

ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN TOMATE INDUSTRIAL IDIAP – T7 EN SUELOS DE LA REGIÓN DE AZUERO¹

Jorge Alberto Castro-Villarreal²; José Ezequiel Villarreal-Núñez³

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la dinámica de absorción de nutrimentos en el cultivo de tomate industrial variedad IDIAP-T7 en tres tipos de suelo según el contenido de arcillas de la región de Azuero, se realizó un ensayo con suelos de tres localidades con historial tomatero. Para ello, se llenaron 288 macetas (96 por tipo de suelo) con cuatro repeticiones por tratamiento, en ellas se sembraron plántulas de tomate de 21 días de germinadas que recibieron el plan de fertilización recomendado a los productores; se realizaron muestreos de tejidos en cada una de las etapas fenológicas de importancia (desarrollo vegetativo, floración, producción y maduración). Se logró determinar la producción de materia seca, el rendimiento del cultivo, la absorción de nutrimentos en cada etapa fenológica, las curvas de absorción para cada nutrimento, el análisis de regresión estableció las ecuaciones y mostró los coeficientes de determinación que van de 70% para la absorción de Fe en suelo con bajo contenido de arcillas, hasta 95% para Mn en suelo con alto contenido de arcillas; también, se determinó la extracción relativa de nutrimentos y se estableció el orden de importancia de los nutrimentos para la variedad y para cada suelo con diferente contenido de arcillas.

Palabras claves: Dinámica de nutrientes, etapa fenológica, coeficiente de determinación, extracción.

¹Recepción: 17 de mayo de 2019. Aceptación: 10 de julio de 2019. Investigación financiada con fondos del proyecto para la investigación e innovación para el manejo integrado del cultivo de tomate industrial en Panamá. Forma parte de la tesis de maestría en Manejo de Suelos y Agua del primer autor, en la Universidad de Panamá.

²Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). M.Sc. Manejo de Suelos y Agua. e-mail: jacastrovilla@gmail.com

³Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Ph.D. Edafología. e-mail: jevilla38@gmail.com



NUTRIENT ABSORPTION OF INDUSTRIAL TOMATO IDIAP-T7 IN SOIL SAMPLES OF THE AZUERO REGION IN PANAMA

ABSTRACT

Whit the aim of determine the dynamics of nutrient absorption in industrial tomato crop IDIAP-T7 using soil samples with three different clay levels of the Azuero region, a trial was carried out with soil samples of three localities with a tomato history. The experiment was done with three treatments and four repetitions. A total of 288 pots were filled with soil samples (96 per each clay level). Tomato planting was at 21 days after germination. The fertilization plan was that recommended to the producer. Tissue sampling was done at each important phenological stage (vegetative development, flowering, production and maturation). As results the experiment had the following achievements: The dry matter production, yield crop, nutrients absorption at each phenological stage, the absorption curves for each nutrient, the equations for analysis, and the coefficients of determination for each curve of absorption; 70% for Fe in soil with low clay content up to 95 % for Mn in soil with high clay content. The relative extraction of nutrients and their order of importance was established for variety and each soil with different clay level.

Key words: Dynamics absorption, phenological stage, coefficient of determination, extraction.

INTRODUCCIÓN

La variedad de tomate industrial IDIAP – T7 se encuentra en el mercado nacional desde 2006, la cual presenta un potencial de rendimiento de $54,5 \pm 9,1 \text{ t ha}^{-1}$ (IDIAP, 2006). Debido a que el tomate se cultiva en una gran variedad de condiciones edafoclimáticas no es posible generalizar sus etapas fenológicas; considerando las condiciones edafoclimáticas de la zona tomatera de Azuero, se define que las etapas fenológicas son las siguientes: Desarrollo vegetativo, floración, producción, maduración, senescencia (Murillo-Guerra et al., 2016).

La producción de tomate industrial en Panamá para el ciclo 2016-2017 fue de 18167 toneladas de tomate fresco, en un área total de 592 ha; lo cual da un rendimiento promedio de $30,8 \text{ t ha}^{-1}$ (FAO, 2018). Para este ciclo productivo se vendieron 4,25 kg de semilla de IDIAP – T7 que corresponden a 18,75 ha cultivadas (Murillo-Guerra et al., 2016).



Los estudios de absorción de nutrientes basados en las etapas fenológicas del cultivo permiten la elaboración de curvas de absorción que son una herramienta para la elaboración de planes de fertilización; a través de estas se puede determinar los momentos de máxima absorción del cultivo a largo de su ciclo de vida para cada nutriente de interés (Bertsch, 2009).

Los nutrientes requeridos por los cultivos se dividen en dos grupos según la cantidad que la planta necesita para un adecuado desarrollo, estos grupos son: los macronutrientes, son elementos requeridos en grandes cantidades para el adecuado desarrollo y producción de las plantas, dentro de este grupo se encuentra: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca) y azufre (S); el otro grupo son los micronutrientes, los cuales son requeridos por los cultivos en muy pequeñas cantidades, dentro de este grupo se encuentra: manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn) y cobre (Cu) (Kass, 2007).

