



**Diagnóstico nutrimental mediante análisis foliar de *Lycopersicon esculentum* var. *Pietro*
bajo el influjo de cuatro soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas**

Criollo Cunalata, Víctor Hugo

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal, Mgs.

20 de agosto del 2020

Urkund Analysis Result

URKUND ANALYSIS RESULT

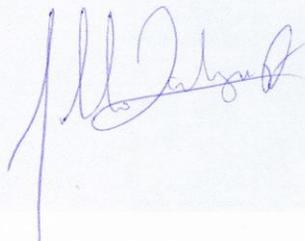
Analysed Document: Tesis Completa_VictorCriollo.docx (D77460419)
 Submitted: 8/4/2020 11:58:00 PM
 Submitted By: palandazuri@espe.edu.ec
 Significance: 9 %

Sources included in the report:

INFORME TECNICO DE TESIS formato 2.docx (D29517589)
 tesis de jennifer coloma para urkund.docx (D29638658)
 CABANILLA 05-02- 2015.. Tesis.docx (D14324582)
 VILMA CHANGOLUISA_TESIS.docx (D63918777)
<https://docplayer.es/141674831-Resumen-doi.html>
<https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14847/>
 Arevalo_EdgaroSantiago_TD_2015.pdf
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/19038>
https://pdfs.semanticscholar.org/3224/697954e43edf08de7ba32861eaf5007f4823.pdf?_ga=2.32213563.448723242.1569605737-1376288559.1569605737P
<https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2491>
https://www.researchgate.net/publication/280079326_DRIS_y_analisis_foliar
<https://docplayer.es/48453290-Capitulo-6-nutricion-fertilizacion.html>
https://inta.gob.ar/sites/default/files/analisis_foliar_y_utilizacion_del_drис_en_pecan.pdf

Instances where selected sources appear:

34





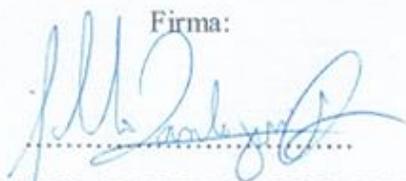
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL MEDIANTE ANÁLISIS FOLIAR DE *Lycopersicon esculentum* var. Pietro BAJO EL INFLUJO DE CUATRO SOLUCIONES NUTRITIVAS EN TRES ETAPAS FENOLÓGICAS” fue realizado por el señor CRIOLLO CUNALATA VICTOR HUGO el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, agosto del 2020

Firma:



LANDAZUI ABARCA, PABLO ANIBAL
C.C. 1708262348



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **CRIOLLO CUNALATA, VICTOR HUGO**, con cédula de ciudadanía N° 171829832-4, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL MEDIANTE ANÁLISIS FOLIAR DE *Lycopersicon esculentum* var. Pietro** **BAJO EL INFLUJO DE CUATRO SOLUCIONES NUTRITIVAS EN TRES ETAPAS FENOLÓGICAS** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 20 de agosto del 2020

Firma:

CRIOLLO CUNALATA, VICTOR HUGO

C.C.: 171829832-4



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **CRIOLLO CUNALATA, VICTOR HUGO**, con cédula de ciudadanía N° 171829832-4, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL MEDIANTE ANÁLISIS FOLIAR DE *Lycopersicon esculentum* var. Pietro BAJO EL INFLUJO DE CUATRO SOLUCIONES NUTRITIVAS EN TRES ETAPAS FENOLOGICAS** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 20 de agosto del 2020

Firma:

CRIOLLO CUNALATA, VICTOR HUGO

C.C.: 171829832-4

DEDICATORIA

A mi madre, Enma Corina.

A mi padre, Hugo Fabián.

A mis hermanas Rosa, Mónica y Carla.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a quien encomendé mi esfuerzo diario desde el primer día para cumplir mis metas día a día con el fin de llegar a ser un buen profesional.

A mi madre, Enma Corina, por todo su cariño, paciencia, sacrificio, esmero y apoyo durante todos mis años de vida, ya que gracias a su sostén, consejo y amor ha sido pieza fundamental en mi desarrollo personal, educativo y, ahora, profesional.

A mi padre, Hugo Fabián, que, a pesar de no estar físicamente, su omnipresencia y ejemplo han sido latentes a lo largo de mi vida estudiantil.

A mis hermanas Rosa María, Mónica Isabel y Carla Margarita y mi primo Luis por toda su compañía, aliento y consejos impartidos durante estos años.

A mi tutor, Sr. Ing. Pablo Landázuri, que con su guía y preocupación permanente me ha apoyado durante todo el proceso de ejecución de este proyecto.

Al Sr. Quim. Luis Cacuango, puesto que sus consejos, guía y apoyo fueron pieza clave para la ejecución exitosa de esta investigación.

A Anita, que gracias a su labor y tesón en el proyecto de investigación paralelo a este fue fundamental y ha determinado el éxito de ambos y a quien deseo lo mejor en un futuro. reducir

A Joselyn, por su apoyo y cariño que hicieron muy sobre llevables momentos de angustia y felicidad.

A todos mis buenos amigos, compañeros, y familiares que me acompañaron y brindaron su apoyo en algunos momentos difíciles de mi vida estudiantil y quienes hicieron de esta experiencia la mejor de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	1
URKUND ANALYSIS RESULT	2
CERTIFICACIÓN	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS	14
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	17
Antecedentes.....	17
Justificación e importancia del tema	20
Objetivos.....	21
<i>Objetivo general</i>	21
<i>Objetivos específicos</i>	22
Hipótesis	22
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA.....	23
Tomate riñón.....	23
<i>Generalidades</i>	23
<i>Descripción botánica</i>	23
<i>Etapas fenológicas</i>	24
<i>Producción mundial</i>	26
<i>Situación en Ecuador</i>	26
<i>Requerimientos Edafoclimáticos</i>	27
<i>Riego y fertilización</i>	29
Cultivo hidropónico.....	30
Diagnóstico nutrimental.....	31

<i>Relaciones nutrimentales</i>	32
<i>Diagnóstico visual</i>	34
<i>Diagnóstico por análisis de tejido vegetal</i>	34
<i>Diagnóstico foliar</i>	35
<i>Muestreo</i>	36
<i>Análisis fisicoquímicos</i>	37
<i>Diagnóstico por rangos de suficiencia</i>	38
<i>Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación</i>	40
<i>Definición.</i>	40
<i>Establecimiento de normas DRIS</i>	41
<i>Relaciones entre nutrimentos y funciones DRIS</i>	43
<i>Índices DRIS</i>	44
<i>Interpretación de índices DRIS y diagnóstico</i>	45
<i>Corrección de fertilización a partir de índices DRIS</i>	46
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	49
<i>Ubicación</i>	49
<i>Ubicación política</i>	49
<i>Ubicación geográfica</i>	50
<i>Ubicación ecológica</i>	50
<i>Métodos</i>	50
<i>Descripción del cultivo semihidropónico de tomate riñón</i>	50
<i>Manejo por fertirriego</i>	51
<i>Muestreo</i>	53
<i>Análisis de laboratorio</i>	54
<i>Manejo inicial de muestras foliares para análisis químico</i>	54
<i>Determinación de N total</i>	55
<i>Preparación de muestras foliares para análisis de metales.</i>	56
<i>Determinación colorimétrica del contenido de fósforo</i>	56
<i>Determinación de contenido de K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y Cu</i>	57
<i>Diagnóstico por Rangos de Suficiencia</i>	58
<i>Diagnóstico mediante Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación</i>	58
<i>Obtención de normas DRIS</i>	58

<i>Elección y cálculo de relaciones entre nutrientes</i>	59
<i>Cálculo de funciones DRIS</i>	59
<i>Cálculo de los índices DRIS</i>	59
<i>Cálculo del Índice de Balance Nutricional (IBN) e IBNm</i>	60
<i>Interpretación y análisis de los índices</i>	61
<i>Elaboración de propuestas correctivas de formulación</i>	61
Diseño Experimental	62
<i>Factores</i>	62
<i>Tratamientos</i>	63
<i>Tipo de diseño</i>	64
<i>Croquis experimental</i>	64
<i>Variables de respuesta</i>	64
<i>Características de las unidades experimentales</i>	65
<i>Análisis estadístico</i>	66
<i>Modelo Matemático</i>	66
<i>Análisis funcional</i>	66
<i>Comparación de contenidos de nutrimentos en tejido foliar</i>	66
<i>Caracterización de equilibrio nutricional de las formulaciones nutritivas</i>	67
<i>Resumen de costos de diagnóstico nutricional por análisis foliares</i>	67
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS	68
Contenidos de macronutrientes a nivel foliar	68
<i>Floración Temprana (FL)</i>	68
<i>Desarrollo Frutal</i>	71
<i>Madurez Comercial</i>	71
Contenidos de micronutrientes a nivel foliar	72
<i>Floración Temprana</i>	72
<i>Desarrollo Frutal</i>	73
<i>Madurez Comercial</i>	73
Diagnóstico por rangos de suficiencia (RS)	74
<i>Floración temprana</i>	74
<i>Desarrollo Frutal</i>	76
<i>Madurez Comercial</i>	77

Determinación de índices DRIS del cultivo de tomate riñón	82
CAPÍTULO V	
DISCUSIÓN	87
Diagnóstico nutrimental.....	87
<i>Floración temprana</i>	<i>87</i>
<i>Propuestas de corrección de soluciones nutritivas.....</i>	<i>92</i>
<i>Desarrollo frutal.....</i>	<i>92</i>
<i>Propuestas de corrección de soluciones nutritivas.....</i>	<i>97</i>
<i>Madurez comercial</i>	<i>98</i>
<i>Propuestas de corrección de soluciones nutritivas.....</i>	<i>102</i>
Resumen de costos de manejo nutricional por análisis foliares	102
CAPÍTULO VI	
CONCLUSIONES	105
CAPÍTULO VII	
RECOMENDACIONES	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Parámetros físicos del suelo requeridos para la adecuada producción de tomate riñón.....</i>	28
Tabla 2 <i>Parámetros químicos requeridos para la adecuada producción de tomate riñón.....</i>	28
Tabla 3 <i>Necesidades hídricas del cultivo de tomate riñón según etapa fenológica en Colombia, en condiciones de invernadero.....</i>	29
Tabla 4 <i>Categorías de estatus nutricional y de respuesta potencial a la aplicación de nutrientes (RPAN) de acuerdo con la interpretación de los valores de índices DRIS (Ix) versus el índice de balance nutricional medio (IBNm)</i>	45
Tabla 5 <i>Composición de las soluciones nutritivas empleadas en el cultivo sometido a diagnóstico en el proyecto de investigación.....</i>	52
Tabla 6 <i>Tratamientos ensayados en el proyecto de investigación.....</i>	63
Tabla 7 <i>Diagnóstico nutricional mediante rangos de suficiencia tras determinación de contenidos de macronutrientes tras análisis foliar en Lycopersicon esculentum var. Pietro bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas.....</i>	69
Tabla 8 <i>Diagnóstico nutricional mediante rangos de suficiencia tras determinación de contenidos de micronutrientes tras análisis foliar en Lycopersicon esculentum var. Pietro bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas.....</i>	70
Tabla 9 <i>Relaciones elementales y funciones DRIS de las poblaciones de alto rendimiento y población bajo diagnóstico bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en floración temprana</i>	79
Tabla 10 <i>Relaciones elementales y funciones DRIS de las poblaciones de alto rendimiento y población bajo diagnóstico bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en desarrollo frutal</i>	79
Tabla 11 <i>Relaciones elementales y funciones DRIS de las poblaciones de alto rendimiento y población bajo diagnóstico bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en madurez comercial.....</i>	81
Tabla 12 <i>Índices DRIS Ix para cada nutriente del cultivo de tomate riñón bajo el influjo de cuatro soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas.....</i>	83

Tabla 13	<i>Diagnóstico nutrimental DRIS según el criterio del Orden de Requerimiento Nutrimental (ORN) para Lycopersicon esculentum var. Pietro bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas</i>	85
Tabla 14	<i>Categorización de nutrimentos de acuerdo con el criterio de Respuesta Potencial de a la Aplicación de Nutrientes (Wadt, 1996) para los tratamientos en etapa de floración temprana</i>	88
Tabla 15	<i>Correcciones elementales sugeridas según el criterio de RPAN para las soluciones empleadas en fase de floración temprana</i>	91
Tabla 16	<i>Categorización de nutrimentos de acuerdo con el criterio de Respuesta Potencial de a la Aplicación de Nutrientes (Wadt, 1996) para los tratamientos en etapa de desarrollo frutal</i>	93
Tabla 17	<i>Correcciones elementales sugeridas según el criterio de RPAN para las soluciones empleadas en fase de desarrollo frutal</i>	97
Tabla 18	<i>Categorización de nutrimentos de acuerdo con el criterio de Respuesta Potencial de a la Aplicación de Nutrientes (Wadt, 1996) para los tratamientos en etapa de madurez comercial</i>	100
Tabla 19	<i>Correcciones elementales sugeridas según el criterio de RPAN para las soluciones empleadas en fase de madurez comercial</i>	103
Tabla 20	<i>Costos de análisis fisicoquímicos necesarios para un adecuado seguimiento nutricional por análisis foliar del cultivo de tomate riñón por hectárea</i>	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Etapas fenológicas referenciales del cultivo de tomate</i>	25
Figura 2	<i>Mayores países productores de tomate riñón a nivel mundial</i>	26
Figura 3	<i>Relaciones de sinergismo, antagonismo e interacción cero entre nutrientes dentro de la fisiología vegetal</i>	33
Figura 4	<i>Esquema de relación entre el rendimiento relativo y concentración foliar de un nutriente dado en estadio fenológico específico de un cultivo dado</i>	39
Figura 5	<i>Distribución normal Gaussiana para la interpretación de la metodología DRIS como medio de corrección de fertilización</i>	47
Figura 6	<i>Vista satelital del sitio de desarrollo de la investigación</i>	49
Figura 7	<i>Tratamiento inicial de muestras foliares tomadas. Secado de muestras en estufa, molienda y tamizaje</i>	55
Figura 8	<i>Determinación de contenido de nitrógeno en muestras foliares por metodología de combustión DUMAS</i>	56
Figura 9	<i>Ejecución de digestión sulfo-perclórica de muestras foliares en sorbona de absorción de gases para cuantificación de macro y micronutrientes por absorción atómica</i>	57
Figura 10	<i>Muestras listas para determinación de contenido de fósforo por espectrofotometría UV-Vis</i>	57
Figura 11	<i>Determinación de contenido de nutrientes por espectrofotometría de absorción atómica</i>	58
Figura 12	<i>Croquis experimental</i>	65
Figura 13	<i>Representación gráfica de los valores de los índices DRIS obtenidos para el cultivo de tomate riñón en fase de: a) floración temprana, b) desarrollo frutal y c) madurez comercial</i>	84

RESUMEN

La producción nacional de tomate riñón es de las más importantes para el país, dado su consumo habitual en la dieta nacional. La producción de este cultivo bajo sistemas en suelo se ha llevado a cabo desde los albores de la intensificación de su producción; sin embargo, se reportan pérdidas considerables en las cosechas finales, debido a problemas fitosanitarios relacionados con el suelo. El cultivo semihidropónico surge como una alternativa viable para evitar estos problemas, pero poca o nula información se ha desarrollado respecto a este sistema de producción, en especial a lo que respecta al proceso de fertirrigación en Ecuador. Se evaluó la dinámica nutricional de plantas de tomate riñón bajo el influjo de cuatro soluciones nutritivas en cada una de las tres etapas fenológicas del cultivo para determinar cuál de ellas refleja un mejor balance nutricional en las mismas, para poder proponer acciones correctivas en las mismas para su posterior uso a nivel intensivo mediante el uso del diagnóstico por análisis foliar mediante los métodos diagnósticos de rangos de suficiencia y el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación. Se concluyó que las formulaciones nutritivas que mejor equilibrio en la dinámica fisiológica y nutricional a nivel de tejido foliar por etapa fenológica al cultivo de *Lycopersicon esculentum* var. Pietro en las etapas fenológicas de floración temprana, desarrollo frutal y madurez comercial fueron las formulaciones de dosis altas, dosis bajas y dosis referencial, respectivamente. Se propusieron correcciones a cada solución nutritiva para optimizar la dosificación de fertilizantes en ellas, logrando potenciar su respuesta a nivel fisiológica, uso racional de fertilizantes y mayores rendimientos, reduciendo costos y daños medioambientales.

Palabras clave: Foliar, dris, tomate, fertirrigación, semihidroponía

ABSTRACT

The national production of tomato is one of the most important for the country, given its habitual consumption in the people's diet. The production of this crop under traditional systems (in soil) has been carried out since the dawn of its intensification of production; however, considerable losses are reported in the final harvests, due to soil-related phytosanitary problems. Semi-hydroponic cultivation has emerged as a viable alternative to avoid these problems, but nevertheless little or no information has been developed regarding this production system, especially with regard to the fertigation process in Ecuador. In this study, the nutritional dynamics of tomato plants was evaluated under the influence of four nutritional solutions in each of the three phenological stages of cultivation to determine which one reflects a better nutritional balance in them, in order to propose corrective actions and adjustments in them for subsequent intensive use through the use of foliar analysis diagnosis using the sufficiency range (SR) diagnostic method and the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). It was concluded that the nutritional formulations that better balance in the physiological and nutritional dynamics at leaf tissue level by phenological stage to the culture of *Lycopersicon esculentum* var. Pietro in the phenological stages of early flowering, fruit development and commercial maturity were the high-dose, low-dose and referential-dose formulations, respectively. Corrections were proposed to each nutrient solution to optimize the dosage of fertilizers in them, managing to enhance their response at a physiological level, rational use of fertilizers and higher yields, reducing costs and environmental damage.

Keywords: Foliar, dris, tomato, fertirrigation, hydroponics

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El cultivo de tomate riñón (*Lycopersicon esculentum*) es uno de los cultivos hortícolas más desarrollados y consumidos a nivel mundial, tanto por su aporte nutricional como a su demanda en la dieta diaria. El desarrollo y producción agronómica del tomate riñón, dada sus características, puede presentarse en condiciones a campo abierto como en condiciones controladas, bajo invernadero (Caguana, 2003, pp. 9-11).

