumulación de nutrientes en las variedades de clavel nelson y dakota (*Dianthus Caryphillus*), PULJILI-COTOPAXI. Tesis de grado previo a la obtención de título de magister en floricultura. Quito- Ecuador: Universidad central del Ecuador. Facultad de ciencias agrícolas. Instituto de investigación y postgrado. 2013. p. 74.

VÁSQUEZ, José R. Caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en los suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena. Diss. Universidad Nacional de Colombia, 2009. p. 26-27.

VILLA Castorena, M., CATALÁN Valencia, E. A., INZUNZA Ibarra, M. A., & ULERY, A. L. Absorción y traslocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 2006, 29(1).