En Panamá, Núñez (2006) evaluó la dinámica de absorción de macro y micronutrientes en la variedad de tomate L4A en tres suelos con diferente nivel de fertilidad; Barahona (2007), evaluó la dinámica de macro y micronutrientes en el cultivo de tomate CV L-5 bajo condiciones de cubierta plástica, sin embargo falta la evaluación de la dinámica de absorción de nutrientes en suelos con diferente contenido de arcillas representativos de la zona tomatera de Azuero, también falta estudiar la dinámica de absorción de nutrientes de la variedad IDIAP-T7, la cual representa una de las variedades mayormente sembrada para la industria en la región. Por lo que, el objetivo de esta investigación es determinar la dinámica de absorción de nutrientes del cultivo de tomate variedad IDIAP-T7 en tres tipos de suelo de la región de Azuero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

La fase experimental se desarrolló en las instalaciones del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) en La Villa de Los Santos, corregimiento de Los Santos, distrito de Los Santos, provincia de Los Santos, en las coordenadas 7°56'24" de latitud Norte – 80°25'02" de longitud Oeste; a una elevación aproximada de 14 msnm (Cuadro 1).



Selección de suelos

Se realizaron muestreos de suelos en los primeros 30 cm de profundidad, en diferentes parcelas de los distritos de Los Santos y Guararé en la provincia de Los Santos dentro de la “zona tomatera”. A las mismas se les determinó el contenido de arcillas por medio del procedimiento de Bouyoucos; con los resultados de este análisis se procedió a seleccionar tres localidades según su contenido de arcillas (alto, medio y bajo), como se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Ubicación y contenido de arcillas de los suelos en estudio.

Origen	Ubicación Geográfica	Ar-Li-Arc %	Contenido de Arcillas
La Espigadilla (Los Santos)	7°53'06,95" N 80°23'23,19" O	46 – 14 – 40 (Arcillo Arenoso)	Alto
Albina Grande (Guararé)	7°52'29,04" N 80°18'21,08" O	54 – 20 – 26 (Franco Arcillo Arenoso)	Intermedio
Las Guabas (Los Santos)	7°48'30,42" N 80°28'49,49" O	74 – 18 – 8 (Franco Arenoso)	Bajo

Nota: Ar= arena, Li= limo, Arc= arcilla;

Fuente: Laboratorio de Suelos y Agua – IDIAP (2016).

Los suelos que se seleccionaron para este estudio pertenecen al orden Alfisol, estos suelos poseen acumulaciones de arcillas en el horizonte “B” y fertilidad moderada a alta con alto porcentaje de saturación de bases (Villarreal *et al.*, 2010).

Según Jaramillo (1991), la zona tomatera de la región de Azuero está ubicada en las tierras bajas de la costa pacífica del istmo de Panamá, posee un régimen de humedad ústico y régimen de temperatura isohipertermico. Según las zonas de vida establecidas por Holdridge, la zona está enmarcada en el Bosque Seco Premontano.

Desarrollo de la investigación

La investigación se desarrolló en dos fases separadas, siendo estas: Fase de Campo y Fase de Laboratorio.



Fase de Campo

El ensayo se realizó entre los meses de julio a octubre de 2016, en una casa de vegetación ubicada en las instalaciones de IDIAP en Azuero. Los tratamientos se definieron según el contenido de arcillas de los suelos seleccionados (bajo, intermedio y alto), se utilizaron masetas plásticas de 22,7 kg de capacidad. El ensayo estuvo compuesto de tres tratamientos basados en el contenido porcentual de arcillas (bajo 0 – 20%, medio 20 – 40% y alto >40%), cada tratamiento constó de cuatro repeticiones con 24 masetas cada una. A los tratamientos se les aplicó la fertilización recomendada para el cultivo de tomate industrial ($110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $220 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ y $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$) y riego por sistema de goteo; el cultivo recibió el manejo tradicional, con aplicaciones de fertirriego, control de plagas y enfermedades y podas (IDIAP, 2016). Durante el ciclo de cultivo se realizaron muestreos destructivos de material vegetativo y frutos; estos muestreos se realizaron durante la etapa vegetativa (21 ddt), etapa de floración (35 ddt), etapa de producción (55 ddt) y etapa de maduración (85 ddt) además, se realizaron muestreos para determinar el rendimiento (kg ha^{-1}).