En el Ecuador, la mayor parte de tomate riñón es producido bajo condiciones de invernadero, ya que los productores han visto los rendimientos productivos aumentados a la par que se ha optimizado drásticamente el uso del espacio necesario, lo que se traduce en la intensificación del cultivo (Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador [MAG], 2019). Sin embargo, no son pocos los problemas fitosanitarios a los que se han enfrentado los productores, a pesar de emplear semillas y plántulas de alta calidad (Salguero, 2016, pp.18-20). La serranía ecuatoriana es la región más importante para el cultivo de esta hortaliza produciendo 964 toneladas métricas, representando el 60% del total nacional; sin embargo, se reportan mermas en el rendimiento en rangos del 50 hasta el 90% por presencia de fitopatógenos y plagas propias del suelo, específicamente nemátodos fitoparásitos del género *Meloidogyne* spp., que atacan su sistema radicular (Santamaría, 2009, pp. 9-11; Talavera et al., 2014, pp. 3-11)

El diagnóstico nutrimental vegetal es un conjunto de técnicas que permite relacionar el estado nutricional de una planta con la dosis correspondiente de fertilizantes aplicados sobre ella a fin de optimizar el proceso de fertilización para un cultivo, un suelo o sustrato (Cadahia, 1998, pp. 52-59).

Tradicionalmente, el diagnóstico visual a nivel foliar es el método más básico y empleado para la detección de deficiencias de un nutriente en el organismo vegetal a través de la observación de una serie de síntomas específicos, aunque posee la desventaja de ser absolutamente cualitativo, además que sus resultados son inespecíficos o no siempre son evidencia de desorden nutricional si no también reflejan síntomas de problemas fitosanitarios, condiciones medioambientales, ataque de plagas, entre otros (Cadahia, 1998, pp. 52-59; Carvajal, 1978, pp. 179-182).

Scucuglia y Creste (2014) reportan que en Brasil la mayor parte de productores de tomate emplean análisis de suelos para realizar diagnósticos indirectos del estado nutricional de sus cultivos, puesto que reportan la cantidad de nutrientes disponibles en el mismo obtenidos por extractantes simulan la absorción del sistema radicular de la planta (pp. 200-204), pero no tiene en cuenta factores como la temperatura del suelo, su densidad aparente o su permeabilidad (Assis, 2004, pp. 237-256). Carvajal (1978) reporta buenas estimaciones indirectas del estado nutrimental de cultivos como café, caña de azúcar y algodón para el adecuado manejo nutricional de los mismos en la región tropical de Costa Rica (pp.181-182).

Ante esta situación diferentes estudios concluyen que el uso del análisis foliar es el más adecuado para la ejecución de diagnóstico nutricional en cultivos, puesto que las hojas son el centro metabólico más activo y más sensible a variación en nutrientes del suelo o sustrato, con experiencias en cultivos como café y caña de azúcar (Carvajal, 1978, pp. 179-181), eucalipto (Shedley et al., 1995), *Jatropha curcas* (Kurihara y Silva, 2015, pp. 607-613), olivo (Fernández-Escobar et al., 2009, pp. 216-221), soya (Beaufils y Sumner, 1976), tomate y melón (Cadahia, 1998, pp. 302-320), entre los más importantes.

El sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) es una metodología derivada del análisis foliar que potencia su alcance, puesto que ha demostrado ser capaz de mostrar el equilibrio de nutrientes en el tejido vegetal (mediante establecimiento de relaciones entre nutrientes) e identificar los elementos limitantes en cualquier etapa fenológica o de desarrollo de cultivos como soya (Beverly et al., 1986, pp. 240-256), maíz (Sumner, 1977, pp. 262-267), pino (Zas Arregui, 2003, pp. 3-11), arce de azúcar (Lozano y Huynh, 1989, pp. 1905-1912), limón (Maldonado et al., 2008, pp. 344-347), trigo (Landriscini et al., 1997, pp. 17-21), piña (López-Montoya et al., 2018, pp. 320-326), tomate riñón (De la Torre, 2017, pp. 26-53; Parent et al., 1993, pp. 1041-1042) entre los más importantes; consecuentemente, se ha permitido llevar a cabo acciones correctivas de fertilización en tiempo real y por ende, mejoras sensibles en los rendimientos productivos (Beverly et al., 1986; Cadahia, 1998); no obstante, el método DRIS carece hasta la actualidad de difusión como método para el diagnóstico nutricional de cultivos puesto que metodologías como las de rangos de suficiencia o de valores críticos persisten por su relativa facilidad y rapidez, aunque no sean los métodos más efectivos puesto que no reflejan el balance nutricional en el organismo vegetal (Landriscini y Galantini, 2009, pp. 7-14; Scucuglia y Creste, 2014, pp. 204-204).

En el país los estudios experimentales de la aplicación de la metodología DRIS en cultivos hortícolas son prácticamente inexistentes; sin embargo, una primera aproximación a nivel local fue llevada a cabo por De la Torre (2017), quien logró potenciar el rendimiento productivo de tomate riñón bajo invernadero en la localidad de Píntag, Ecuador a través de correcciones en fertilización que compensaron deficiencias y excesos en tiempo real en tres momentos de diagnóstico en el ciclo productivo versus

un testigo tras la ejecución de un diagnóstico foliar y análisis DRIS, involucrando el establecimiento de normas, cálculos de índices para nueve nutrientes y conversión a materia seca de cantidades de fertilizantes necesarios para compensar desbalances nutricionales detectados (pp. 45-52).

Justificación e importancia del tema

La evidente merma productiva de tomate riñón en el país ha motivado la búsqueda y adopción de alternativas de sistemas producción no tradicionales para el desarrollo del cultivo de tomate riñón, siendo el cultivo hidropónico y semi hidropónico alternativas bastante adecuadas y rentables, puesto que se han obtenido rendimientos similares y superiores a sistemas tradicionales debido a ventajas como bajísima incidencia de plagas y enfermedades (especialmente a nivel de sistema radicular) y la practicidad de manejar la fertilización de manera medida y precisa de acuerdo al requerimiento nutricional de la planta (Escobar y Lee, 2009, pp. 25-37).

Sin embargo, en el país el cultivo de tomate riñón producido bajo sistemas semi hidropónicos carece de resultados experimentales que permitan realizar un adecuado diagnóstico nutrimental cuantitativo que consideren la demanda y dinámica nutrimental en el cultivo a nivel fisiológico en sus diferentes etapas fenológicas, lo que conlleva a un uso irracional e ineficiente de fertilizantes, lo que desemboca en baja efectividad de las formulaciones nutritivas, provocando desperdicio y contaminación ambiental, estados de desnutrición vegetal que conllevan mayor incidencia de plagas y enfermedades y que contribuyen a la disminución de rendimiento productivo, razones por las cuales actualmente gran parte de productores se ven desanimados en cuanto a la adopción de este tipo de sistema productivo alternativo, ya que en reiteradas ocasiones se

evidencian pérdidas económicas al invertir en estos sistemas sofisticados y obtener mínima utilidad (Ausay Basantes, 2015, pp. 1-6; De la Torre, 2017, pp. 10-15).

Ante esta situación, el presente proyecto de investigación pretende diagnosticar el estado nutrimental del cultivo semi hidropónico de *Lycopersicon esculentum* var. Pietro en tres etapas fenológicas al ser sometido al influjo de cuatro soluciones nutritivas mediante comparación de concentración de nutrientes a través de análisis foliar y posterior aplicación del sistema de diagnóstico y recomendación (DRIS) para la evaluación de excesos y deficiencias de macro y microelementos en el organismo vegetal, difundiendo a los interesados información acerca de la dinámica y respuesta nutricional que cada una de las soluciones nutritivas desempeñe en el proceso fisiológico vegetal y determinando cuál de ellas es la más adecuada en términos nutricionales para la producción de tomate riñón bajo estas condiciones de cultivo en la serranía ecuatoriana, además de reportar los costos de seguimiento nutricional mediante análisis foliar del cultivo, a fin de favorecer y potenciar la ventaja de fertilización ajustada a las necesidades vegetales en este tipo de sistema de cultivo, constituyendo y potenciándolo como una alternativa productiva real y rentable a los agricultores de la serranía del país.

Objetivos

Objetivo general

Diagnosticar el estado nutrimental mediante análisis foliar de *Lycopersicon esculentum* var. Pietro bajo el influjo de cuatro soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas.

Objetivos específicos

- Determinar y comparar el contenido de macro y micronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc) a nivel foliar en las etapas de floración temprana, desarrollo frutal y madurez comercial.
- Contrastar las soluciones nutritivas aplicadas en el cultivo de tomate riñón a lo largo del ciclo productivo mediante la aplicación del sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) para obtener el balance nutricional (IBN).
- Determinar los costos de seguimiento nutrimental mediante análisis foliares que un productor requiere invertir para dar seguimiento a su cultivo.

Hipótesis

- Hipótesis alterna: Las soluciones nutritivas de dosis bajas, medias y altas generan un mejor balance nutricional en el cultivo de *Lycopersicon esculentum* var. Pietro respecto las soluciones referenciales.
- Hipótesis nula: Las soluciones nutritivas de dosis bajas, medias y altas generan un mejor balance nutricional en el cultivo de *Lycopersicon esculentum* var. Pietro respecto las soluciones referenciales.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Tomate riñón

Generalidades

El tomate riñón (*Lycopersicon esculentum* Mill) es una planta correspondiente al género *Lycopersicon*, perteneciente a la familia Solanaceae (1986), cuyo centro de origen primario se ha establecido en la región andina de Ecuador, Perú y Bolivia (Banerjee et al., 2018, pp. 5-8).

Descripción botánica

La planta de tomate es herbácea, de crecimiento indeterminado, llegando habitualmente a un largo de tallo de uno a tres metros. Según Acosta (2016) el sistema radicular de la planta de tomate varía según la condición del cultivo, puesto que mientras en un sistema de siembra directa la tendencia morfológica del sistema radicular es de naturaleza pivotante profunda, llegando a profundidades superiores a un metro, mientras que plantas trasplantadas desarrollan sistema radicular superficial-ramificado (pp. 6-9); en ambos casos, la absorción radicular es más activa a profundidades entre 20 y 40 cm (Acosta, 2016, pp. 6-9; Santamaría, 2009, pp. 8-11).

El tallo es de naturaleza herbácea, con tendencia a ser semileñoso en la base de plantas maduras, necesitando las ramas de tutores (Acosta, 2016, pp. 6-9). Las hojas se disecan pinnadamente con 2-6 pares de folíolos opuestos o sub opuestos, sésiles, subsésiles o peciolados (Passam et al., 2007, pp. 1-8). Las flores poseen cinco pétalos de color amarillo, colgantes y dispuestas en inflorescencia de racimo, con un diámetro medio de hasta 2 cm; las anteras están unidas lateralmente para formar un cono en

forma de matraz con una punta estéril alargada en el ápice, que envuelve al gineceo, cuyo ovario es bilocado a pluriloculado (Passam et al., 2007, pp. 1-8; Petruzello, 2018). Los frutos son bayas de color y forma variable, presentando morfología redonda y ovada a elongada, con colores típicos rojo, escarlata y amarillo a la madurez, biloculados (variedades silvestres) o pluriloculados (variedades mejoradas), tomando entre 45 a 65 días post cuajado para completar su madurez (Acosta, 2016, pp. 9-11; Passam et al., 2007, pp. 1-8). Las semillas son aplanadas, ovaladas, de color crema y se encuentran recubiertas por vellosidades (Escobar y Lee, 2009).

Etapas fenológicas

El cultivo del tomate presenta tres etapas fenológicas bastante diferenciadas en su ciclo vital:

- **Inicial**

Empieza tras la germinación y se caracteriza por el rápido aumento de materia seca, puesto que el vegetal dirige su energía vital a la formación de tejido nuevo, tanto de absorción (raíces) y fotosíntesis (follaje) (Pérez et al., 2013, pp. 11-12).

- **Vegetativa**

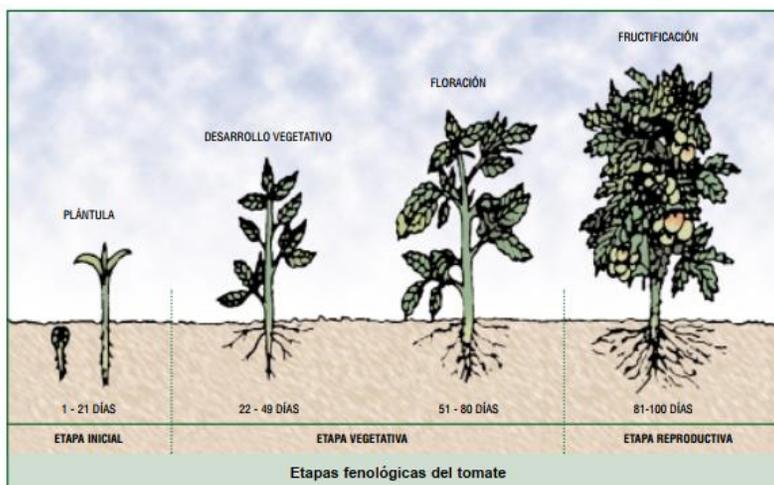
Inicia a los 21-25 días después de la germinación y tiene una duración de entre 25 a 30 días, antes de la etapa de floración. Demanda cantidades elevadas de nutrientes, específicamente fósforo y nitrógeno de manera que satisfaga la necesidad de las ramas y hojas en crecimiento/expansión (Pérez et al., 2013, pp. 11-12).

- **Reproductiva**

Inicia aproximadamente a los 50-60 días post germinación (dependiendo del nivel de radiación solar recibida), siendo la apertura de la primera inflorescencia la evidencia de inicio. La flor se desarrolla en base a la temperatura, que es determinante para este proceso, siendo las temperaturas diurnas más importantes con relación a las nocturnas para este fin (Escobar y Lee, 2009, pp. 29-30). El cuaje del fruto completamente maduro depende de la variedad, la posición en el racimo y de los factores medioambientales de cultivo, pero se presenta entre los 80-100 días después del transplante, ganando el fruto poco peso en las dos a tres primeras semanas de iniciada la etapa, ganando peso exponencialmente en las tres a cinco semanas siguientes (Escobar y Lee, 2009, pp. 29-30).

Figura 1

Etapas fenológicas referenciales del cultivo de tomate



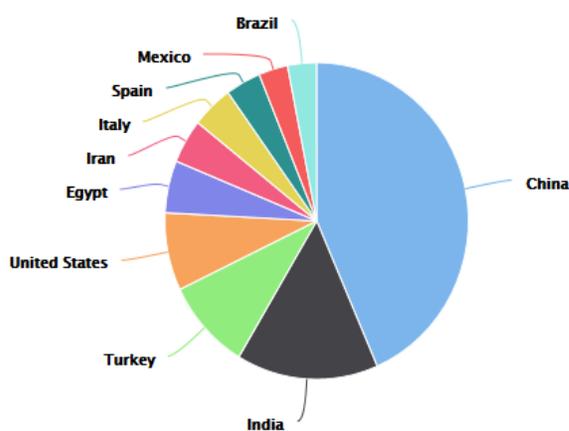
Nota: Tomado de *Etapas fenológicas del tomate*, de H. Alfonzo, 2017, Slideshare, <https://www.slideshare.net/hazaelfonzo/establecimiento-de-una-plantacin-hortcola>

Producción mundial

De acuerdo con FAOSTAT, hasta el año 2017 se produjeron 182' 301 395 toneladas métricas de fruta de tomate fresca, siendo China el principal productor a nivel mundial, abarcando el 32.7% del total, seguido por India con una participación del 11.35% y Turquía, con un 5.98%. A nivel latinoamericano, México lidera la producción con un total aproximado de 4' 230 058 toneladas métricas, siendo el noveno país productor a nivel mundial, seguido muy de cerca por Brasil, que es décimo (Figura 2) (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2017).

Figura 2

Mayores países productores de tomate riñón a nivel mundial



Nota: Adaptado de (FAO, 2017)

Situación en Ecuador

Según datos del Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA) al 2019 existen 1606 hectáreas cultivadas con este vegetal, con un rendimiento promedio de 20.62 TM/ha, ubicándose el 60% de la producción en la región sierra y bajo condiciones

de invernadero (Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador [MAG], 2019). Las provincias con mayores niveles productivos son Azuay, Imbabura, Carchi y Santa Elena, siendo los meses más productivos los comprendidos entre los meses de junio a noviembre, correspondientes a la estación seca (MAG, 2019). De acuerdo con los precios reportados en el boletín de precios mayoristas hasta agosto del 2019, la caja de tomate riñón de 40 libras es de USD 11.52, es decir, 29 centavos por kilo (MAG, 2019).

Requerimientos Edafoclimáticos

L. esculentum puede desarrollarse en altitudes desde el nivel del mar hasta los 3300 msnm, desde las tierras bajas del litoral hasta las mesetas y valles interandinos (Peralta y Spooner, 2000). La mayoría de variedades de tomate se adaptan a temperaturas entre los 6°C a 35°C, con temperaturas óptimas de crecimiento comprendidas entre los 20-30°C en el día y de 10-17°C por las noches, las últimas conseguidas en condiciones de invernadero (Infoagro, 2017).

Santamaría (2009) reporta humedades relativas óptimas entre el 50-60%, mientras que Infoagro (2017) establece un rango entre 60-80% de HR. No son recomendables porcentajes de humedad relativa superiores al 80%, puesto que se favorece el ataque de patógenos fúngicos, principalmente en el follaje, y rajado de frutos (Pérez et al., 2013, pp. 11-12).

Los parámetros físicos y químicos adecuados para la óptima producción de *L. esculentum* según Pérez et al. (2013) se muestran en las Tablas 1 y 2. Los requerimientos pueden variar de acuerdo con los cultivares empleados en la producción (pp. 11-12).

Una adecuada intensidad lumínica favorece al crecimiento del tomate, dado que activa las funciones fotosintéticas de la biomasa vegetal, siendo crítico en las etapas vegetativas, de floración e inicio de fructificación; para ello, es importante llevar a cabo procesos de poda, tutorado y selección de densidades de siembra adecuadas que aseguren una adecuada recepción de rayos solares (Pérez et al., 2013, pp. 12-13).