Fase de laboratorio

A las muestras vegetales y de fruto colectadas durante la fase de campo se les determinó el peso húmedo, se secaron a 70° C hasta peso constante, se determinó la materia seca (MS), se molió para realizar análisis de laboratorio para determinar el contenido de nutrientes. El contenido de nutrientes se determinó siguiendo la metodología descrita por Villarreal, Name y Barahona (2015); se realizó una mineralización de los tejidos por vía húmeda donde se obtuvo el extracto base para determinar el contenido de P, Ca, Mg, K, Cu, Mn, Fe y Zn; el fósforo se determinó utilizando el extracto obtenido de la digestión húmeda y se le agregó la solución de molibdato de amonio para que dé el color azul si hay fósforo mediante la formación de ácido fosfomolibdico utilizando espectrofotometría de luz visible, el nitrógeno se determinó siguiendo el método de Kjeldahl, para determinar la concentración de K, Ca, Mg, Mn, Cu, Fe y Zn se utilizó la absorción atómica de fuente continua.

Análisis estadístico

Se aplicó una regresión potencial a los datos obtenidos para cada nutriente y en cada tipo de suelo para conseguir las ecuaciones ($y=A*x^b$) y el coeficiente de determinación



(R²) que permitirán estimar la demanda nutricional de la variedad en cualquier momento del desarrollo del cultivo.

$$y = A * x^b$$

Donde:

y = absorción de nutrimento (kg ha⁻¹).

A = pendiente de la curva.

b = intercepto de la curva.

x = variable independiente (etapa de crecimiento).

Variables de estudio

Extracción de nutrientes (kg ha⁻¹).

Rendimiento por hectárea (t ha⁻¹).

Biomasa (t ha⁻¹).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa y rendimiento

La producción de biomasa fue similar para los tres tratamientos, se produjo entre 5,4 – 5,9 toneladas de materia seca por hectárea, siendo las plantas cultivadas en el suelo con alto contenido de arcillas las que produjeron más biomasa (Figura 1). Se observó una disminución de la producción de biomasa durante las etapas de floración y producción en el suelo con alto contenido de arcillas, esto se debió a un brote de *Alternaria* sp. que afectó este tratamiento en esta etapa, una vez que se controló, se observó un repunte en la producción de follaje. También, se notó que no se presentó un descenso en la producción de biomasa luego de los 85 ddt, esto se atribuye al tipo de crecimiento de la planta (semi-determinado).



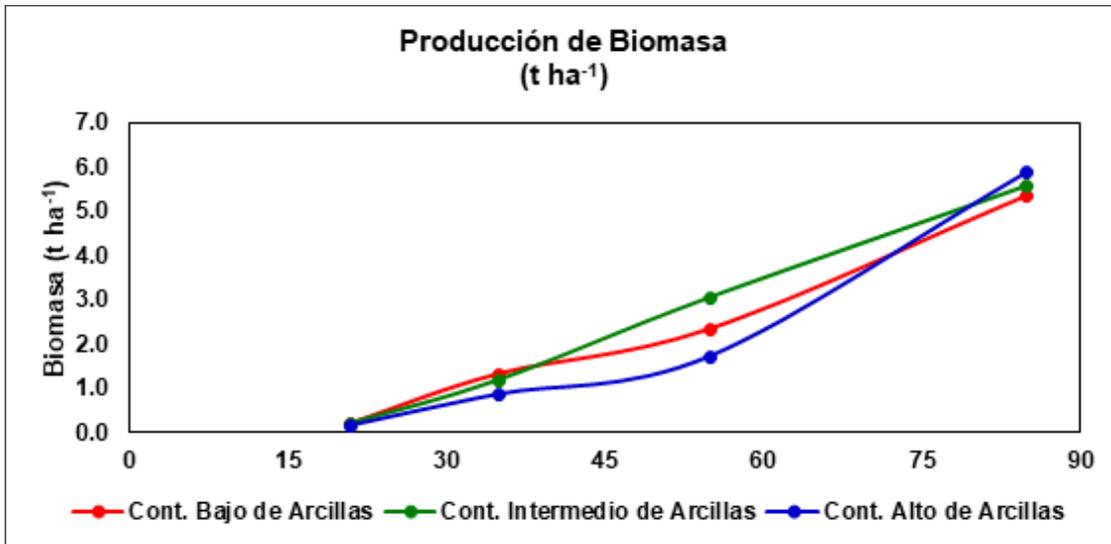


Figura 1. Biomasa total de la variedad IDIAP-T7 en tres tipos de suelo - Los Santos, 2016.

El rendimiento obtenido con la variedad IDIAP-T7 en los tres tipos de suelos va de 53,4 – 56,6 t ha⁻¹ (Figura 2). Según IDIAP (2006), la variedad IT-7 tiene un potencial de rendimiento de 54,5 ± 9,1 t ha⁻¹; lo cual indica que los resultados están dentro del rango de 45,5 t ha⁻¹ a 63,6 t ha⁻¹.