Tabla 1

Parámetros físicos del suelo requeridos para la adecuada producción de tomate riñón

Parámetros Físicos	Valor Ideal
Textura	Franco – Franco arcillosa
Profundidad	>80 cm
Densidad aparente	1,2 g/cm ³
Contenido de materia orgánica	>3.5%
Pendiente	Semiplano a plano
Estructura	Granulada
Drenaje	Bueno

Nota: Tomado de Requerimientos climáticos y edáficos, de Pérez et al., 2013

Tabla 2

Parámetros químicos requeridos para la adecuada producción de tomate riñón

Parámetros Químicos	Valor Ideal
pH	5,5 - 6,8
Conductividad eléctrica	1,5 - 2 dS/m

Nota: Tomado de Requerimientos climáticos y edáficos, de Pérez et al., 2013

Riego y fertilización

El cultivo de tomate es exigente en cantidad de agua necesaria y frecuencia de suministro, variando significativamente según la etapa fenológica en la que se encuentra. La Tabla 3 resume las necesidades hídricas del cultivo en cada fase de crecimiento (Escobar y Lee, 2009, pp. 35-36).

Tabla 3

Necesidades hídricas del cultivo de tomate riñón según etapa fenológica en Colombia, en condiciones de invernadero

Semana de trasplante	Estado de desarrollo	Mínimo (L/m²/día)	Máximo (L/m²/día)
1	Enraizamiento	0.6	1.25
2-5	1° a 4° racimo floral	1.5	3.0
6	5° racimo floral	3.5	3.8
7-9	6° racimo floral	3.5	4.0
10-11	8° racimo floral	4.0	4.5
12-15	Inicio de cosecha	4.5	5.0
16-17	Cosecha	5.5	6.0
18-27	Cosecha	5	6

Nota: Tomado de *Guía para estimar las necesidades de agua para el cultivo de tomate bajo invernadero*, de Escobar y Lee, 2009

Para llevar a cabo un proceso adecuado de fertilización es imprescindible realizar análisis de suelo y/o aguas para llevar a cabo posibles acciones correctivas o preparatorias que favorezcan el adecuado desarrollo de *L. esculentum* en el sustrato a emplear. Las necesidades nutrimentales del cultivo de tomate riñón varían de acuerdo con la variedad cultivada, condiciones del agrosistema, del suelo y de la etapa fenológica del cultivo; por ello, un muestreo periódico del sustrato del cultivo es

recomendable para subsanar posibles conflictos y hacer un uso adecuado de fertilizantes (Escobar y Lee, 2009, pp. 67-68).

Cultivo hidropónico

Hidroponía (del griego *hydros* = agua y *πόνος* = labor) etimológicamente hace referencia a el arte de cultivar en agua o soluciones minerales (Real Academia Española, 2019); sin embargo, actualmente se define como cultivo hidropónico, a todo cultivo que utiliza un sustrato diferente al suelo, pudiendo ser natural o sintético, soluciones minerales u orgánicas, colocado sobre un recipiente que permite el anclaje del sistema de raíces de los vegetales (Mata-Vázquez et al., 2010, pp. 50-54)

El desarrollo de este tipo de cultivo se ha visto favorecido por el desarrollo de plásticos, la automatización y sistemas de fertirrigación, y lo han convertido como una alternativa relativamente limpia, poco costosa y eficaz, llegando recientemente a igualar o superar los rendimientos frente a cultivos tradicionales debido a un óptimo aprovechamiento de fertilizantes y baja incidencia de plagas y enfermedades en comparación con sistemas de cultivo tradicional en suelo (Escobar y Lee, 2009, pp. 55-57; Mata-Vázquez et al., 2010, pp. 50-54).

La solución nutritiva es el componente más importante del sistema hidropónico, puesto que es fuente de suministro de agua y nutrientes minerales disueltos en ella a las plantas, debiendo prepararse teniendo en cuenta las relaciones antagonistas e incompatibilidades químicas entre fertilizantes, empleando uno o varios tanques de mezcla y soluciones concentradas de grupos de elementos o soluciones madre (Molina, 2015, pp. 27-41; Santos y Domingo, 2016, pp. 16-20). El sustrato es el segundo componente fundamental, dado que constituye el nexo entre la planta y la solución

nutritiva, y en el cual se dará el desarrollo del sistema de raíces, además de constituir de reserva de agua y nutrientes (Escobar y Lee, 2009, pp. 65-68).

Diagnóstico nutrimental

El diagnóstico nutrimental constituye un instrumento de identificación de rendimiento deficiente de cultivos, así como brindar índices de variaciones que pueden suscitarse en la composición de las plantas debido a la conjunción de condiciones de suelo, clima y tipo de suelo (Leos, 2004, pp. 24-27). Ramos et al. (2017) mencionan que “el diagnóstico nutrimental consiste en establecer el origen de una anomalía en nutrición (deficiencia y/o exceso de un nutriente) en los cultivos de interés agrícola”.

Según Ramos et al. (2017) los objetivos primordiales de la ejecución de un diagnóstico nutrimental son: evaluar la capacidad de suministro de nutrientes del suelo o del sustrato donde se establece un cultivo, conocer el estado nutricional en que se encuentran los cultivos que integran un sistema de producción y evaluar la efectividad de las prácticas de fertilización manejadas en un cultivo en pro de mayor productividad y rentabilidad. De esta manera, las plantas deberán contener concentraciones adecuadas y suficientes de cada uno de los nutrientes para alcanzar niveles óptimos de crecimiento y, consecuentemente, rendimientos adecuados. Las concentraciones de estos nutrimentos dependen directamente de las funciones específicas que el elemento desempeña en la fisiología de las plantas; el diagnóstico de estado nutrimental puede realizarse mediante varios métodos, siendo los principales el análisis visual y análisis de tejido vegetal (Leos, 2004, pp. 24-27).

Relaciones nutrimentales

Los elementos dentro de la fisiología vegetal desempeñan funciones específicas, funciones que en gran medida dependen directamente de aspectos como su estabilidad, naturaleza química e interacción con otros nutrimentos. De esta manera, muchos estudios han sido llevados a cabo con el fin de describir estas relaciones entre varios conjuntos de nutrientes, encontrando tres situaciones posibles: sinergismo, antagonismo e interacción cero (Rietra et al., 2017, pp. 1897-1898).

El rendimiento se ha usado en múltiples estudios como parámetro principal para evaluar las interacciones de nutrientes al ser de naturaleza cuantitativa. El rendimiento esperado y_{ab} en la base de la respuesta individual de dos elementos y_a e y_b para la situación de interacción cero sería:

$$\frac{y_{ab}}{y_0} = \frac{y_a}{y_0} * \frac{y_b}{y_0}$$

donde y_0 es el rendimiento de un tratamiento de control. Con esta premisa en mente, según Rietra et al. (2017), las posibles interacciones son:

- De sinergia, cuando el rendimiento, debido a la aplicación combinada de dos nutrientes, es mayor al rendimiento esperado en la base de los efectos de la aplicación individual de los nutrientes.

$$\frac{y_{ab}}{y_0} > \frac{y_a}{y_0} * \frac{y_b}{y_0}$$

- De antagonismo, cuando el rendimiento debido a la aplicación combinada de dos nutrientes es menos efectivo que el rendimiento en la base de los efectos con relación a la aplicación individual de los nutrimentos.

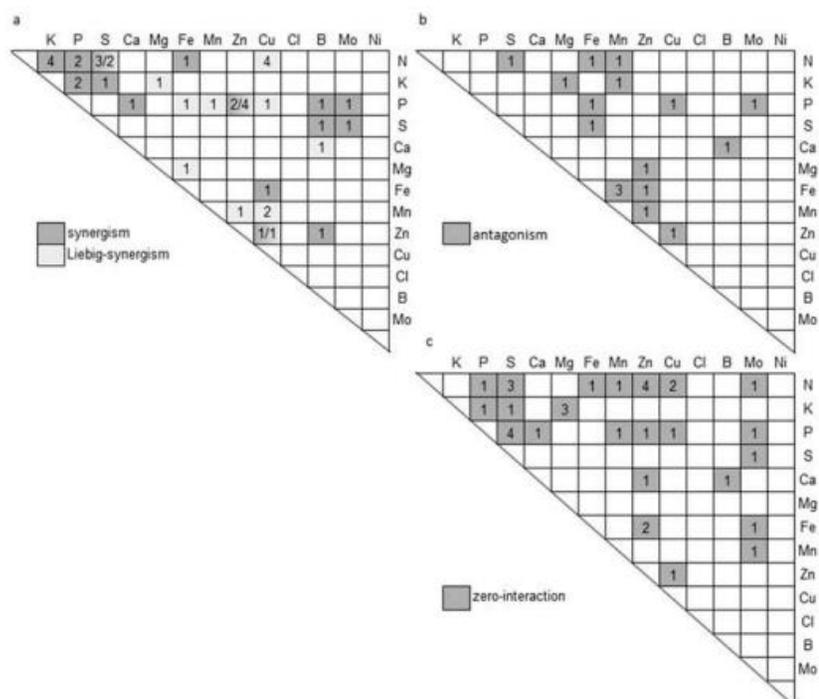
$$\frac{y_{ab}}{y_0} < \frac{y_a}{y_0} * \frac{y_b}{y_0}$$

- Interacción cero, cuando un rendimiento obtenido resultante de la combinación de dos nutrientes es igual al rendimiento esperado en la base de la aplicación individual de los nutrientes.

$$\frac{y_{ab}}{y_0} \approx \frac{y_a}{y_0} * \frac{y_b}{y_0}$$

Figura 3

Relaciones de sinergismo, antagonismo e interacción cero entre nutrientes dentro de la fisiología vegetal



Nota: Tomado de "Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency" (p. 1899), de Rietra et al., 2017. *Communications in soil and plant analysis*, 48(16)

- El sinergismo Liebig se da en situaciones donde la disponibilidad de un nutriente limita la producción de un cultivo, la adición de otro nutriente no muestra efectos en el rendimiento, mientras que la adición de ambos nutrientes evidencia un efecto positivo. El término “sinergismo Liebig” hace referencia a la limitación de Liebig del primer nutriente.

$$\frac{y_{ab}}{y_0} > \frac{y_a}{y_0} * \frac{y_b}{y_0}$$

Rietra et al. (2017), tras minuciosos procesos de revisión de literatura en cuanto a estudios de sinergismo, antagonismo e interacciones cero entre los diferentes nutrimentos han elaborado el diagrama representado en la Figura 3 a manera de resumen (pp. 1898-1899).

Diagnóstico visual

Es la metodología más simple y empírica, que consiste en la observación de síntomas específicos de deficiencia o de toxicidad a nivel de superficie foliar (Leos, 2004, pp. 20-27). El principio de esta metodología consiste en la comparación del aspecto de muestras vegetales sanas versus una muestra normal o patrón; se emplea preferentemente tejido foliar, debido a que los índices son evidentes a simple vista, mas es posible emplear otros órganos de la planta, ya sean raíces, frutos, tallos, etc. (Ramos et al., 2017). La mayor desventaja de un análisis visual es que sus resultados pueden ser confundidos fácilmente con síntomas de enfermedades, ataque de plagas, malas prácticas de riego, etc. (Correndo y García, 2016, pp. 3-8).

Diagnóstico por análisis de tejido vegetal

Consiste en el análisis químico de muestras de tejido vegetal (principalmente hojas y frutos) que permite determinar y emplear su concentración mineral (en una etapa

fenológica o momento determinado) como indicador de su situación nutrimental, permitiendo su correlación a la obtención de altos de rendimientos y mejores cualidades del producto cosechado (Ramos et al., 2017). Para Correndo y García (2016) en este diagnóstico se asume que la concentración de nutrientes en el vegetal se relaciona directamente con la habilidad del suelo/sustrato para proporcionarlos (pp. 4-8).

Para Leos (2004) el análisis de tejido vegetal posee la ventaja clara de indicar el contenido total de nutrimentos en el vegetal, en lugar de indicarlo como fracción disponible reportado en los análisis de suelos (p. 25). Schutz y de Villiers (1987) mencionan otras ventajas, como la verificación de síntomas visuales de deficiencias nutricionales, identificación de deficiencias nutricionales asintomáticas, identificación de interacciones entre nutrientes, localización de zonas del área de cultivo donde el comportamiento nutrimental es diferente y la evaluación de los métodos del manejo nutricional de los cultivos (pp. 6-12).

Diagnóstico foliar

El análisis foliar es el método más empleado en análisis de tejido vegetal, puesto que “las hojas se consideran el foco de la actividad fisiológica nutricional y los cambios en la nutrición mineral se reflejan en las concentraciones de los nutrientes en ellas” (Ramos et al., 2017). De esta manera, su finalidad es relacionar el contenido de un elemento en la planta, ya sea en su totalidad o en una parte anatómica específica, con su apariencia visual o física, velocidad de crecimiento, rendimiento o calidad final del órgano vegetal a cosechar (Landriscini y Galantini, 2009, pp. 2-11).

Actualmente, el análisis foliar constituye el método más empleado para análisis nutricional de cultivos en detrimento de los análisis de disponibilidad de nutrientes en el suelo, que han pasado a ser un complemento del mismo (Acquaye, 1964, pp. 5-6). A fin

de aprovechar el potencial de este tipo de análisis en materia de diagnóstico nutricional de plantaciones los procesos envueltos deben basarse en métodos estandarizados y comprobados que aseguren su significancia y una correcta interpretación de las determinaciones experimentales; dichos procedimientos comprenden las fases de muestreo, análisis fisicoquímico e interpretación de resultados (Correndo y García, 2016, pp. 3-8).

El análisis foliar es llevado a cabo en cultivo de tomate en caso de sospechar algún tipo de desequilibrio nutricional (Escobar y Lee, 2009, pp. 79-84), principalmente deficiencias en micronutrientes; en el país, se recomienda únicamente un análisis foliar en la etapa de floración temprana, antes del prendimiento de frutos (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2009), aunque autores como Cadahia (2008), Jones (2008), Llanderal et al. (2018) o Scucuglia y Creste (2014) recomiendan un seguimiento nutricional foliar en al menos tres etapas de desarrollo productivo: floración, prendimiento y desarrollo frutal y madurez comercial o cosecha.

Muestreo

El muestreo se define como la fase en la que las estructuras de tejido vegetal (normalmente foliar) son extraídas desde la planta para la cuantificación de parámetros de interés que permitirán al productor tomar acciones correctivas tras un adecuado proceso de diagnóstico en aras de evitar problemas nutricionales, sanitarios y consecuentemente mayores rendimientos productivos; un adecuado muestreo de un cultivo a lo largo de su evolución fenológica es parte de las buenas prácticas de producción, puesto que permite llevar registros de análisis que favorecen la toma de decisiones a la hora de aplicar correcciones de fertilización (Fertilab, s.f., pp. 9-21).

La calidad del muestreo está directamente influida por algunos factores como son la etapa de desarrollo del cultivo, incidencia de plagas y enfermedades, características agroclimáticas y edáficas del lugar de establecimiento, fertilización foliar reciente, el nivel de radiación, incidencia e intensidad de luz, posición en planta del órgano elegido y condiciones de estrés hídrico y ambiental a la que el cultivo está sometido, además de las condiciones en las que la muestra es almacenada y conservada hasta su análisis (Broeshart, 1964, pp. 7-11; Fertilab, s.f., pp. 9-21).

Específicamente para el cultivo de tomate riñón se prefiere muestrear plantas de cultivos que no estén en condiciones de estrés (hídrico, térmico, sanitario) y que no se encuentren en los extremos del lugar de producción, tomando al menos 30 o 40 hojas verdaderas más jóvenes y maduras de las mismas, correspondientes al cuarto o quinto pecíolo bajo la yema apical, evitando plantas que presenten anomalías genéticas, sanitarias o infestaciones por plagas por una vez durante todo el ciclo productivo, antes o durante la floración temprana (Fertilab, s.f., pp. 9-21) , o como sugiere Agrocalidad (2015) al menos 300 gramos de muestra fresca (pp. 5-8).

Para garantizar una calidad óptima de preservación de muestras, Agrocalidad (2015) sugiere almacenarlas en fundas no herméticas, preferiblemente de papel poroso y correctamente rotuladas con información relevante como localización y edad del cultivo, para posteriormente ser llevadas a brevedad posible al laboratorio de análisis o si no refrigerarlas a 4°C hasta 3 días evitando su descomposición (pp. 5-8).

Análisis fisicoquímicos

Corresponde al conjunto de prácticas y ensayos necesarios para la correcta cuantificación de parámetros de interés productivo, con el fin de describir la naturaleza

del tejido muestreado y tomar acciones correctivas en el cultivo en base a sus resultados (Fertilab, s.f., pp. 9-21).

Las prácticas de laboratorio más demandadas son las que tienen que ver con la cuantificación de macro y micronutrientes a nivel foliar en base a materia seca puesto que su determinación faculta a los productores practicar enmiendas nutricionales (Fertilab, s.f., pp. 9-21).

Diagnóstico por rangos de suficiencia

El método de rangos de suficiencia es el más adoptado entre los productores y laboratorios de diagnóstico del país para la detección de deficiencias, excesos y balances. Esta metodología tiene su fundamento en el concepto de punto o valor crítico, que considera la relación entre la concentración de un nutrimento específico a nivel foliar y el rendimiento obtenido en el cultivo en cuestión, siendo este valor el que refleja un 90% del rendimiento relativo óptimo y bajo el cual las plantas responderían favorablemente a la aplicación de este nutriente (Broeshart, 1964, pp. 9-11; Correndo y García, 2016, pp. 3-8; Sumner, 2000, pp. 10-12).

Para Correndo y García (2016) el criterio de intervalos de suficiencia constituye una alternativa elocuente al criterio de nivel crítico, dado que se compara el contenido de nutriente a nivel foliar no respecto a un valor estricto de inflexión, si no a diferentes valores obtenidos tras experimentación por diversos autores y que constituyen los límites del rango comprendido entre el valor crítico mínimo de contenido de nutriente a nivel foliar y el nivel óptimo del mismo (pp. 3-8).

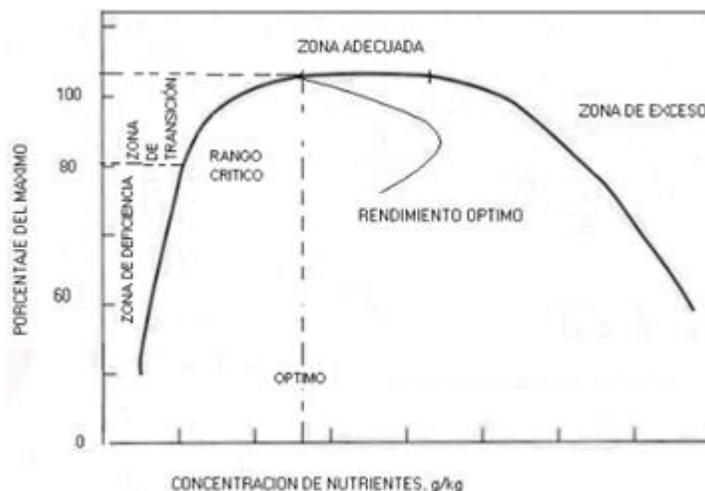
Numerosos estudios han logrado a lo largo del tiempo perfeccionar estos valores límites de intervalos de suficiencia para un sinnúmero de cultivos y nutrientes

específicos en estados fenológicos dados, logrando a la práctica diagnósticos más precisos con relación al criterio de valor crítico (Correndo y García, 2016, pp. 3-8; Sumner, 2000, pp. 10-12).

Como se aprecia en la Figura 4, el rango de suficiencia tiene su punto de partida cerca del valor crítico, justo después de la zona de deficiencia y concluye al final de la “zona adecuada” constituyendo un intervalo estrecho debajo del cual el rendimiento decrece a falta de un nutriente y sobre el cual se esperarán problemas de excesos y toxicidades en planta (Correndo y García, 2016, pp. 3-8; Sumner, 2000, pp. 10-12).

Figura 4

Esquema de relación entre el rendimiento relativo y concentración foliar de un nutriente dado en estadio fenológico específico de un cultivo dado



Nota: Tomado de “Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos”, (p. 12), de Sumner, 2000

Esta metodología posee el limitante de considerar a cada elemento de manera individual, por separado, sin tomar en cuenta sus relaciones con el resto de nutrimentos

dentro de la fisiología vegetal, que pueden causar variaciones considerables, además de que al ser desarrollados en estudios en condiciones climáticas y etapas fenológicas específicas no siempre se logra un diagnóstico o correcciones acertadas ni aplicables a la zona donde se ubica el cultivo objetivo (Sumner, 2000, pp. 10-12)

Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación

Definición. El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) es un método de diagnóstico de deficiencias y desbalance de la composición mineral de material vegetal (Ramos et al., 2017). El diagnóstico está basado en las relaciones entre nutrimentos en lugar de concentraciones individuales y absolutas, cuyos resultados, presentados en índices, se expresan en una escala numérica, positiva o negativa, que indicará excesos o deficiencias, respectivamente (Maldonado et al., 2008, pp. 341-342).

La técnica compara las relaciones de concentración nutrimental obtenidas en un cultivo de interés con aquellas obtenidas en poblaciones élites, que se establecen como referencia y se denominan normas DRIS (Landriscini y Galantini, 2009, pp. 15-22). Se prefiere que estas normas hayan sido desarrolladas en regiones o localidades con características agroclimáticas similares a las del sitio de estudio (Assis, 2004, pp. 243-252).

Empleando las normas DRIS, la metodología brinda un medio para ordenar las relaciones de nutrientes en expresiones denominadas índices DRIS. De esta manera, matemáticamente, los índices están basados en la desviación media de cada una de las relaciones con relación a su valor óptimo, siendo así cero el índice DRIS óptimo, para cualquier nutriente, valores negativos indicarán deficiencias relativas mientras que los positivos evidenciarán excesos respecto a los nutrientes considerados en el diagnóstico

nutrimental , es decir, detectar fuentes de desbalance nutricional a través de un análisis estadístico (Beverly et al., 1986, pp. 237-256; Maldonado et al., 2008, pp. 341-342).

Finalmente, se calcula el índice IBN, que representa una medida del balance relativo de los nutrimentos analizados, y que se obtiene de la suma de los valores absolutos de los índices (Landriscini et al., 1997, pp. 3-10; Wadt, 2005, pp. 228-230).

Esta herramienta de diagnóstico, según Maldonado et al. (2008) parte de las premisas de efectuar diagnósticos del estado nutrimental en cualquier etapa de desarrollo del cultivo, establecer un orden limitante de los nutrimentos, de acuerdo con su requerimiento, teniendo en cuenta que las relaciones entre nutrientes son indicadores más significativos de deficiencia en comparación que valores individuales de concentración (pp. 341-342).

Con los valores obtenidos para los índices de cada elemento, estos se ordenan de mayor a menor, jerarquizándolos, entendiendo el orden en que cada nutrimento limita el balance nutricional del vegetal y su rendimiento; es importante recalcar que un desbalance no significa que un nutriente se encuentre plenamente en deficiencia o en exceso, ya que por su naturaleza lo que estos indican es el desbalance que puede presentar con respecto al resto de nutrientes (Chacón, 2012, pp. 14-18).

A diferencia de los criterios de valor crítico o rangos de suficiencia este método posee las ventajas de, en primer lugar, considerar dinámicamente a los elementos y sus relaciones con otros a nivel tisular, y finalmente de no depender en lo absoluto de la edad del cultivo (Chacón, 2012, pp. 14-18; Correndo y García, 2016, pp. 3-8).

Establecimiento de normas DRIS. Las normas DRIS se definen como las relaciones entre las concentraciones de un par de nutrientes obtenidas tras el análisis

fisicoquímico en tejido vegetal, específicamente foliar, de una población vegetal élite de referencia, caracterizado por tener un alto rendimiento con relación a otras en igualdad de condiciones. Estas normas sirven como referencia para futuros estudios de diagnóstico nutrimental bajo la metodología DRIS en cultivos bajo condiciones ambientales similares, que se denominarán poblaciones de bajo rendimiento o de diagnóstico (Beaufils y Sumner, 1976, pp. 118-122).

Existen tres tipos de relaciones posibles entre un par de nutrientes A y B: un cociente y su inverso (A/B ; B/A) y un producto ($A \times B$) (Beaufils y Sumner, 1976, pp. 118-119), siendo unas relaciones significativas que otras (Ramos et al., 2017). Los estudios que han desarrollado las normas DRIS toman en cuenta la relación entre los nutrientes que posea el coeficiente de variación (CV) más bajo en una población de alto rendimiento, debido a que un menor CV indica un mejor estatus nutricional en dicha población, dado que existe una menor dispersión respecto del óptimo en cuanto a observaciones realizadas para su elaboración (Walworth y Sumner, 1987, pp. 149-162).

La metodología DRIS parte del cálculo de índices para cada nutrimento de interés, mediante la desviación media del cociente obtenida de la comparación con el valor óptimo de un cociente nutrimental dado, siendo cercano a cero el valor ideal de un índice DRIS (Assis, 2004, pp. 243-254; Maldonado et al., 2008, pp. 341-342).

Para el cultivo de tomate riñón, De la Torre (2017) recomienda empezar muestreos para análisis foliares con fines de diagnóstico y corrección nutrimental bajo la metodología DRIS a partir del día 30 después del trasplante, puesto que se requieren hojas maduras para disminuir la variación en el rango de amplitud de los valores de composición de macro y micronutrientes.

Relaciones entre nutrimentos y funciones DRIS. Las relaciones entre un par de elementos a ser considerados en un estudio de diagnóstico dependerán exclusivamente de las normas desarrolladas en estudios previos acreditados, que han tenido en cuenta todas las relaciones posibles, determinadas por la fórmula:

$$Rp = n(n - 1)$$

Para relacionar un par contenidos en macronutrientes o micronutrientes, al estar expresados en unidades similares el cálculo es directo; en cambio, cuando se desee relacionar los contenidos entre macro y micronutrientes se añadirá un factor k (normalmente múltiplo de 10) conveniente al cociente para que el valor de la relación obtenida tenga congruencia con el establecido con la norma (Caron y Parent, 1989, pp. 1027-1030). Por ejemplo, Chacón (2012) en su estudio diagnóstico al relacionar por división los contenidos en porcentaje (%) de un macronutriente con el contenido en ppm (mg/kg) de un micronutriente en el tejido, el cociente ha sido multiplicado por un factor k=100, mientras que en el caso inverso se multiplicará el resultado por un factor k=(1/100), dando lugar a relaciones como por ejemplo 100 N/Fe o (1/100) Fe/Mg (pp. 14-18).

La función de una relación entre un par de nutrientes es la comparación matemática entre el valor de la relación de la población ideal o norma (a/b) versus el valor de la relación de la población sujeta a diagnóstico (A/B), mediante la siguiente expresión (Serra et al., 2014, pp. 509-510).

$$f(A/B) = \left[\frac{A/B - a/b}{\text{mínimo}(A/B, a/b)} \right] * \frac{100 * k}{\% C.V. a/b}$$

Donde:

- A/B : Relación entre los elementos A y B en la población de diagnóstico.
- a/b : Media de la norma para la relación entre los elementos A y B.
- $\% C.V._{a/b}$: Coeficiente de variación de la norma a/b en porcentaje.
- k : Factor de ajuste opcional.

Índices DRIS. Los índices DRIS matemáticamente se definen cómo la media aritmética de las funciones de todas las relaciones (o ratios) de la concentración de un nutriente específico con los de otros elementos presentes en el tejido foliar en las que está envuelto un nutriente específico (Walworth y Sumner, 1987, pp. 149-162).

El valor del índice DRIS para un elemento A resulta de la división entre la suma de los valores de las funciones DRIS en las que el elemento A aparece en el numerador menos los valores de cada una de las funciones en las que A aparece en el denominador de la relación, para el número total de funciones en las que aparece el elemento A (Walworth y Sumner, 1987, pp. 149-162):

$$I_A = \frac{\sum_{i=1}^m f(A/B) - \sum_{i=1}^n f(B/A)}{m + n}$$

Dónde:

- I_A : Índice DRIS del elemento A
- A : Elemento A en cuestión.
- B : Otro elemento.
- m : Número de funciones en las que A aparece en el numerador
- n : Número de funciones en las que A aparece en el denominador

Tabla 4

Categorías de estatus nutricional y de respuesta potencial a la aplicación de nutrientes (RPAN) de acuerdo con la interpretación de los valores de índices DRIS (I_x) versus el índice de balance nutricional medio (IBNm)

Estado Nutricional	Criterio de interpretación para índices DRIS	Categoría de RPAN
Deficiente y limitante	$I_x < 0$, $ I_x > \text{IBNm}$ e I_x es el índice de menor valor	Positiva, alta probabilidad
Deficiente	$I_x < 0$ y $ I_x > \text{IBNm}$	Positiva, con baja probabilidad
Equilibrado	$ I_x \leq \text{IBNm}$	Nula
Exceso	$I_x > 0$ y $ I_x > \text{IBNm}$	Negativa, baja probabilidad
Exceso elevado	$I_x > 0$, $ I_x > \text{IBNm}$ e I_x es el índice de mayor valor	Negativa, alta probabilidad

Nota: Tomado de “*Coffea arabica* L. nutritional status survey based on DRIS, in the upper Paranaíba region - Minas Gerais”, de *Ciência do Solo*, 34(4), 1147-1156., de Lana et al., 2010 I_x : Índice DRIS para el elemento x; IBNm: Índice de balance nutricional medio

Interpretación de índices DRIS y diagnóstico. Los índices obtenidos se someten a interpretación de acuerdo a diferentes métodos, siendo el más aceptado y difundido el criterio de Respuesta Potencial a Aplicación de Nutrientes (RPAN) desarrollado y divulgado por Wadt (1996), como se cita en Lana et al. (2010) y Wadt (2005) que agrupa en cinco categorías a los índices de los elementos en estudio al

compararlos con el índice de balance nutricional medio (IBNm), que resulta de la división de la suma de los valores absolutos de los índices de cada elemento entre el número total de índices (pp. 1148-1150). Siguiendo este lineamiento, Wadt (1996) establece que los valores de los índices DRIS de cada nutrimento y el IBNm se comparen y se categoricen de acuerdo con lo indicado en la Tabla 4.

La manera más correcta de interpretar un índice DRIS es entendiendo que el valor del índice es una probabilidad de respuesta a una acción (RPAN), esto es, si un índice es más negativo que otro, existe una mayor probabilidad de respuesta en el cultivo (incremento en la producción) a la aplicación de éste. De igual forma, si un elemento tiene un índice de mayor valor positivo que otro, existe una mayor probabilidad de respuesta a dejar de aplicarlo (Chacón, 2012, pp. 14-18; De la Torre, 2017, pp. 28-34).

Corrección de fertilización a partir de índices DRIS. Al considerar que el IBNm constituye una media aritmética de los índices DRIS de los nutrientes en estudio diagnóstico, según De la Torre (2017) es posible expresar los índices DRIS en función de una curva de campana de Gauss o distribución normal, de acuerdo con el teorema del límite central (en una población vegetal infinita, la naturaleza de la distribución matemática que posea en función de un factor no altera la naturaleza de su distribución normal) (pp. 6-11).

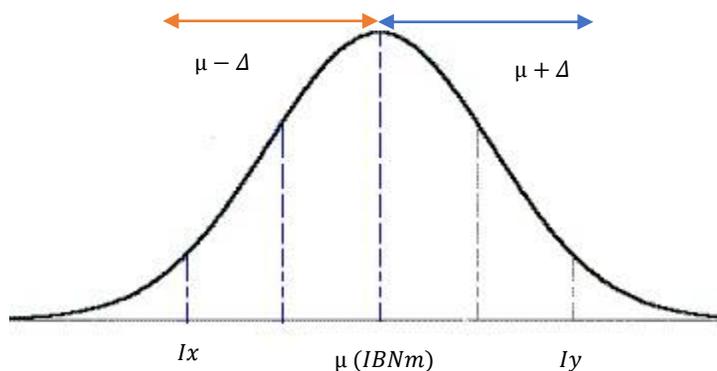
Específicamente, el valor de IBNm constituye la media μ de la campana de Gauss resultante, que representa al valor óptimo de balance nutricional; así, el índice de cada elemento en desbalance se alejará en una cantidad numérica delta Δ del valor óptimo μ (IBNm), representando la magnitud de este valor Δ en logaritmo natural.

Para poder estimar estas diferencias, De la Torre (2017) recomienda la conversión de los índices DRIS a su función matemática inversa (logaritmo natural), ya que como asegura y demuestra en su estudio, estos índices y el IBNm se distribuyen siguiendo una curva exponencial en función de la materia seca acumulada por la planta (pp. 6-11); en este sentido, cada índice DRIS, expresada en su naturaleza matemática pura es una expresión exponencial en función de un valor N, así:

$$|I_x| = e^N \rightarrow N = \text{Ln } |I_x|$$

Figura 5

Distribución normal Gaussiana para la interpretación de la metodología DRIS como medio de corrección de fertilización.



Obteniendo el valor teórico de N, se puede ajustar la diferencia entre el NO del IBNm (valor teórico perfecto) y el Nx del elemento en cuestión, cerrando la brecha entre estos elementos y obteniendo el delta Δ de corrección, y transformado de nuevo a su naturaleza exponencial propia, la cantidad de nutrimento en g/kg de materia seca por planta (macronutrientes) o mg/kg (micronutrientes) a ser corregido en función de la materia seca de cada planta, específicamente buscando una mejor respuesta de la

planta a su aplicación, que es el fundamento de este procedimiento (De la Torre, 2017, pp. 6-11).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Ubicación

Ubicación política

Las muestras de tejido foliar se recogieron del cultivo establecido de tomate riñón manejado bajo sistema semi hidropónico en el invernadero de horticultura de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria - IASA 1, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, localizado en Ecuador, provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia San Fernando. Los análisis de diagnóstico se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos, foliares y aguas de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria - IASA 1.

Figura 6

Vista satelital del sitio de desarrollo de la investigación.



Nota: "IASA", generado desde Google, s.f.

Ubicación geográfica

La zona de estudio se encontró a una altitud de 2717 m.s.n.m., 0°23'5.62" L.S. y 78°24'54.03" L.W.

Ubicación ecológica

Tanto las zonas de muestreo como de análisis se localizaron en el piso altitudinal montano bajo, región latitudinal templada, zona de vida clasificada como bosque húmedo, con una temperatura media anual de 13.89°C, precipitación media anual de 1285 mm/año y humedad relativa media anual del 69.03% (M. Arce, comunicación personal, 10 de julio del 2016).

Métodos

Descripción del cultivo semihidropónico de tomate riñón

El cultivo semihidropónico objeto de diagnóstico se localizó en el invernadero de horticultura de la Hacienda "El Prado", facultad de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA 1 en el que se empleaban 4 tanques de 500 litros, cada uno para cada solución nutritiva empleada, los cuales contaron con una bomba de absorción, tuberías y líneas de goteo adecuada para la irrigación de las soluciones nutritivas mediante líneas de riego por goteo. El cultivo carecía de sistemas automatizados de inyección de soluciones madre para formulación de soluciones diluidas, por lo que esta tarea se realizaba manualmente.

Los conjuntos (funda plástica + cascajo + plántula) se dispusieron sobre el terreno del invernadero de manera tal que se dejó un espaciamiento de 30 cm entre plantas y 50 cm entre camas, teniendo un total de 90 plantas por cama, es decir, 90 plantas bajo el influjo de cada solución nutritiva.

Las plántulas de tomate riñón variedad Pietro fueron adquiridas por los productores de una pilonera local, asegurando un lote total de al menos 360 plantas viables, mismas que fueron trasplantadas en las fundas plásticas que contenían 1.5 kg de sustrato de 100% cascajo fino. El cultivo se orientó a producción de tomate riñón bajo la modalidad de un solo eje principal, empleando rafia, alambre galvanizado y postes de madera como material de tutoreo. En el diseño de irrigación se dispuso una sola línea de goteo por cada cama, con goteros de caudal $Q = 1\text{L/h}$ autocompensante cuya posición coincide con el cuello de la planta.