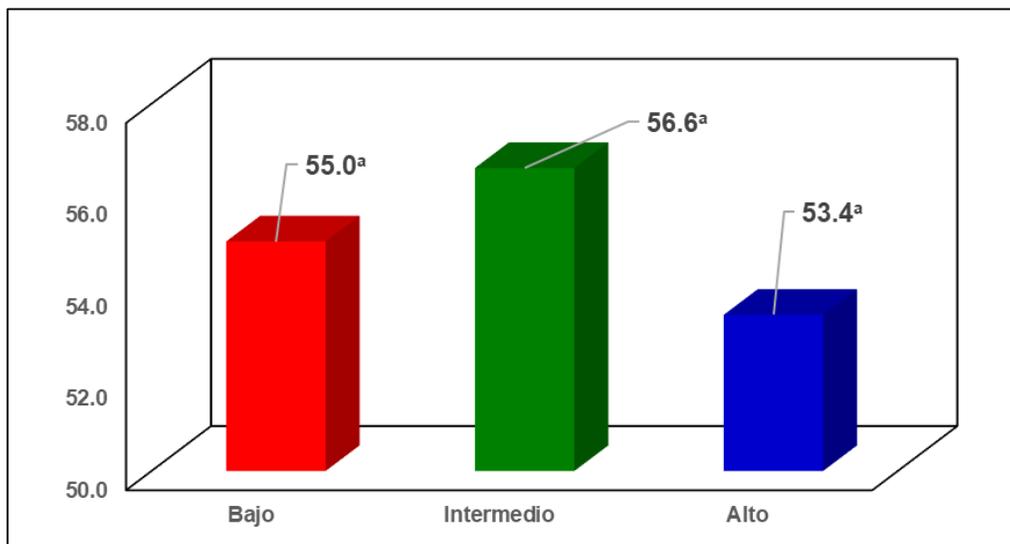


Figura 2. Rendimiento (t ha⁻¹) de la variedad IDIAP-T7 en tres tipos de suelo - Los Santos, 2016.



Se presentó diferencia significativa entre los tratamientos en el micronutriente hierro, donde se determinó que en los suelos con un contenido intermedio de arcillas las plantas de tomate presentaron una mayor absorción de hierro sin evidenciar síntomas de toxicidad por este nutriente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Extracción total (kg ha⁻¹) de nutrientes por la variedad IDIAP-T7 en tres tipos de suelo - Los Santos, 2016.

Tratamiento (Contenido de Arcillas)	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe*	Z n	Cu
	Extracción Total (kg ha ⁻¹)								
Bajo	183,9 ^a	21,1 ^a	218,7 ^a	50,1 ^a	20,1 ^a	2,55 ^a	0,93 ^b	0,69 ^a	0,023 ^a
Intermedio	165,3 ^a	18,9 ^a	234,4 ^a	43,2 ^a	21,0 ^a	2,39 ^a	1,77 ^a	0,86 ^a	0,044 ^a
Alto	168,7 ^a	21,2 ^a	205,4 ^a	42,0 ^a	26,4 ^a	1,74 ^a	0,99 ^b	0,65 ^a	0,041 ^a
C.V. (%)	20,6	29,1	23,2	43,6	21,5	45,7	27,5	45,7	45,3

*: diferencia significativa entre los tratamientos.
Fuente: Castro, JA. (2018).

Curva de absorción de nitrógeno (N)

La absorción de este nutriente no presentó diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, se encontró que la mayor absorción se presentó en las plantas cultivadas en el suelo con bajo contenido de arcillas con 183 kg ha⁻¹; mientras que los tratamientos con un contenido intermedio o alto de arcillas presentaron absorciones de 165 kg ha⁻¹ – 170 kg ha⁻¹ (Cuadro 2).

El nitrógeno (N) se clasifica en el grupo de los macronutrientes debido a la importancia que tiene en los diversos procesos fisiológicos de la planta y por la cantidad que el cultivo absorbe, ya que es un componente esencial de la clorofila como unidad básica de la absorción de energía lumínica para los procesos fotosintéticos (Malavolta, 1980).

La absorción de N fue similar en los tres tratamientos. Se determinó que la absorción en las etapas fenológicas del desarrollo vegetativo y la floración se encuentra entre 20% y 35%, mientras que en las etapas de llenado de fruto y maduración la planta absorbe entre 60% y 80% del total extraído durante el ciclo de cultivo.

La absorción de nitrógeno presentó dos picos durante el ciclo de cultivo, durante la floración la planta asimiló entre 15% y 30% del nitrógeno total, el otro pico se presentó en



la etapa de maduración donde la planta tomó más del 50% del nitrógeno total (Cuadro 3). Saravia (2004), reportó que la variedad Alboran presentó dos picos de absorción de nitrógeno durante su ciclo de cultivo, el primero durante la floración y el segundo durante la cosecha.

Cuadro 3. Distribución porcentual de la absorción de nitrógeno por etapa fenológica por cada tratamiento - Los Santos, 2016.

Etapa Fenológica	Contenido de arcilla		
	Bajo (183,8 kg N ha ⁻¹)	Intermedio (165,4 kg N ha ⁻¹)	Alto (168,7 kg N ha ⁻¹)
	-----%-----		
Des. Vegetativo	4,9	5,2	4,1
Floración	27,3	28,2	15,0
Producción	13,6	30,9	18,0
Maduración	54,2	35,7	62,9

Curva de absorción de fósforo (P)

La absorción de este nutriente presentó un comportamiento constante a través de las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Los tres tratamientos mostraron una absorción similar de fósforo, con unos valores comprendidos entre 18 kg ha⁻¹ y 21 kg ha⁻¹.

El fósforo es vital para el crecimiento y la salud de las plantas, dentro de la planta este nutriente básicamente es componente de las funciones estructurales de la planta, además de ser la fuente de energía para los procesos fisiológicos en forma de ADP y ATP, y participa en los procesos de síntesis y degradación de carbohidratos (Kass, 2007).

La movilidad del fósforo en el suelo es muy limitada, por ello, que las plantas se ven limitadas al absorber el que se encuentre próximo a sus raíces. La absorción de fósforo es un proceso dependiente del pH. La mayoría de los suelos en Panamá son deficientes en fósforo, cuando la concentración de fósforo en el suelo es baja la absorción se vuelve activa (contra la gradiente), este tipo de absorción es un proceso que demanda energía, así que los procesos que inhiben la actividad radicular (bajas temperaturas o exceso de agua) afectan la absorción de fósforo (Gordon y Villarreal, 2016).



La absorción por el cultivo a lo largo de las diferentes etapas fenológicas fue en aumento. Las plantas absorbieron el 50% del fósforo en la etapa de maduración y la otra mitad distribuido en las otras etapas en estudio (Cuadro 4).

Cuadro 4. Distribución porcentual de la absorción de fósforo por etapa fenológica por cada tratamiento - Los Santos, 2016.

Etapa Fenológica	Contenido de arcilla		
	Bajo (21,1 kg P ha ⁻¹)	Intermedio (18,9 kg P ha ⁻¹)	Alto (21,2 kg P ha ⁻¹)
	-----%		
Des. Vegetativo	5,4	5,8	4,2
Floración	30,0	21,0	11,3
Producción	13,4	23,4	20,3
Maduración	51,2	49,8	64,2

Curva de absorción de potasio (K)

El potasio es el nutriente que más demandó el cultivo durante todo su ciclo de cultivo, con valores superiores a los 200 kg ha⁻¹; mostrando que la variedad IDIAP-T7 absorbe entre 3,85 – 4,15 kg K t⁻¹ de fruto cosechado. Estudios realizados en Reino Unido demostraron que el tomate absorbe entre 2,6 – 3,6 Kg K t⁻¹ cosechada (Yara, 2019).

Además, cumple un papel preponderante en la fotosíntesis, es activador de más de sesenta procesos enzimáticos, promueve la síntesis, traslocación y almacenamiento de los carbohidratos, y optimiza la hidratación de los tejidos (Sela, 2017).

La absorción de potasio fue similar en los tres tratamientos a lo largo del ciclo de cultivo; se puede observar que la planta siempre mostró una absorción constante desde la etapa de desarrollo vegetativo hasta el último muestreo en la fase de maduración.

La distribución porcentual de la absorción de K en las cuatro etapas fenológicas estudiadas durante las etapas de producción y maduración es cuando la planta absorbió la mayor cantidad de este nutriente, presentando valores que van desde el 72% en los suelos con bajo contenido de arcillas, 78% en los suelos con contenido intermedio y 86% en los suelos con alto contenido de arcillas (Cuadro 5).



Cuadro 5. Distribución porcentual de la absorción de potasio por etapa fenológica por cada tratamiento - Los Santos, 2016.

Etapa Fenológica	Contenido de arcilla		
	Bajo (218,66 kg K ha ⁻¹)	Intermedio (234,44 kg K ha ⁻¹)	Alto (205,45 kg K ha ⁻¹)
	-----%-----		
Des. Vegetativo	4,2	5,0	3,7
Floración	23,7	15,8	9,7
Producción	20,0	40,4	14,6
Maduración	52,2	38,9	72,0

Curva de absorción de calcio (Ca)

El calcio es un nutriente importante en algunos procesos enzimáticos, en el metabolismo de la absorción de otros nutrientes y en el fortalecimiento de la pared celular. Se pudo observar que en los tratamientos con bajo y alto contenido de arcillas durante la etapa de producción se presentó una pequeña reducción de la absorción de calcio, luego la planta aumento la absorción de este nutriente que no se detuvo hasta la etapa de maduración.