Manejo por fertirriego

Las formulaciones minerales empleadas por la productora en el cultivo fueron recomendadas por empresas dedicadas a la formulación y comercialización de fertilizantes en el país. Las soluciones fueron manejadas como paquetes de fertilización a emplear durante el ciclo vital del cultivo; de esta manera, el paquete de dosis referencial correspondió a las empleadas en fertiirrigación por diferentes productores locales, mientras que los paquetes de soluciones de dosis bajas, medias y altas corresponden a las soluciones propuestas por los productores como alternativas a emplear como nueva opción en este cultivo bajo la modalidad de producción semihidropónica.

Las composición de los paquetes de soluciones nutritivas empleadas en el estudio se observa en la Tabla 5; la composición de las formulaciones fue brindada por la productora del cultivo y responde a los requerimientos específicos del mismo de acuerdo con su evolución fenológica.

Tabla 5

Composición de las soluciones nutritivas empleadas en el cultivo sometido a diagnóstico en el proyecto de investigación

Paquete de Soluciones	Elemento	Floración Temprana	Desarrollo Frutal	Madurez Comercial
Dosis referencial DR	N	177,90	1859,36	857,69
	P2O5	1363,22	1478,59	206,93
	K2O	3018,32	6449,22	2804,48
	CaO	1146,56	1462,28	814,22
	MgO	441,44	586,92	491,6
	S	358,68	1470,12	890,42
Dosis bajas DB	N	534,55	1909,36	2265,21
	P2O5	752,47	1504,93	724,23
	K2O	517,31	2495,66	4828,3
	CaO	230,43	808,87	1406,16
	MgO	175,56	727,38	677,24
	S	122,28	305,7	244,56
	B	0,81	1,62	1,62
	Zn	3,96	7,92	7,92
	Mn	3,00	6,00	6,00
	Cu	0,48	0,96	0,96
	Fe	3,21	6,42	6,42
Mo	0,06	0,12	0,12	
Dosis medias DM	N	425,62	2049,63	3745,04
	P2O5	705,45	855,93	1392,06
	K2O	352,72	4069,55	9280,35
	CaO	278,24	1307,4	1794,91
	MgO	167,72	402,89	301,00
	S	122,28	305,7	244,56
	B	2,27	0,80	0,81
	Zn	4,37	3,18	3,96
	Mn	2,00	2,54	3,00
	Cu	2,14	0,58	0,48
	Fe	2,14	3,21	3,21
Mo	0,04	0,3	0,06	

Paquete de Soluciones	Elemento	Floración Temprana	Desarrollo Frutal	Madurez Comercial
Dosis altas DA	N	1630	2007	1129
	P ₂ O ₅	470	8779	17118
	K ₂ O	415	2493	16580
	CaO	408	2007	1003
	MgO	306	1630	4201
	S	5,52	3,94	1,97
	B	10,62	19,24	19,24
	Zn	4,86	14,58	14,58
	Mn	5,2	2,33	2,33
	Cu	5,2	15,6	15,6
	Fe	0,1	0,29	0,29

Nota: Unidades: mg/tratamiento/semana

Durante todo el experimento, las soluciones madre eran elaboradas por la productora semanalmente empleando tres recipientes, evitando problemas de incompatibilidad entre fertilizantes de los grupos de nitratos, sulfatos, fosfatos, quelatos y ácidos; posteriormente eran cuidadosamente mezcladas en los tanques de 500 litros, aforados a una capacidad de 275 litros, asegurando su disponibilidad semanal.

El pH de cada solución nutritiva se regulaba a un valor puntual de entre 6 a 6,5, según lo recomendado por Pérez et al. (2013) empleando ácido nítrico; la conductividad eléctrica manejada en la fase inicial osciló entre 0,9 y 1,01 dS/m y en la fase de madurez se incrementó hasta un valor 2,6 dS/m, asegurando una correcta absorción y asimilación de nutrientes por la planta a nivel radicular.

Muestreo

Las muestras de hojas fueron obtenidas de cada una de las parcelas experimentales a los 40, 80 y 120 días después del transplante, coincidiendo con las

etapas fenológicas de estudio. Cada cama de 30 m del invernadero se dividió en su longitud en 3 secciones para muestreo, resultando 3 unidades de 10 m de largo albergando 30 plantas de tomate riñón cada una, sirviendo cada una de ellas como repetición del tratamiento aplicado.

Se adoptó la metodología brindada Agrocalidad (2015) y Fertilab (s.f.), tomándose el pecíolo y el limbo de la cuarta o quinta hoja verdadera bajo la yema apical de la planta, recolectando 50 hojas de diferentes plantas o hasta completar al menos 300 gramos en peso fresco. De la Torre (2017) sugiere tomar hojas maduras jóvenes puesto que presentan menor variación en los rangos de amplitud de valores de composición en macro y micronutrientes (pp. 14-15). Las muestras fueron almacenadas en fundas de papel poroso debidamente identificadas.

Análisis de laboratorio

Manejo inicial de muestras foliares para análisis químico. Las muestras foliares obtenidas en campo para cada una de las soluciones nutritivas fueron lavadas con agua común, pasando por un enjuague por solución jabonosa al 2% empleando jabón de pH neutro por 25 segundos, siendo finalmente enjuagadas con agua desionizada y puesta finalmente a secar sobre papel absorbente (Lacerda et al., 2009, p. 189).

Posteriormente, se dispusieron las hojas en bandejas de papel aluminio rotuladas según la solución nutritiva y se llevaron a secado en estufa a una temperatura constante de 70°C durante 24 horas. Las muestras fueron retiradas de la estufa y se dejaron enfriar a temperatura ambiente, siendo posteriormente molidas y sometidas a tamizaje, con un tamiz de diámetro de 1 mm (calibre 18) verificando la presencia de al

menos 10 gramos de muestra seca (L. Cacuango, comunicación personal, 18 de agosto del 2018).

Para el muestreo efectuado en la fase de madurez comercial del cultivo (120 días), se procedió a secar las muestras al sol durante un tiempo de 72 horas, sobre bandejas de papel aluminio como método alternativo al uso de estufa (L. Cacuango, comunicación personal, 25 de mayo del 2020).

Para la determinación de la media de contenido de cada nutrimento se realizaron muestreos en cada una de las tres repeticiones de los tratamientos por etapa fenológica, con lo cual en laboratorio se obtuvieron tres valores por tratamiento obteniendo y reportando su media y errores estándar.

Figura 7

Tratamiento inicial de muestras foliares tomadas. Secado de muestras en estufa, molienda y tamizaje



Determinación de N total. La cuantificación de nitrógeno total se realizó mediante la metodología de DUMAS (Agrocalidad, 2015, pp. 6-10) en el equipo Elementar™ Rapid N Exceed, para lo cual se pesaron 30 mg de muestra deshidratada y molida que posteriormente fue encapsulada en papel de estaño mediante prensado y

fue combustionada mediante reacción de los gases oxígeno y dióxido de carbono en la cámara del equipo.

Preparación de muestras foliares para análisis de metales. El método de preparación de análisis de contenidos de metales en muestras foliares a emplear para el presente proyecto de investigación fue el método de digestión húmeda sulfo-perclórica. La solución resultante permitió determinar las concentraciones de potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc y manganeso en las muestras foliares (Figura 9).

Figura 8

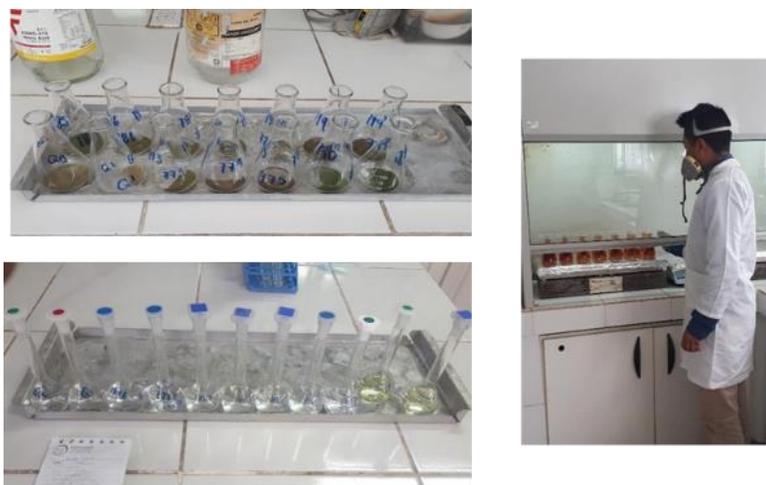
Determinación de contenido de nitrógeno en muestras foliares por metodología de combustión DUMAS



Determinación colorimétrica del contenido de fósforo. Se empleó el método colorimétrico vanadato-molibdato, determinando el contenido en fósforo de la muestra mediante espectrofotometría UV-Vis en el equipo Jasco V-630; se procederá a la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 882 nm (Figura 10) (De la Torre, 2017, pp. 15-16).

Figura 9

Ejecución de digestión sulfo-perclórica de muestras foliares en sorbona de absorción de gases para cuantificación de macro y micronutrientes por absorción atómica



Determinación de contenido de K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y Cu. Se emplearon alícuotas de los digestado y se determinó el contenido en metales mediante espectrofotometría de absorción atómica, empleando el equipo Perkin Elmer® PinAAcle 900 (Agrocalidad, 2015; De la Torre, 2017).

Figura 10

Muestras listas para determinación de contenido de fósforo por espectrofotometría UV-Vis



Figura 11

Determinación de contenido de nutrientes por espectrofotometría de absorción atómica

**Diagnóstico por Rangos de Suficiencia (RS)**

Los contenidos de macro y micronutrientes promedio obtenidos tras determinación fisicoquímica fueron analizados de manera convencional por el método de rangos de suficiencia en base a rangos comprobados, desarrollados y publicados por diferentes autores para el diagnóstico en cultivos de *Lycopersicon esculentum* L., tanto para macro y micronutrientes, identificando los tratamientos presentan mayor frecuencia de balance elemental en cada etapa fenológica del cultivo.

Diagnóstico mediante Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS)***Obtención de normas DRIS***

En el presente estudio se tomaron como referencia las normas DRIS desarrolladas para el cultivo de tomate riñón por Llanderal et al. (2018) y El Rheem et al. (2015) para macro y micronutrientes, respectivamente, en poblaciones élite de tomate riñón cultivados bajo condiciones de invernadero, escogiendo aquellas

relaciones significativas y con el menor coeficiente de variación desarrolladas para cada una de las etapas fenológicas del cultivo.

Elección y cálculo de relaciones entre nutrientes

Las relaciones significativas entre nutrimentos escogidas para este análisis estarán dictadas por las normas preestablecidas escogidas. Para relacionar un par contenidos en macronutrientes o micronutrientes, al estar expresados en unidades similares el cálculo será directo. Cuando se desee relacionar los contenidos entre macro y micronutrientes, en porcentaje y en partes por millón (mg/kg) respectivamente, se añadirá un factor k igual a 100 o 1000 de manera conveniente al cociente para que el valor de la relación obtenida tenga congruencia con el establecido con la norma (Caron y Parent, 1989, pp. 1028-1031; Chacón, 2012, pp.14-18).

Cálculo de funciones DRIS

Se seguirán los criterios y el procedimiento matemático establecidos por Cadahia (1998) y Serra et al. (2014) estableciendo un factor $k=1$ en la ecuación para facilidad de interpretación de los resultados posteriores.

$$f(A/B) = \left[\frac{A/B - a/b}{\text{mínimo}(A/B, a/b)} \right] * \frac{100 * 1}{\% C.V. a/b}$$

Cálculo de los índices DRIS

El cálculo se efectuó con los resultados de contenido nutrimental obtenidos a partir de los análisis foliares previos en cada una de las fases fenológicas, mediante el uso del modelo matemático desarrollado por (Walworth y Sumner, 1987, pp. 149-162).

$$I_x = \frac{\sum_{i=1}^m f(A/B) - \sum_{i=1}^n f(B/A)}{m + n}$$

Dónde:

- I_x : Índice DRIS para el elemento X
- A: Elemento A en estudio (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y Cu)
- B: Otro elemento diferente de A.
- m: Número de funciones en las que A aparece en el numerador
- n: Número de funciones en las que A aparece en el denominador

Cálculo del Índice de Balance Nutricional (IBN) e IBNm

De acuerdo con lo referido por Lana et al. (2010), el índice IBN, que representa una medida del balance relativo de los nutrimentos analizados, se obtuvo a partir de la sumatoria de los valores absolutos de los índices DRIS.

$$IBN = \sum_{i>0}^x |(I_x)_i|$$

Donde,

- IBN: Índice de balance nutricional medio
- I_x : Índices del diagnóstico nutricional DRIS para el elemento x

Se determinó la evolución del IBN en cada una de las tres etapas fenológicas consideradas para este estudio tras el análisis DRIS, identificando las relaciones elementales. Inmediatamente se calculará el IBN medio dividiendo el resultado del IBN sobre el número de índices (n) para cada solución y cada etapa, según se muestra a continuación:

$$IBNm = \frac{IBN}{n}$$

Donde,

- *IBNm*: Índice de balance nutricional medio
- IBN: Índices de balance nutricional
- *n*: Número total de índices

Interpretación y análisis de los índices

En términos de jerarquización, los nutrientes con los índices con valores más bajos (más negativos) se consideraron los más limitantes en la etapa del ciclo vital del vegetal; el orden de limitación está dado por qué tan bajos sean los índices, siendo los óptimos los más cercanos al cero. Las magnitudes de los índices DRIS indicaron deficiencia, equilibrio y exceso de los macro y micronutrientes en cuestión por etapa fenológica y solución nutritiva (Beaufils y Sumner, 1976; López-Montoya et al., 2018).

Se ejecutó un análisis DRIS tradicional jerarquizando los nutrientes por el criterio de Orden de Requerimiento Nutricional (Walworth y Sumner, 1987; pp. 155-160), ordenando de menor a mayor los valores de los índices DRIS. Posteriormente, se clasificaron los índices categorizándolos de acuerdo con el potencial y probabilidad de respuesta del cultivo a la aplicación de dichos nutrientes (RPAN) (Tabla 4), desarrollado por Wadt (1996).

Elaboración de propuestas correctivas de formulación

Para la elaboración de propuestas de corrección se aplicó la metodología desarrollada por De la Torre (2017) para los elementos con alta y baja probabilidad de respuesta a la aplicación de nutrientes con el fin de corregir los desbalances relativos entre nutrientes, según amerite el caso (pp. 33-34).

Para esta corrección, se estimó la materia seca vegetal presente en cada uno de los tratamientos según el modelo matemático propuesto por Núñez-Ramírez et al, (2012) en función de los días después del trasplante para variedades de tomate riñón de crecimiento precoz en condiciones de invernadero, ajustada con un $R^2 = 0.9915$, siendo Bt la materia seca en kg/planta y x los días después del transplante (pp. 29-30).

$$Bt = 0.0298 x^2 - 0.0621x + 5.7685$$

Los resultados se elaboraron tomando en cuenta la respuesta potencial de aplicación de nutrientes desarrollada por Wadt (1996) y aplicada por De la Torre (2017) para corregir desbalances elementales para aquellos elementos cuya aplicación será significativa, es decir, los que poseen alta o baja probabilidad de respuesta a la aplicación de nutrientes, tras categorización bajo criterio de RPAN (pp. 33-34).

Diseño Experimental

Factores

La variable de entrada correspondió a cada solución nutritiva que influyó el contenido nutrimental de los nueve nutrientes analizados en base de materia seca a nivel foliar del cultivo de tomate riñón en cada etapa fenológica. Las soluciones fueron propuestas como paquetes de fertilización a emplear durante el ciclo vital del cultivo. De esta manera, el paquete de soluciones referenciales correspondió a las empleadas en fertirrigación por diferentes productores de tomate riñón en la localidad de Guayllabamba a lo largo del ciclo productivo, mientras que los paquetes de soluciones de dosis bajas, medias y altas corresponden a las soluciones propuestas como alternativas a emplear como nueva opción en este cultivo bajo la modalidad de producción en sistemas semihidropónicos.

Las etapas fenológicas de interés para la producción de tomate y en las cuales se realizará la cuantificación de nutrimentos a nivel foliar de plantas bajo fertirrigación con las soluciones propuestas son floración temprana, desarrollo frutal y madurez comercial, manifestadas a los 40, 80 y 120 días después de transplante, respectivamente (Tabla 6) (Llanderal et al., 2018, pp. 479-481).

Tratamientos

En la fase experimental del estudio se evaluaron doce tratamientos, resultado de la combinación de las cuatro soluciones nutritivas y las tres etapas fenológicas del cultivo, como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6

Tratamientos ensayados en el proyecto de investigación

Etapa Fenológica	Solución	Codificación	Tratamiento
Floración temprana	Dosis referencial	FL-DR	T1
	Dosis baja	FL-DB	T2
	Dosis media	FL-DM	T3
	Dosis alta	FL-DA	T4
Desarrollo Frutal	Dosis referencial	DF-DR	T5
	Dosis baja	DF-DB	T6
	Dosis media	DF-DM	T7
	Dosis alta	DF-DA	T8
Madurez comercial	Dosis referencial	MC-DR	T9
	Dosis baja	MC-DB	T10
	Dosis media	MC-DM	T11
	Dosis alta	MC-DA	T12

Nota: FL: Floración temprana, DF: Desarrollo frutal, MC: Madurez comercial;
DR: Dosis referencial, DB: Dosis bajas, DM: Dosis medias, DA: Dosis altas

Tres muestras significativas por tratamiento (repeticiones) fueron tomadas del cultivo para posterior análisis en laboratorio en términos de cuantificación de contenidos de nueve nutrientes en materia seca (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn).

Tipo de diseño

El presente estudio respondió a un diseño completamente al azar para cada etapa fenológica de control, siendo el factor paquete nutricional el único que afecta a la variable contenido de nutrientes a nivel foliar en base a materia seca. De esta manera, se ejecutaron tres análisis en DCA, uno para cada estado de desarrollo vegetal, de acuerdo con el cambio de formulaciones indicados dentro del paquete de soluciones ensayados.

En este sentido, la variable de respuesta y de entrada varían de acuerdo con el desarrollo fenológico del cultivo de *Lycopersicon esculentum*, evaluándose las concentraciones foliares de cada uno de los nutrientes de interés a los 40, 80 y 120 días después del transplante con 3 repeticiones para cada tratamiento especificado en la Tabla 6.