La mayor absorción de calcio se da en la etapa de maduración del tomate, con valores superiores al 70% de la absorción total, siendo el otro 30% absorbido durante las tres etapas fenológicas anteriores (Cuadro 6).

Cuadro 6. Distribución porcentual de la absorción de calcio por etapa fenológica por cada tratamiento - Los Santos, 2016.

Etapa Fenológica	Contenido de arcilla		
	Bajo (50,14 kg Ca ha ⁻¹)	Intermedio (43,19 kg Ca ha ⁻¹)	Alto (42,04 kg Ca ha ⁻¹)
	-----%-----		
Des. Vegetativo	4,1	3,7	3,9
Floración	13,1	9,5	10,9
Producción	6,8	16,1	9,7
Maduración	76,0	70,7	75,5

Curva de absorción de magnesio (Mg)

El comportamiento de la absorción de magnesio a lo largo del ciclo de cultivo de la variedad IDIAP-T7 en los tres suelos. Se observó que las plantas cultivadas en los suelos con alto y bajo contenido de arcillas presentaron un esquema de absorción muy similar, en el cual durante el periodo comprendido entre 35 y 55 días de cultivo se presentó una



estabilización de la absorción de este nutriente; posterior a esta, las plantas incrementaron su absorción de forma sostenida hasta la etapa de maduración.

La distribución porcentual de la absorción total de magnesio en las diferentes etapas fenológicas del cultivo, mostrando que entre la etapa de producción y maduración en los tres tratamientos las plantas absorben más del 70% del Mg total (Cuadro 7).

Cuadro 7. Distribución porcentual de la absorción de magnesio por etapa fenológica por cada tratamiento - Los Santos, 2016.

Etapa Fenológica	Contenido de arcilla		
	Bajo (20,08 kg Mg ha ⁻¹)	Intermedio (21,04 kg Mg ha ⁻¹)	Alto (26,45 kg Mg ha ⁻¹)
	-----%-----		
Des. Vegetativo	11,7	10,9	5,6
Floración	10,9	11,6	7,9
Producción	0,90	23,2	8,7
Maduración	76,5	54,2	77,8

Curva de absorción de manganeso (Mn)

El manganeso interviene en proceso muy importantes dentro de la planta, como lo son: respiración, liberación O₂ en la fotólisis del agua y activador del ciclo de Krebs. Las plantas cultivadas en suelo con un contenido intermedio de arcillas presentaron ligeramente una mayor absorción de manganeso durante todo el ciclo de cultivo. Por otro lado, en el tratamiento con contenido alto de arcillas la absorción presentó una diferencia de 1,0 kg ha⁻¹ menos que las plantas cultivadas en el tratamiento con bajo contenido de arcillas.

La distribución porcentual de la absorción de manganeso a lo largo del ciclo de cultivo en sus diferentes etapas fenológicas. Se observó que más del 80% de este nutriente se absorbió durante las etapas de producción y maduración, lo cual es un indicativo de cuando la planta requiere en mayor cantidad este nutriente (Cuadro 8).



Cuadro 8. Distribución porcentual de la absorción de manganeso por etapa fenológica por cada tratamiento - Los Santos, 2016.

Etapa Fenológica	Contenido de arcilla		
	Bajo (2,55 kg Mn ha ⁻¹)	Intermedio (2,39 kg Mn ha ⁻¹)	Alto (1,74 kg Mn ha ⁻¹)
	-----%-----		
Des. Vegetativo	0,50	1,3	0,70
Floración	7,8	11,7	6,6
Producción	15,2	36,0	24,8
Maduración	76,5	51,0	67,9

Curva de absorción de hierro (Fe)

El comportamiento de la absorción de hierro en los diferentes tratamientos, se constató que el tratamiento con contenido intermedio de arcillas fue el que presentó la mayor absorción de hierro por parte de las plantas; es importante mencionar que no se presentaron patologías visuales de toxicidad por hierro. En cuanto a los tratamientos con bajo y alto contenido de arcillas, presentaron un comportamiento similar en cuanto a la absorción de este nutriente.

La mayor absorción de hierro se presenta durante la etapa de floración seguida por otro pico de absorción en fase de maduración del cultivo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Distribución porcentual de la absorción de hierro por etapa fenológica por cada tratamiento - Los Santos, 2016.

Etapa Fenológica	Contenido de arcilla		
	Cont. Bajo (0,93 kg Fe ha ⁻¹)	Cont. Intermedio (1,77 Fe ha ⁻¹)	Cont. Alto (0,99 Fe ha ⁻¹)
	-----%-----		
Des. Vegetativo	8,3	8,5	9,2
Floración	42,2	51,4	52,0
Producción	10,2	8,5	25,5
Maduración	39,3	31,6	14,3

Curva de absorción de zinc (Zn)

Durante las etapas fenológicas del desarrollo vegetativo y floración, la absorción de zinc fue similar entre los tres tratamientos, posterior a esto se observó que las plantas cultivadas en el tratamiento con contenido intermedio de arcillas incrementaron su absorción, mientras que las cultivadas en los otros dos tratamientos continuaron presentando un comportamiento similar en la absorción del nutriente.