Croquis experimental

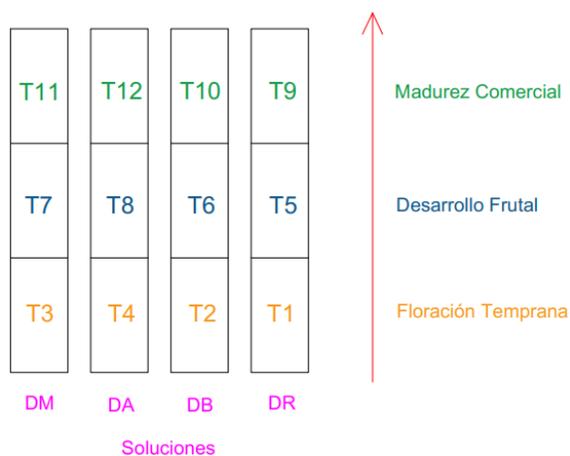
El croquis experimental se muestra en la Figura 12.

Variables de respuesta

Las variables de respuesta serán las concentraciones en porcentaje de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y en ppm (mg/kg) de hierro, manganeso, cobre y zinc a nivel foliar en cada una de las tres etapas fenológicas del cultivo de tomate riñón.

Figura 12

Croquis experimental.



Nota: T1: Tratamiento 1, T2: Tratamiento 2, T3: Tratamiento 3...T12: Tratamiento 12.

DR: Solución – Dosis referencial, DB: Solución: Dosis bajas, DM: Solución – Dosis medias, DA: Solución – Dosis altas

Características de las unidades experimentales

Las unidades experimentales son las plantas de tomate riñón variedad Pietro, establecidas en el invernadero de horticultura de la hacienda “El Prado”. Se emplearon 72 m² del invernadero, distribuidos en 4 camas rectangulares de 0.6m de ancho por 30m de largo del invernadero para el establecimiento del cultivo semihidropónico; cada cama estuvo una irrigada por una de las cuatro soluciones nutritivas y conteniendo 90 plantas, considerando una separación entre recipientes y plantas de 30 cm y entre parcelas grandes de 1m. Cada parcela experimental tiene un ancho de 0,6 m de ancho por 10 m de largo, conteniendo un total de 30 plantas.

Análisis estadístico

Modelo Matemático. El modelo matemático según el diseño experimental planteado es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij} = Concentración a nivel foliar del elemento X en la i-ésima unidad experimental.
- μ = Media general.
- A_i = Efecto de la i-ésima solución nutritiva.
- ε_{ij} = Error experimental

Análisis funcional. Los datos obtenidos para las variables medidas fueron analizados mediante análisis de varianza ANAVA y posteriormente se ejecutaron pruebas de comparación de medias entre los tratamientos evaluados mediante la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5%, a fin de discriminar las soluciones que reflejaron mayor contenido nutrimental a nivel foliar por etapa fenológica. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el paquete estadístico INFOSTAT® 2018 (Di Rienzo et al., 2018).

Comparación de contenidos de nutrimentos en tejido foliar

Los diferentes contenidos de cada nutrimento para cada vegetal sujeto a las cuatro soluciones nutritivas variables cada una de las etapas de crecimiento fueron analizados tras el análisis estadístico correspondiente para encontrar o no diferencias significativas en la dinámica nutrimental del cultivo.

Caracterización de equilibrio nutricional de las formulaciones nutritivas

El equilibrio de cada solución nutritiva fue discutido, en primera instancia, en función de los diagnósticos por rangos de suficiencia para posteriormente ser analizado con los valores de índices DRIS para determinar órdenes de requerimiento nutrimental y finalmente bajo el criterio de los índices IBN e IBNm desarrollados por Wadt (1996) permitiendo, en primera instancia, la caracterización del balance nutricional de cada una de las cuatro formulaciones minerales empleadas en cada etapa fenológica, y a posteriori, la categorización de los nutrientes de acuerdo a la probabilidad de respuesta potencial a su aplicación a lo largo del ciclo productivo mediante enmiendas sugeridas.

Resumen de costos de diagnóstico nutricional por análisis foliares

Se elaboró un resumen de los costos a invertir por parte de los productores para diagnóstico nutricional del cultivo de tomate riñón bajo las condiciones presentadas en el proyecto de investigación mediante la ejecución de análisis foliares.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Contenidos de macronutrientes a nivel foliar

La Tabla 8 refleja los valores de medias y errores estándar tras las tres lecturas efectuadas para determinación de contenidos de macronutrientes en porcentaje obtenidos tras los análisis fisicoquímicos llevados a cabo sobre la base de materia seca foliar según el diseño propuesto; los valores de las medias de contenido se han ordenado de mayor a menor.

Tras análisis estadístico, se concluye que no siempre se evidenciaron diferencias significativas entre los contenidos reportados a nivel foliar en plantas bajo el influjo de la solución referencial y el resto de soluciones a lo largo del ciclo productivo del cultivo (Tabla 7).

Floración Temprana (FL)

Tras el análisis estadístico se evidencia que para los elementos nitrógeno, fósforo y potasio los valores más elevados sin diferencias estadísticas corresponden a los tratamientos con soluciones de dosis altas y medias, siendo superiores al resto ($F=91.53$, $p<0.001$; $F=24,50$, $p<0.0002$; $F=12,60$, $p=0.0021$) (Tabla 7).

En cuanto al calcio, el tratamiento con la solución DB (dosis bajas) reflejó concentración superior de este elemento a nivel foliar frente al resto de soluciones no existiendo diferencias significativas entre el tratamiento con dosis referencial (DR) y el tratamiento de dosis bajas ($F=158.39$, $p<0.0001$); finalmente, la mayor concentración de magnesio a nivel foliar en esta etapa fenológica ha sido registrada en las plantas bajo el

Tabla 7

*Diagnóstico nutricional mediante rangos de suficiencia tras determinación de contenidos de macronutrientes tras análisis foliar en *Lycopersicon esculentum* var. *Pietro* bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas*

Elemento	Solución	Floración Temprana				Desarrollo Frutal				Madurez Comercial						
		Lectura media*	Cadahia (2008)	Hochmuth (2007)	López (2017)	Lectura media*	Cadahia (2008)	Hochmuth (2007)	López (2017)	Lectura media*	Cadahia (2008)	Jones (2008)	Llenderal et al. (2018)			
N	DR	2,16 c		D	D	D	3,88 a	B	E	B	2,98 b	D	D	B		
	DB	3,22 b	4,5-6,0	D	2,8- 4,0	B	D	2,96 c	D	2,0-3,5	B	D	3,07 b	D	D	B
	DM	3,90 a		D	B	3,5-5	B	3,40 b	D	B	3,5-5	D	3,37 a	D	D	B
	DA	4,15 a	D	E	B	3,75 a	B	E	B	3,07 b	D	D	B			
P	DR	0,40 b		B	B	B	0,54 a	E	E	B	0,28 b	B	D	B		
	DB	0,44 b	0,2-0,5	B	0,2- 0,4	E	B	0,36 c	B	0,2-0,4	B	D	0,37 a	B	D	0,19- 0,33
	DM	0,66 a		E	E	0,4-0,8	B	0,48 ab	B	E	E	B	0,39 a	B	D	E
	DA	0,64 a	E	E	B	0,43 bc	B	E	B	0,38 a	B	D	E			
K	DR	3,21 b		E	B	B	4,09 a	E	B	B	3,96 a	E	B	E		
	DB	3,39 b	1,6-2,1	E	2,5- 4,0	B	B	3,43 c	E	2,0-4,0	B	B	3,65 b	E	B	E
	DM	4,01 a		E	B	2,8-4,0	E	3,84 b	E	B	2,8-4,5	B	E	B	E	
	DA	4,02 a	E	B	E	3,84 b	E	B	B	3,63 b	E	B	E			
Ca	DR	2,74 a		B	E	E	2,50 a	B	E	E	2,80 c	B	B	B		
	DB	1,81 c	2,4-3,4	D	1,0- 2,0	B	B	1,78 c	D	1,0-2,0	B	B	3,28 b	B	B	B
	DM	1,83 c		D	B	0,9-2,0	B	1,69 d	D	B	0,9-2,0	B	2,63 d	B	B	
	DA	2,28 b	D	E	E	1,92 b	D	B	E	3,44 a	B	B	B			
Mg	DR	0,75 b		D	E	B	0,69 a	B	E	B	0,65 a	B	B	B		
	DB	0,69 b	0,8-1,5	D	0,3- 0,5	E	B	0,50 b	B	0,25-0,5	B	B	0,68 a	B	B	B
	DM	0,74 b		D	E	>0,4	B	0,50 b	B	B	>0,4	B	0,53 c	B	B	
	DA	0,91 a	B	E	B	0,54 b	B	E	B	0,60 b	B	B	B			

Tabla 8

*Diagnóstico nutricional mediante rangos de suficiencia tras determinación de contenidos de micronutrientes tras análisis foliar en *Lycopersicon esculentum* var. *Pietro* bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas*

Elemento	Solución	Floración Temprana			Desarrollo Frutal			Madurez Comercial			
		Lectura media*	López (2017)	Jones (2012)	Lectura media*	López (2017)	Jones (2008)	Lectura media*	Campbell (2013)	Jones (2008)	Haifa (2016)
Fe	DR	213,48 b	B	E	185,87 a	B	B	86,46 b	B	B	B
	DB	134,45 c	>80	40-100	119,50 c	>80	60-300	106,99 a	50-300	60-300	50-200
	DM	216,02 a	B	E	125,40 b	B	B	82,50 c	B	B	B
	DA	218,37 a	B	E	126,90 b	B	B	72,00 d	B	B	B
Mn	DR	17,50 b	D	D	23,98 d	D	D	53,47 c	B	B	B
	DB	21,99 a	50-125	40-150	38,50 c	50-125	50-250	134,49 b	25-200	50-250	50-125
	DM	20,00 b	D	D	57,95 a	B	B	204,00 a	E	B	E
	DA	21,99 a	D	D	47,96 b	D	D	205,00 a	E	B	E
Cu	DR	21,50 b	E	E	12,49 d	B	B	8,50 d	B	B	B
	DB	11,00 d	8-20	5-20	13,01 c	8-20	5-15	10,00 c	5-35	5-15	8-20
	DM	32,50 a	E	E	14,99 a	B	B	10,50 b	B	B	B
	DA	14,99 c	B	B	13,99 b	B	B	11,00 a	B	B	B
Zn	DR	15,50 d	D	D	46,47 a	B	B	28,49 b	B	D	B
	DB	42,48 c	25-60	25-75	36,00 d	25-60	30-100	33,50 a	18-80	30-100	25-60
	DM	49,50 a	B	B	36,97 c	B	B	25,50 c	B	D	B
	DA	46,47 b	B	B	39,47 b	B	B	28,00 b	B	B	B

Nota: D: Deficiencia, B: Balance, E: Exceso. Todos los valores están expresados en mg/kg. *Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (Tukey, $p > 0.05$)

influjo de la solución DA, no existiendo diferencias significativas estadísticamente entre las soluciones DR, DB y DM ($F=27.97$, $p=0.0001$) (Tabla 7).

Desarrollo Frutal

Se puede apreciar que las concentraciones de nitrógeno a nivel foliar de tomate influidas por las soluciones empleadas en los tratamientos T5 y T9 (dosis referencial y dosis altas) son superiores al resto y no presentan diferencias significativas entre ellas ($F=83.17$, $p<0.0001$).

La solución empleada en T5 reporta mayores contenidos de fósforo a nivel foliar en los macronutrientes magnesio ($F=46.62$, $p<0.0001$), calcio ($F=699.36$, $p<0.0001$) y potasio ($F=699.36$, $p<0.0001$) versus el resto de soluciones (Tabla 7). En el caso del fósforo, no existen diferencias significativas a un $p>0.05$ para los contenidos reportados de T5 y T7 ($F=25.62$, $p=0.0002$). Es particular el caso del magnesio, puesto que estadísticamente no se reportan diferencias significativas entre las soluciones de referencia, dosis medias y altas, a pesar de tener diferente dosificación (Tabla 7).

Madurez Comercial

Para el nitrógeno, el mayor contenido porcentual en este órgano vegetal para esta etapa se alcanzó con la solución de dosis medias, sin encontrar diferencias significativas entre los contenidos en el resto de tratamientos ($F=58.05$, $p<0.0001$). En términos de contenido de fósforo, se aprecia que no existen diferencias significativas entre los contenidos de los tratamientos de dosis bajas, medias y altas ($F=16.21$, $p=0.0009$) (Tabla 7).

En el tratamiento con dosis referencial se reportaron valores superiores de contenido de potasio frente (deficiencia de nitrógeno) al resto de tratamientos

($F=251.27$, $p<0.0001$); así mismo, para el tratamiento de dosis altas se reflejan concentraciones superiores de calcio en tejido por sobre el resto ($F=545.03$, $p>0.0001$), y, finalmente, contenidos superiores de magnesio se registraron en los tratamientos de dosis referencial y bajas ($F=51.60$, $p<0.0001$) (Tabla 7).

Contenidos de micronutrientes a nivel foliar

La Tabla 8 refleja los valores promedio y los correspondientes valores de errores estándar para los contenidos de micronutrientes a nivel foliar del cultivo de tomate riñón en ppm's (mg/kg) influido por cada solución nutritiva en las diferentes etapas fenológicas y su respectiva comparación mediante el modelo matemático establecido bajo la prueba de Tukey a un $p>0.05$.

Tras análisis estadístico, se concluye que existen diferencias significativas entre los contenidos reportados a nivel foliar en plantas bajo el influjo de la solución referencial y el resto de soluciones (Tabla 8).

Floración Temprana

Para los casos del hierro y manganeso, los tratamientos con soluciones DA y DM reflejan mayores contenidos de estos elementos a nivel foliar en relación con el resto de tratamientos; para el caso de manganeso, no se reportan diferencias entre el tratamiento con solución referencial y el de dosis bajas ($F=2199,05$; $p<0.0001$, $F=200.19$, $p<0.0001$). La solución de dosis medias es la que mayor concentración reporta a nivel en cuanto al cobre ($F=1002.84$, $p<0.0001$) y zinc ($F=1899.75$, $p<0.0001$) con relación al resto de tratamientos (Tabla 8).

Desarrollo Frutal

Se puede observar que plantas bajo la dosis referencial reportan contenidos más elevado para ppm's de hierro ($F=2237.01$, $p<0.0001$) y zinc ($F=588.98$, $p<0.0001$) a nivel foliar. Es remarcable notar que no existen diferencias significativas entre los contenidos de hierro reportados con las soluciones de dosis medias y altas y que sean más bajas que los contenidos de la solución referencial; esto puede ser producto de la interacción nutricional. Plantas bajo fertirrigación con dosis medias reportan los contenidos más altos de manganeso ($F=8183.50$, $p<0.0001$) y cobre ($F=204.63$, $p<0.0001$) en materia seca foliar con relación al resto de tratamientos (Tabla 8).

Madurez Comercial

Se puede apreciar que los contenidos de hierro en tejido fueron estadísticamente diferentes para cada uno de los tratamientos, reportándose el mayor valor en el tratamiento con dosis bajas ($F=1844.58$, $p<0.0001$), que responde también a un contenido moderado de manganeso en este tratamiento para esta etapa fenológica (Tabla 8).

El contenido de manganeso fue superior en los tratamientos con dosis medias y altas y no fueron estadísticamente diferentes entre sí ($F=29722.34$, $p<0.0001$). Para el caso del cobre, el reporte de contenido a nivel de hoja la solución a mayor concentración de nutrientes ($F=89722.34$, $p<0.0001$) y finalmente para el zinc el mayor contenido se reporta en el tratamiento con dosis bajas, no existiendo diferencias significativas entre la solución de dosis referencial y el de dosis altas ($F=258.94$, $p>0.0001$) (Tabla 8).

Para el caso del cobre, contenidos superiores se evidenciaron en plantas bajo influencia de dosis altas ($F=89722.34$, $p<0.0001$) y finalmente para el zinc el mayor contenido se reporta en el tratamiento con dosis bajas, no existiendo diferencias significativas entre la solución de dosis referencial y el de dosis altas ($F=258.94$, $p>0.0001$) (Tabla 8).

Diagnóstico por rangos de suficiencia (RS)

Floración temprana

Para esta primera etapa de control, en términos de macronutrientes y de acuerdo con los rangos propuestos por Cadahia (2008) el fósforo para plantas bajo dosis referencial y dosis bajas evidencia balance y exceso con dosis medias y altas, el potasio se encuentra en exceso a nivel foliar para todos los tratamientos, el calcio registra balance en plantas bajo dosis referencial y para el magnesio balance en dosis altas. La solución que origina mejor balance en términos de macronutrientes según este autor es la de dosis referencial en cuanto a frecuencia de elementos en balance y menor frecuencia de deficiencias y excesos (Tabla 7).

Para Hochmuth y Maynard (2007) el nitrógeno presenta deficiencia en plantas bajo dosis referencial, balance en dosis bajas y medias y exceso en plantas con influjo de dosis altas, el fósforo está en balance en plantas bajo dosis referencial y en exceso para el resto de los tratamientos, el potasio evidencia balance en todos los tratamientos, el calcio presenta excesos en plantas con influjo de dosis referencial y alta y balance en aquellas con dosis bajas medias, para todos los tratamientos, el magnesio reporta exceso. Según los datos de frecuencia de diagnóstico presentados en Tabla 7, las

soluciones que reportan mejor balance son las de dosis bajas y medias, respectivamente.

Los rangos de suficiencia desarrollados por López (2017) en cultivos de tomate hidropónicos evidencian que fósforo, potasio y magnesio están en balance, mientras que para nitrógeno hay balance en individuos influidas por dosis medias y altas; finalmente, en términos de calcio plantas irrigadas por dosis bajas y medias están en balance, reportando exceso en el resto; como se pone de manifiesto en la Tabla 7. La solución que desemboca mejores contenidos en tejido foliar para este autor en etapa de floración temprana fue la de dosis medias coincidiendo con los diagnósticos según los rangos de Cadahia (2008) y Hochmuth y Maynard (2007).

En lo que respecta a micronutrientes, según los rangos de López (2017) tanto el hierro como el zinc están en balance en todos los tratamientos, exista deficiencia de manganeso en los cuatro tratamientos y para el caso del cobre se expresa balance únicamente en plantas bajo dosis bajas y altas. En la Tabla 8 se puede observar que, en términos de micronutrientes, los rangos del autor consideran que las soluciones de dosis bajas y altas son las que más elementos en balance reportan al cultivo de tomate.

Por otro lado, desde el punto de vista de los rangos desarrollados por Jones (2012), existe un exceso de hierro y deficiencia de manganeso en todos los tratamientos, en caso del zinc únicamente se evidencia deficiencia en plantas con dosis referencial, y para el cobre existe coincidencia con los rangos de López (2017). Analizando la frecuencia de elementos en balance en la Tabla 8 se puede concluir que las soluciones de dosis bajas y altas son los mejores en cuanto a contenidos de micronutrientes a nivel foliar, coincidiendo completamente con el diagnóstico realizado por López (2017).

Desarrollo Frutal

Para el diagnóstico en esta etapa se han tomado en cuenta los rangos de suficiencia reportados por Cadahia (2008), Hochmuth y Maynard (2007) y López (2017) para cada uno de los tratamientos.

Según los rangos de Cadahia (2008) el elemento en balance adecuado en todos los tratamientos es el magnesio, mientras que el caso opuesto se da con el potasio, reportándose excesos en todos los tratamientos en esta fase fenológica; los niveles de fósforo son los adecuados en todos los tratamientos, menos en el testigo (Tabla 7).

En cuanto a nitrógeno, la situación respecto al crecimiento vegetativo ha mejorado para los tratamientos testigo y de dosis altas, pero persiste en deficiencia en los tratamientos de dosis bajas y medias. La Tabla 7 refleja la frecuencia de categorías de diagnóstico según este autor, arrojando que la solución más balanceada para esta etapa fenológica es la dosis referencial.

Los rangos de suficiencia de Hochmuth y Maynard (2007) evidencian balance en niveles de potasio para todos los tratamientos en esta fase, además de observarse balance en calcio y magnesio para todos los tratamientos excepto para la solución de dosis altas y excesos de fósforo a excepción de plantas con influjo de dosis bajas según lo reflejado en la Tabla 8. Según el criterio de este autor la solución de dosis bajas la que más balance nutrimental aporta a nivel de tejido foliar.

López (2017) reporta contenidos foliares balanceados para potasio, magnesio y nitrógeno para todos los tratamientos, confirmando el diagnóstico de Hochmuth y Maynard (2007) y Cadahia (2008), respectivamente. En el caso del fósforo, se tienen soluciones que aportan balance menos la de dosis bajas y se reportan excesos de

calcio en plantas fertilizadas con las dosis referenciales y altas, categorizando al resto de tratamientos como balanceados en este caso (Tabla 7). Bajo los criterios de suficiencia de este autor, la solución que aporta más equilibrio es la de dosis referencial.

En términos de micronutrientes, López (2017) y Jones (2008) concuerdan en el balance de todas las soluciones empleadas en los tratamientos en términos de zinc, cobre y hierro. Según los criterios de ambos autores, la solución que reporta mejor balance de micronutrientes a nivel foliar a los 80 días de edad es la de dosis medias al reportar mayor frecuencia de elementos en balance (Tabla 8); además, en este tratamiento el único que no reporta deficiencia de manganeso en tejido.

Madurez Comercial

Para el diagnóstico de la situación nutricional en macronutrientes en esta etapa fenológica se han considerado los rangos de suficiencia publicados por Cadahia (2008), Jones (2008) y de Llanderal et al. (2018) y se refleja en la Tabla 7. Cadahia (2008) reporta exceso de potasio y carencias de nitrógeno en el tejido vegetal, mientras que, de acuerdo con el criterio con Jones (2008) se aprecian soluciones en balance en balanceadas en potasio y deficiencias de fósforo y nitrógeno a nivel foliar; además, todas las soluciones son homólogas en frecuencia de balance de elementos y no se puede discernir cuál de ellas es mejor en términos de macronutrientes para esta etapa fenológica, mismo resultado que el obtenido con los rangos de Jones (2008).

Bajo el enfoque de los rangos de suficiencia de Llanderal et al. (2018), a nivel foliar se tienen balances en contenidos en nitrógeno y excesos en potasio y fósforo, encontrándose este último en balance únicamente en plantas con las dosis de referencia, siendo esta, bajo el criterio de diagnóstico por rangos de suficiencia la que

mayor balance en términos de macronutrientes aporta al cultivo de tomate riñón a 120 días del trasplante (Tabla 7).

Los rangos de suficiencia de Campbell (2013), Jones (2008) y Haifa Group (2016) han sido considerados para el diagnóstico por RS en micronutrientes en esta etapa, todos ellos desarrollados bajo condiciones de invernadero. Según todos los autores, todas las soluciones nutritivas han desembocado en contenidos correctos de hierro a nivel foliar. Es notable el caso de la solución referencial, puesto que no se ha suministrado hierro mediante la solución nutritiva, pero se han empleado fuentes foliares en el manejo nutricional para suministrar los niveles mínimos de este nutriente.

Bajo los rangos de suficiencia avalados por Campbell (2013), se evidencia balance a nivel foliar para manganeso en los tratamientos con solución referencial y de dosis bajas, y exceso en los correspondientes a los tratamientos de dosis medias y altas; en cuanto a cobre y zinc se reportan niveles óptimos de balance en todos los tratamientos, siendo el valor más bajo el registrado en el tratamiento 9, como era de esperarse. Las soluciones tratamientos que más balance a nivel foliar alcanzan en esta etapa macronutrientes son las de dosis referenciales y de dosis bajas respectivamente (Tabla 8).

Para Jones (2008) los niveles de concentración foliar de hierro, manganeso y cobre son óptimos para el cultivo en esta etapa fenológica, reportándose deficiencia únicamente en el caso del zinc en plantas con soluciones de dosis referencial y media. El autor reporta que las mejores soluciones para esta etapa en términos de macronutrientes son las de dosis bajas y altas (Tabla 8). Los rangos de Haifa Group (2016) coincide con los de Campbell (2013) para los casos de cobre y zinc, pero reporta

Tabla 9

Relaciones elementales y funciones DRIS de las poblaciones de alto rendimiento y bajo diagnóstico bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en floración

Población de alto rendimiento			Población de estudio							
Normas	Media	CV (%)	T1		T2		T3		T4	
			X/A	f(X/A)	X/A	f(X/A)	X/A	f(X/A)	X/A	f(X/A)
N/P ^a	13,2	12	5,40	-12,04	7,32	-6,7	5,91	-10,28	6,48	-8,63
N/K ^a	2	11	0,67	-17,93	0,95	-10,05	0,97	-9,6	1,03	-8,52
N/Ca ^a	2,09	13	0,79	-12,7	1,78	-1,34	2,13	0,15	1,82	-1,14
P/K ^a	0,15	9	0,12	-2,26	0,13	-1,73	0,16	1,08	0,16	0,68
K/Ca ^a	1,05	15	1,17	0,77	1,87	5,22	2,19	7,25	1,76	4,53
Ca/P ^a	6,37	12	6,85	0,63	4,11	-4,57	2,77	-10,81	3,56	-6,57
Mg/N ^a	0,17	8	0,35	13,03	0,21	3,26	0,19	1,45	0,22	3,62
P/Mg ^a	0,44	8	0,53	2,65	0,64	5,62	0,89	12,84	0,70	7,48
Mg/K ^a	0,35	9	0,23	-5,53	0,2	-8,00	0,18	-9,96	0,23	-6,07
Mg/Ca ^a	0,36	13	0,27	-2,42	0,38	0,45	0,40	0,95	0,40	0,84
Fe/N ^b	0,345	16,52	0,99	11,26	0,42	1,27	0,55	3,67	0,53	3,18
Zn/N ^b	0,095	17,89	0,07	-1,81	0,13	2,17	0,13	1,88	0,11	1,00
Mn/N ^b	0,119	16,81	0,08	-2,79	0,07	-4,42	0,05	-7,86	0,05	-7,41
Cu/N ^b	0,09	18,89	0,10	0,56	0,03	-8,65	0,08	-0,42	0,04	-7,90
Fe/P ^b	0,557	10,59	0,53	-0,43	0,31	-7,77	0,33	-6,63	0,34	-5,97
Zn/P ^b	0,154	17,53	0,39	8,65	0,97	30,06	0,75	22,08	0,73	21,19
Cu/P ^b	0,147	23,81	0,54	11,16	0,25	2,94	0,49	9,87	0,23	2,49
Fe/K ^b	0,419	15,75	0,66	3,71	0,40	-0,36	0,54	1,81	0,54	1,88
Zn/K ^b	0,114	11,4	0,05	-11,94	0,13	0,87	0,12	0,73	0,12	0,12
K/Cu ^b	9,364	11,91	14,93	4,99	30,82	19,24	12,34	2,67	26,82	15,65
Fe/Zn ^b	3,701	18,83	13,75	14,42	3,17	-0,90	4,36	0,95	4,70	1,43
Fe/Cu ^b	3,941	21,59	9,91	7,02	12,22	9,73	6,65	3,18	14,57	12,49
Zn/Cu ^b	1,069	15,43	0,72	-3,13	3,86	16,93	1,52	2,75	3,10	12,31
Mn/P ^b	0,192	14,06	0,44	9,09	0,50	11,40	0,30	4,11	0,34	5,62
Fe/Mn ^b	2,947	18,12	12,18	17,29	6,11	5,93	10,80	14,71	9,93	13,08
Mn/K ^b	0,143	11,19	0,06	-14,50	0,07	-10,76	0,05	-16,69	0,06	-14,43
Mn/Zn ^b	1,266	14,85	1,13	-0,82	0,52	-9,74	0,40	-14,37	0,47	-11,28
Mn/Cu ^b	1,348	18,69	0,81	-3,51	2,00	2,58	0,62	-6,37	1,47	0,47

Nota: ^aNormas publicadas por Llanderal et al. (2018); ^bNormas publicadas por El

Rheem et al. (2015)

Tabla 10

Relaciones elementales y funciones DRIS de poblaciones de alto rendimiento y bajo diagnóstico bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en desarrollo frutal

Poblaciones de alto rendimiento			Población de estudio							
Normas	Media	CV (%)	T5		T6		T7		T8	
			X/A	f(X/A)	X/A	f(X/A)	X/A	f(X/A)	X/A	f(X/A)
N/P ^a	11,4	35	7,20	-1,67	8,16	-1,14	7,07	-1,75	8,78	-0,85
N/K ^a	1,52	17	0,95	-3,54	0,86	-4,48	0,89	-4,21	0,98	-3,26
N/Ca ^a	2,05	30	1,55	-1,06	1,66	-0,77	2,01	-0,07	1,95	-0,16
P/K ^a	0,15	36	0,13	-0,38	0,11	-1,16	0,13	-0,55	0,11	-0,96
K/Ca ^a	1,34	39	1,64	0,57	1,93	1,13	2,27	1,78	2	1,26
Ca/P ^a	6,45	53	4,63	-0,74	4,9	-0,6	3,52	-1,57	4,49	-0,82
Mg/N ^a	0,19	25	0,18	-0,26	0,17	-0,53	0,15	-1,19	0,14	-1,32
P/Mg ^a	0,54	32	0,78	1,38	0,73	1,1	0,97	2,47	0,8	1,49
Mg/K ^a	0,28	22	0,17	-2,98	0,14	-4,24	0,13	-5,27	0,14	-4,57
Mg/Ca ^a	0,38	47	0,28	-0,79	0,28	-0,77	0,29	-0,62	0,28	-0,77
Fe/N ^b	0,345	16,52	0,48	2,35	0,40	1,03	0,37	0,42	0,34	-0,12
Zn/N ^b	0,095	17,89	0,12	1,46	0,12	1,57	0,11	0,81	0,11	0,60
Mn/N ^b	0,119	16,81	0,06	-5,50	0,13	0,55	0,17	2,57	0,13	0,45
Cu/N ^b	0,09	18,89	0,03	-9,51	0,04	-5,55	0,04	-5,51	0,04	-7,48
Fe/P ^b	0,557	10,59	0,35	-5,81	0,33	-6,53	0,26	-10,72	0,30	-8,26
Zn/P ^b	0,154	17,53	0,86	26,24	0,99	31,05	0,77	22,78	0,92	28,52
Cu/P ^b	0,147	23,81	0,23	2,42	0,36	6,04	0,31	4,71	0,33	5,16
Fe/K ^b	0,419	15,75	0,45	0,54	0,35	-1,29	0,33	-1,80	0,33	-1,69
Zn/K ^b	0,114	11,4	0,11	-0,03	0,11	-0,76	0,10	-1,61	0,10	-0,95
K/Cu ^b	9,364	11,91	32,74	20,96	26,39	15,26	25,61	14,57	27,42	16,19
Fe/Zn ^b	3,701	18,83	4,00	0,43	3,32	-0,61	3,39	-0,48	3,22	-0,80
Fe/Cu ^b	3,941	21,59	14,88	12,86	9,19	6,17	8,37	5,20	9,07	6,03
Zn/Cu ^b	1,069	15,43	3,72	16,07	2,77	10,31	2,47	8,47	2,82	10,62
Mn/P ^b	0,192	14,06	0,45	9,37	1,06	32,19	1,21	37,54	1,12	34,48
Fe/Mn ^b	2,947	18,12	7,75	8,99	3,10	0,29	2,16	-2,00	2,65	-0,63
Mn/K ^b	0,143	11,19	0,06	-12,86	0,11	-2,45	0,15	0,50	0,13	-1,28
Mn/Zn ^b	1,266	14,85	0,52	-9,78	1,07	-1,24	1,57	1,60	1,22	-0,28
Mn/Cu ^b	1,348	18,69	1,92	2,27	2,96	6,40	3,87	10,00	3,43	8,26

Nota: ^aNormas publicadas por Llanderal et al. (2018); ^bNormas publicadas por El

Rheem et al. (2015)

Tabla 11

Relaciones elementales y funciones DRIS de las poblaciones de alto rendimiento y bajo diagnóstico bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en madurez comercial

Poblaciones de alto rendimiento			Población de estudio							
Normas	Media	CV (%)	T9		T10		T11		T12	
			X/A	f(X/A)	X/A	f(X/A)	X/A	f(X/A)	X/A	f(X/A)
N/P ^a	10,45	35,00	10,64	0,05	8,30	-0,74	8,64	-0,60	8,08	-0,84
N/K ^a	1,54	41,00	0,75	-2,55	0,84	-2,03	0,95	-1,51	0,85	-2,00
N/Ca ^a	1,13	40,00	1,06	-0,15	0,94	-0,52	1,28	0,33	0,89	-0,67
P/K ^a	0,16	48,00	0,07	-2,63	0,10	-1,20	0,11	-0,94	0,10	-1,10
K/Ca ^a	0,84	42,00	1,41	1,63	1,11	0,77	1,35	1,43	1,06	0,61
Ca/P ^a	10,01	38,00	10,00	0,00	8,86	-0,34	6,74	-1,27	9,05	-0,28
Mg/N ^a	0,32	55,00	0,22	-0,85	0,22	-0,81	0,16	-1,88	0,20	-1,16
P/Mg ^a	0,43	66,00	0,43	0,00	0,54	0,40	0,74	1,08	0,63	0,72
Mg/K ^a	0,41	30,00	0,16	-4,99	0,19	-4,00	0,15	-5,79	0,17	-4,94
Mg/Ca ^a	0,31	33,00	0,23	-1,02	0,21	-1,50	0,20	-1,63	0,17	-2,36
Fe/N ^b	0,345	16,52	0,29	-1,14	0,35	0,06	0,24	-2,48	0,23	-2,85
Zn/N ^b	0,095	17,89	0,10	0,04	0,11	0,83	0,08	-1,43	0,09	-0,23
Mn/N ^b	0,119	16,81	0,18	3,02	0,44	15,95	0,61	24,31	0,67	27,43
Cu/N ^b	0,09	18,89	0,03	-11,41	0,03	-9,33	0,03	-10,00	0,04	-8,00
Fe/P ^b	0,557	10,59	0,31	-7,59	0,29	-8,75	0,21	-15,42	0,19	-18,32
Zn/P ^b	0,154	17,53	1,02	31,99	0,91	27,83	0,65	18,52	0,74	21,59
Cu/P ^b	0,147	23,81	0,30	4,47	0,27	3,52	0,27	3,49	0,29	4,07
Fe/K ^b	0,419	15,75	0,22	-5,84	0,29	-2,73	0,23	-5,07	0,20	-7,06
Zn/K ^b	0,114	11,4	0,07	-5,13	0,09	-2,12	0,07	-5,11	0,08	-4,19
K/Cu ^b	9,364	11,91	46,59	33,38	36,50	24,33	33,71	21,83	33,00	21,19
Fe/Zn ^b	3,701	18,83	3,03	-1,17	3,19	-0,84	3,24	-0,76	2,57	-2,33
Fe/Cu ^b	3,941	21,59	10,17	7,32	10,70	7,94	7,86	4,60	6,55	3,06
Zn/Cu ^b	1,069	15,43	3,35	13,84	3,35	13,83	2,43	8,24	2,55	8,95
Mn/P ^b	0,192	14,06	0,19	-0,04	0,36	6,35	0,52	12,26	0,54	12,87
Fe/Mn ^b	2,947	18,12	1,62	-4,54	0,80	-14,93	0,40	-34,70	0,35	-40,79
Mn/K ^b	0,143	11,19	0,14	-0,53	0,37	14,09	0,58	27,08	0,56	26,36
Mn/Zn ^b	1,266	14,85	1,88	3,25	4,01	14,62	8,00	35,82	7,32	32,21
Mn/Cu ^b	1,348	18,69	6,29	19,62	13,45	48,03	19,43	71,77	18,64	68,62

Nota: ^aNormas publicadas por Llanderal et al. (2018); ^bNormas publicadas por El

Rheem et al. (2015)

excesos de manganeso en todos los tratamientos con dosis de micronutrientes; el tratamiento que mejor balance de micronutrientes reporta es T9 (Tabla 8).

Determinación de índices DRIS del cultivo de tomate riñón

Partiendo de los contenidos de macro y micronutrientes reportados a nivel foliar para la población en estudio y teniendo la referencia de las normas DRIS publicadas de las poblaciones élite de tomate por Llanderal et al. (2018) (macronutrientes) y El Rheem et al. (2015) (micronutrientes) se determinaron las relaciones entre los nutrientes y sus respectivas funciones, detalladas en las Tablas 9, 10 y 11.