De la absorción total de zinc por parte de las plantas de tomate se determinó que el 80% se absorbe entre las etapas de producción y maduración (Cuadro 10).

Cuadro 10. Distribución porcentual de la absorción de zinc por etapa fenológica por cada tratamiento - Los Santos, 2016.

Etapa Fenológica	Contenido de arcilla		
	Bajo (0,69 kg Zn ha ⁻¹)	Intermedio (0,86 kg Zn ha ⁻¹)	Alto (0,65 kg Zn ha ⁻¹)
	-----%-----		
Des. Vegetativo	2,3	2,2	2,3
Floración	17,5	14,8	8,7
Producción	39,7	27,7	32,8
Maduración	40,5	55,2	56,2

Curva de absorción de cobre (Cu)

Durante las primeras etapas fenológicas, el comportamiento de la absorción fue similar entre los tres tratamientos, la diferenciación entre estos se produjo después de los 50 ddt. También se logró determinar que durante las etapas de producción y maduración es cuando las plantas absorben el 80% de total de cobre, el 20% restante se distribuye entre las etapas del desarrollo vegetativo y floración, respectivamente (Cuadro 11). Saravia (2004), reporta que la variedad de tomate Alboran absorber el 86% del total de Cu requerido durante el ciclo de cultivo en la etapa de maduración.

Cuadro 11. Distribución porcentual de la absorción de cobre por etapa fenológica por cada tratamiento - Los Santos, 2016.

Etapa Fenológica	Contenido de arcilla		
	Bajo (0,023 kg Cu ha ⁻¹)	Intermedio (0,044 kg Cu ha ⁻¹)	Alto (0,041 kg Cu ha ⁻¹)
	-----%-----		
Des. Vegetativo	5,2	4,5	4,9
Floración	12,2	13,6	14,6
Producción	30,4	38,6	19,5
Maduración	52,2	43,2	61,0

Extracción relativa de nutrientes

La extracción relativa es una representación de la distribución de los nutrientes absorbidos por la planta dentro de sus diferentes tejidos (raíces, follaje y frutos), esta es una herramienta que permitirá la toma de decisiones a la hora de diseñar planes de fertilización y el manejo de los campos de cultivo.



La distribución porcentual en los tejidos de la planta de la absorción total, permite observar el orden de importancia de cada nutriente en los diferentes tejidos basado en la cantidad que se almacena en ellos; en el sistema radicular el orden de importancia es el siguiente: $Fe > Cu > Mg > Mn > Zn > N > Ca > P > K$; en los tejidos foliares se observó que los niveles de importancia es el siguiente: $Ca > Mn > Mg > Zn > Cu > N > K > P > Fe$, y para los frutos los niveles de importancia fueron los siguientes: $P > K > N > Zn > Fe > Mg > Ca > Mn > Cu$ (Figura 3).

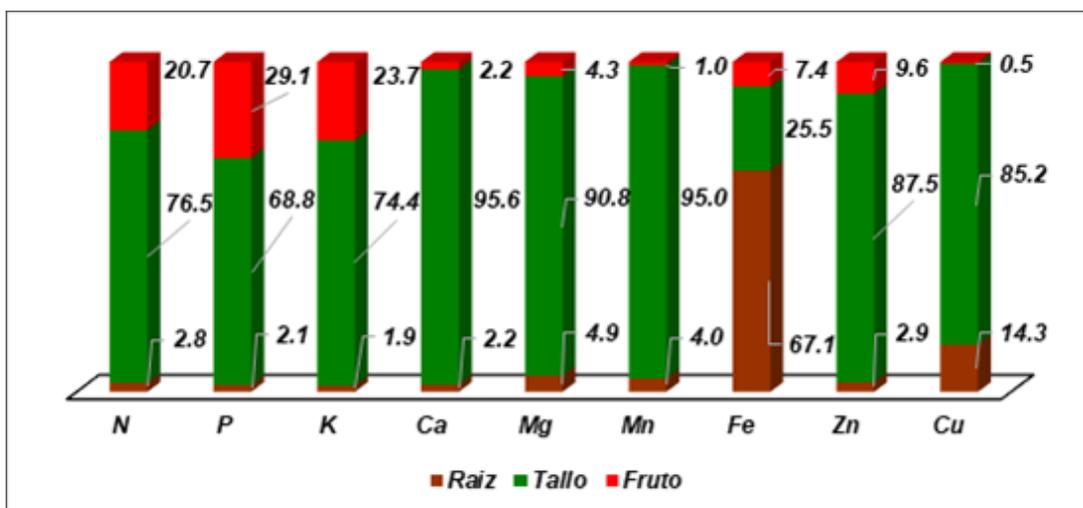


Figura 3. Extracción relativa de la variedad IDIAP-T7 en las diferentes partes de la planta, promedio de los tratamientos - Los Santos, 2016.

Los niveles de importancia de los nutrientes basado en la absorción total (kg ha^{-1}) para las plantas cultivadas en un suelo con bajo contenido de arcillas es el siguiente: $K > N > Ca > P > Mg > Mn > Fe > Zn > Cu$; para las cultivadas en un suelo con contenido intermedio de arcillas: $K > N > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu$, y para las cultivadas en un suelo con alto contenido de arcillas: $K > N > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu$.

CONCLUSIONES

- El contenido de arcillas es un factor que debe tomar en cuenta al momento de seleccionar un suelo para cultivo. Suelos con alto contenido de arcillas poseen la capacidad de almacenar mayor cantidad de agua y de compactarse, lo cual puede



afectar el desarrollo del sistema radicular, y por ende la adecuada absorción de nutrientes.

- El análisis de la absorción relativa permitió saber que dependiendo de que tejido de la planta se esté estudiando la cantidad porcentual de los nutrientes absorbidos varia. En los tejidos radiculares demandan el 70% del Fe total absorbido, los tejidos foliares absorben más del 90% del total del Ca, Mg y Mn y los frutos requieren el 30% del P absorbido.
- La cantidad de cada nutriente que es absorbido por los diferentes tejidos de la planta permite conocer cuánto de cada nutriente sale del campo en forma de cosecha y cuanto se queda en forma de rastrojo y puede ser reciclado. Además, permite saber los principales nutrientes que requiere la variedad, cuando aplicar los nutrientes requeridos y la época de mayor demanda por cada tejido.

BIBLIOGRAFÍA

- Barahona, L.A. 2007. Determinación de la dinámica de los macro y micronutrientes en el cultivo de tomate CV-L-5 (*Lycopersicon esculentum* MILL) para una eficiente y oportuna fertilización bajo condiciones de cobertura plástica. Tesis de Ingeniería Agronómica. Universidad de Panamá. Las Tablas, Panamá.
- Bertsch, F. 2009. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Castro, J.A. 2018. Curvas de absorción de nutrimentos como estrategia para el manejo sostenible y eficiente de la fertilización del tomate industrial en Azuero. Tesis MSc. Universidad de Panamá. Las Tablas, Panamá.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. FAOSTAT Estadísticas de la producción de tomate fresco hasta el 2013. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (consultado 6 ene. 2018).



- Gordon, R., y J. Villarreal. 2016. Manejo de la fertilización fosfatada en el cultivo de maíz, El Ejido, Panamá 2004 – 2013. *Agron. Mesoam.* 27(1):95-108.
- IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá). 2006. Tríptico informativo sobre la variedad de tomate IDIAP T-7. IDIAP. Panamá. 1 p.
- Jaramillo, S. 1991. Pedones de campo y estaciones experimentales del IDIAP. Boletín Técnico N° 38. IDIAP. Panamá.
- Kass, D. 2007. Fertilidad de Suelos. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUMED). San José, Costa Rica.
- Malavolta, E. 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. Ceres. São Paulo, Brasil.
- Murillo-Guerra, J.A., J.E. Villarreal-Núñez, J.A. Herrera-Vásquez, V. Aguilera y O. Osorio. 2016. Manual técnico - Manejo integrado del cultivo de tomate industrial. IDIAP. Panamá.
- Núñez, J.I. 2006. Determinación de la dinámica de absorción de los macro y micro nutrimentos, en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL) var. L-4^a cultivado en tres suelos de la región de Azuero con diferentes niveles de fertilidad bajo condiciones de plasticultura. Tesis de Ingeniería Agronómica. Universidad de Panamá. Las Tablas, Panamá.
- Saravia, F.M. 2004. Elaboración de curvas de absorción de nutrientes para la variedad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) Alboran bajo condiciones de invernadero en Zamorano, Honduras. Zamorano, Honduras.
- Sela, G. 2017. La absorción del calcio y su movilidad en la planta. <http://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/calcium-in-plants> (consultado 12 ene. 2018).
- Villarreal, J.; B. Name, y L. Barahona. 2015. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá.



Villarreal, J., Agudo, L, y Villalaz, J. 2010. Clasificación de suelos de Panamá y sus equivalencias. https://www.researchgate.net/publication/301291244_CLASIFICACION_DE_SUELOS_DE_PANAMA_Y_SUS_EQUIVALENCIAS_2010_1 (consultado 8 ene. 2018).

Yara (Yara Internacional ASA, Knowledge grows). 2019. Función del potasio en la producción de tomate. <https://www.yara.cl/nutricion-vegetal/tomate/funcion-del-potasio-en-la-produccion-de-tomate/> (consultado 18 jul. 2019).