A partir de estas funciones se calcularon los índices DRIS para cada elemento, y posteriormente se determinaron los índices IBN e IBNm de Wadt (1996) con el objetivo de caracterizar y contrastar las soluciones en cada etapa; los valores de los índices para cada tratamiento y etapa fenológica se muestran en la Tabla 12, y se representan en la Figura 13.

Como se aprecia en la Tabla 12, para la etapa de floración temprana el índice IBNm de menor valor se reporta en plantas bajo influencia del tratamiento 4, en tanto que para la fase de desarrollo frutal el IBNm de menor magnitud fue el correspondiente al tratamiento 2 mientras que la fase de madurez comercial el menor valor se reporta con uso del tratamiento 1.

Para el punto de control en desarrollo frutal los elementos con mayor frecuencia de requerimiento nutricional son el cobre, fósforo y el magnesio para todos los tratamientos, mientras que en el caso de la fase de madurez comercial todos los tratamientos evidencian necesidades de cobre, fósforo, magnesio y hierro, según los índices DRIS.

Tabla 12

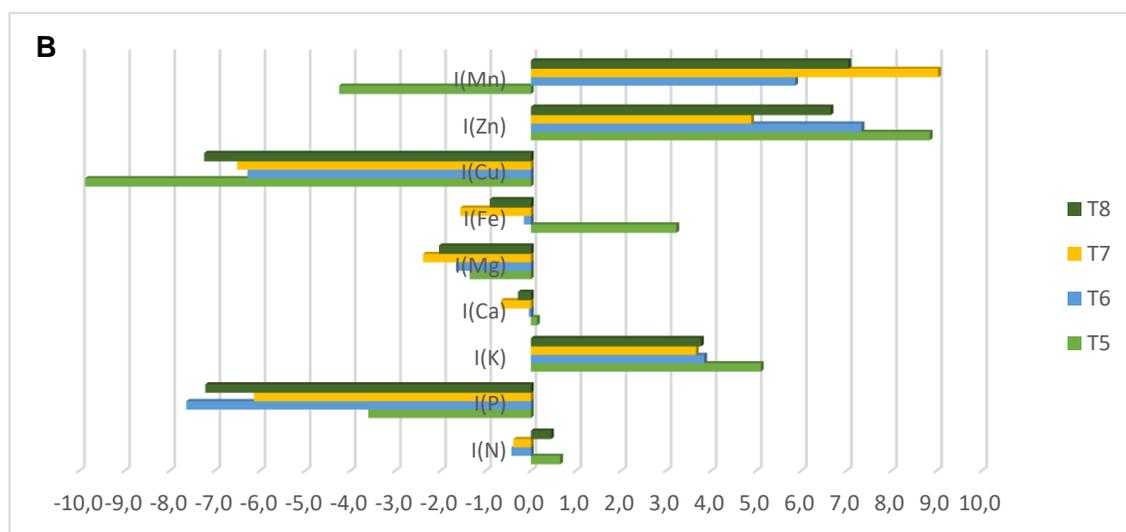
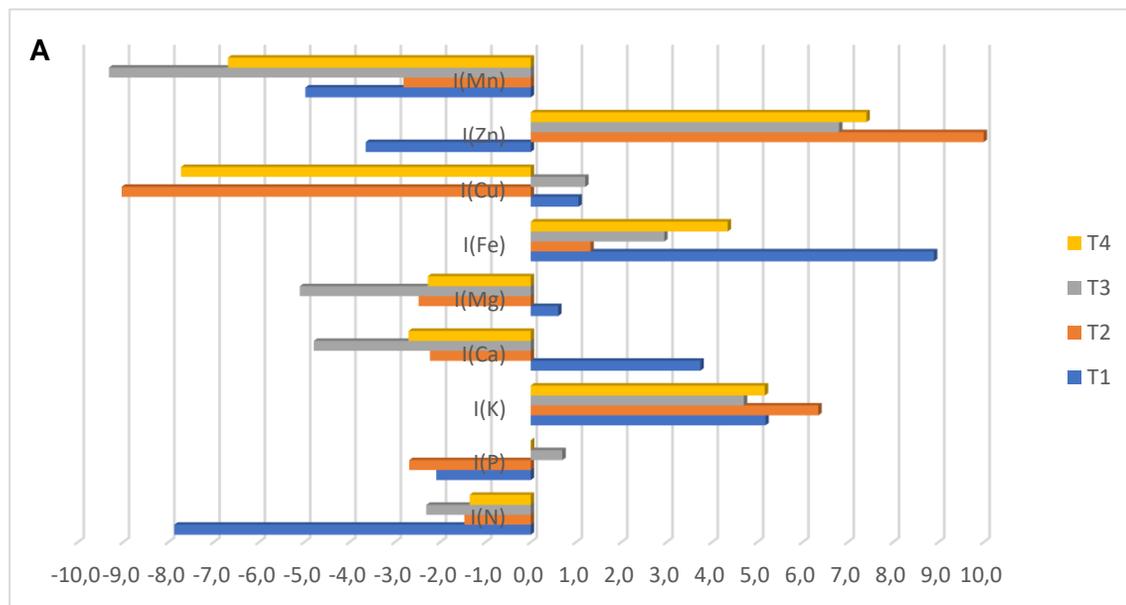
Índices DRIS Ix para cada nutriente del cultivo de tomate riñón bajo el influjo de cuatro soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas

Etapa Fenológica	Ix	Tratamientos			
		T1	T2	T3	T4
Floración Temprana	I _N	-7,87	-1,47	-2,31	-1,35
	I _P	-2,08	-2,68	0,69	0,004
	I _K	6,78	6,81	5,32	5,81
	I _{Ca}	3,75	-2,23	-4,79	-2,69
	I _{Mg}	0,61	-2,48	-5,1	-2,27
	I _{Fe}	8,88	1,32	2,95	4,35
	I _{Cu}	1,06	-9,03	1,2	-7,72
	I _{Zn}	-3,64	10,11	6,81	7,41
	I _{Mn}	-4,97	-2,81	-9,31	-6,68
	IBN	39,62	38,94	38,48	38,3
IBNm	4,4	4,33	4,28	4,26	
Desarrollo Frutal		T5	T6	T7	T8
	I _N	0,649	-0,432	-0,39	0,449
	I _P	-3,602	-7,635	-6,134	-7,212
	I _K	5,099	3,844	3,661	3,772
	I _{Ca}	0,136	-0,045	-0,664	-0,288
	I _{Mg}	-1,356	-1,658	-2,389	-2,038
	I _{Fe}	3,227	-0,155	-1,563	-0,912
	I _{Cu}	-9,874	-6,277	-6,508	-7,238
	I _{Zn}	8,848	7,336	4,888	6,648
	I _{Mn}	-4,249	5,862	9,035	7,041
IBN	37,041	33,244	35,233	35,597	
IBNm	4,116	3,694	3,915	3,955	
Madurez comercial		T9	T10	T11	T12
	I _N	0,962	-1,248	-1,287	-2,337
	I _P	-3,939	-3,585	-2,105	-2,435
	I _K	7,731	3,01	1,826	1,843
	I _{Ca}	-0,115	0,226	-0,353	0,533
	I _{Mg}	-1,715	-1,679	-2,596	-2,291
	I _{Fe}	-2,159	-3,206	-8,971	-11,382
	I _{Cu}	-13,516	-16,658	-18,825	-17,626
	I _{Zn}	6,442	4,432	-2,473	-0,627
	I _{Mn}	4,977	18,995	34,322	34,713
IBN	41,555	53,04	72,76	73,787	
IBNm	4,617	5,89	8,08	8,199	

Nota: IBN: Índice de balance nutricional, IBNm: Índice de balance nutricional medio

Figura 13

Representación gráfica de los valores de los índices DRIS obtenidos para el cultivo de tomate riñón en fase de: a) floración temprana, b) desarrollo frutal y c) madurez comercial



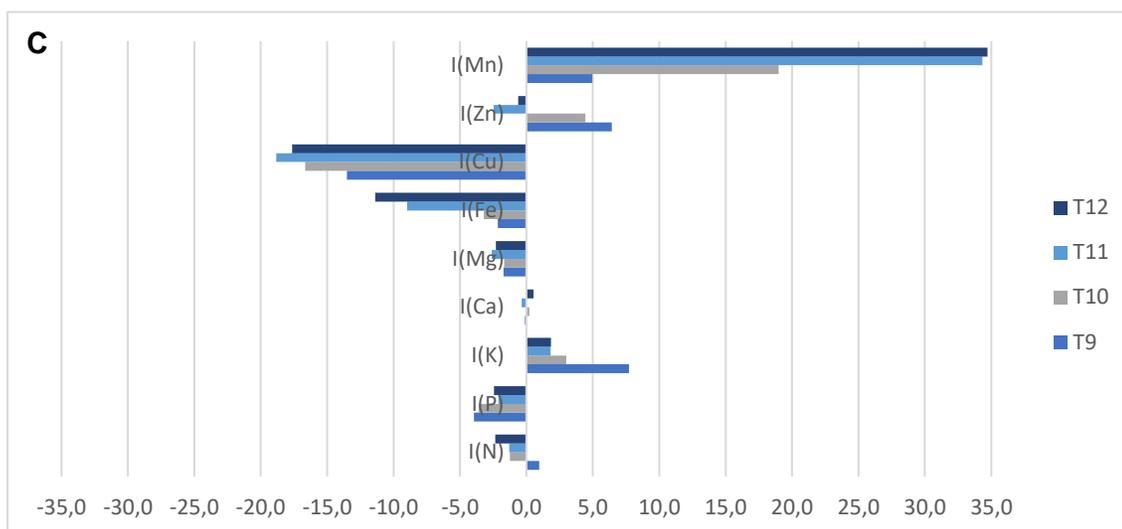


Tabla 13

*Diagnóstico nutrimental DRIS según el criterio del Orden de Requerimiento Nutrimental (ORN) para *Lycopersicon esculentum* var. *Pietro* bajo influjo de cuatro soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas*

Etapa Fenológica	Solución	Diagnóstico DRIS
Floración Temprana	DR	N>Mn>Zn>P
	DB	Cu>Mn>P>Mg>Ca>N
	DM	Mn>Mg>Ca>N
	DA	Cu>Mn>Ca>Mg>N
Desarrollo Frutal	DR	Cu>Mn>P>Mg
	DB	P>Cu>Mg>N
	DM	Cu>P>Mg>Fe>Ca>N
	DA	Cu>P>Mg>Fe>Ca
Madurez Comercial	DR	Cu>P>Fe>Mg
	DB	Cu>P>Fe>Mg>N
	DM	Cu>Fe>Mg>Zn>P>N
	DA	Cu>Fe>P>N>Mg

Nota: DR: Dosis referencial, DB: Dosis bajas, DM: Dosis medias, DA: Dosis altas

En la Tabla 13 se expone el resultado del diagnóstico bajo el criterio de orden de requerimiento nutrimental (ORN) del cultivo. Los nutrimentos con mayor frecuencia de necesidad de aplicación entre los tratamientos son, según la etapa fenológica, manganeso para la fase de floración temprana, cobre y fósforo para desarrollo frutal, cobre y hierro para la fase de madurez comercial. Las soluciones con mayor cantidad de elementos a ser corregidos son la de dosis bajas para floración temprana y dosis medias tanto para desarrollo frutal como para madurez comercial (Tabla 13).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

Diagnóstico nutrimental

Floración temprana

En términos de IBNm (Tabla 14), se puede apreciar que plantas bajo la solución nutritiva de dosis altas del tratamiento 4 presenta el menor valor absoluto por sobre el resto de los tratamientos, por lo que la solución de dosis altas resulta ser la que más balance nutricional aporta a las plantas de tomate a los 40 días después del transplante, coincidiendo además con el análisis por rangos de suficiencia según los rangos propuestos por Jones (2012) y López (2017).

Aplicando el criterio de respuesta potencial a la aplicación de nutrientes (RPAN) sugerido por Wadt (1996) se compararon los valores de cada índice DRIS con el IBNm, determinándose la condición nutricional y las categorías RPAN a las que pertenece cada nutrimento. Como se observa en la Tabla 14, este criterio potencia el alcance del diagnóstico DRIS tradicional (Tabla 13) al categorizar los elementos e identificar precisamente la probabilidad de obtener respuesta favorable a su aplicación, permitiendo enmiendas nutricionales precisas más adecuadas.

Mientras que para el diagnóstico por orden de requerimiento nutrimental ORN (Tabla 13) plantas bajo el influjo de la solución de dosis bajas (la que más corrección elemental necesitan) requieren enmiendas para 6 elementos (Cu, Mn, P, Mg, Ca y N), la metodología de Wadt (1996) sugiere que únicamente deben incrementarse fertilizantes ricos en Cu, P y Mn en la misma, puesto que son los únicos nutrimentos con probabilidad de respuesta efectiva en la dinámica nutricional tras comparación del valor absoluto del índice versus el IBNm; los índices de Mg, Ca y N, si bien son negativos,

están en equilibrio y presentan probabilidad nula de respuesta a su aplicación, permitiendo al productor ahorrar cantidades innecesarias de fertilización y, a la postre, optimizar costos (Chacón, 2012, pp. 14-18).

Tabla 14

Categorización de nutrimentos de acuerdo con el criterio de Respuesta Potencial de Aplicación de Nutrientes (Wadt, 1996) para los tratamientos en etapa de floración temprana

Categoría RPN	Condición Nutricional				
	Deficiente y limitante <i>Positiva, muy probable</i>	Probablemente deficiente <i>Positiva, poco probable</i>	Equilibrado <i>Nula</i>	Exceso <i>Negativa, poco probable</i>	Exceso elevado <i>Negativa, muy probable</i>
Tratamiento 1	N	Mn	P, Mg, Ca, Zn, Cu	K	Fe
Tratamiento 2	Cu	P, Mn	N, Ca, Mg, Fe	K	Zn
Tratamiento 3	Mn	Ca, Mg	N, P, Cu	K, Fe	Zn
Tratamiento 4	Cu	Mn	Ca, Mg, P, N	Fe, K	Zn

Nota: Las soluciones nutritivas empleadas en los tratamientos 1, 2, 3 y 4 fueron, respectivamente, las de dosis referencial, bajas, medias y altas.

Tras observar los resultados expuestos en la Tabla 14 se concluye que los elementos deficientes y limitantes para una adecuada dinámica nutrimental fueron el nitrógeno en la solución de dosis referencial, cobre en dosis bajas y altas, y manganeso en dosis medias; de esta manera, se requieren ajustes de estos nutrimentos en las soluciones nutritivas, esperando una respuesta positiva muy probable (De la Torre, 2017, pp. 33-34).

En el caso de T1 se puede evidenciar expresiones de antagonismos, como el caso de que un exceso de hierro que ocasiona deficiencia de nitrógeno y manganeso (Rietra et al., 2017, p. 904). La evidente falta de nitrógeno en plantas con dosis referencial concuerda con el diagnóstico por rangos de suficiencia de Cadahia (2008) y se confirmó por análisis visual donde se aprecia clorosis generalizada y falta de brotes florales, con relación al resto de tratamientos. La actividad de las enzimas reductasas y la fitosiderofora, que constituye el principal medio de transporte de hierro en la planta puede explicar las interacciones antagónicas entre Fe y N reportada en plantas bajo T1; de igual manera, el antagonismo observado en T3 entre Mn y Zn (Rietra et al., 2017, p. 1904).

En el caso de la relación Mn/Fe, se observa en todos los tratamientos una relación inversamente proporcional entre los contenidos nutrimentales de estos elementos en el tejido foliar, lo cual concuerda por lo asegurado por Rietra et al. (2017) debido a que a nivel radicular comparten el mismo transportador de membrana celular (macrófago natural de resistencia asociada - NRAMP) y la actividad de la reductasa quelato-férrica (pp. 1904-1905).

Muchos estudios han demostrado que plantas de tomate bajo deficiencia de manganeso poseen problemas a nivel de metabolismo celular al no poder controlar eficientemente el exceso de formación de varios radicales oxidativos, y por ende sufren daño por oxidación, evidenciados como aparentes necrosis (Shenker et al., 2004, pp. 197-198).

Para T2 y T4 el cobre es el elemento deficiente y limitante a la par que el zinc está en franco exceso, lo cual se puede evidenciar de forma visual, lo que ocasiona la apariencia en folíolos de hojas en forma de cuchara, enrolladas hacia el interior del

limbo (Herogra, 2015) además de contrastar por lo afirmado por Rietra et al. (2017) que sugiere que esta relación Zn/Cu es compleja y variable dependiendo de la especie y el medio de cultivo (pp. 1902-1905).

El elemento propenso a exceso con mayor frecuencia en todos los tratamientos fue el potasio, concordando con Cadahia (2008) en el diagnóstico por rangos de suficiencia. Este hecho justifica la marcada deficiencia de nitrógeno, aunque esta queda más en evidencia en plantas con influjo de solución de dosis. Así pues, se desemboca en consecuencias como paredes celulares delgadas, tallos débiles y deficiente producción de biomasa, aun cuando el suministro de K sea sensiblemente elevado, según lo reportado en casos similares de tomate bajo fertirrigación (Hernández et al., 2009, pp. 73-77).

La relación crítica K:N a nivel foliar para esta etapa debe tener un ratio equivalente a 1:1 puesto que se favorece el crecimiento en esta etapa inicial. Según los datos obtenidos, el valor de las ratios de K:N en tejido de plantas irrigadas por las soluciones de dosis DR, DB, DM y DA, son respectivamente 1.48:1, 1.05:1, 1.03:1, 0.97:1. Se puede apreciar que los tratamientos más cercanos a este valor ideal son los que emplean soluciones diferente a la referencial; estos valores son deseables, puesto que ayudan a la planta a un mejor desarrollo de las estructuras vegetativas primarias, evidenciados por un mejor desarrollo vegetativo (McAvoy, 2012, p.24).

Otra relación de interés para el cultivo es K:Mg; el valor recomendado en todo el ciclo de cultivo de 2:1 con el fin de reducir los niveles de antagonismo que el primero ejerce sobre el segundo. Los valores de esta relación para los tratamientos con soluciones DR, DB, DM y DA, son respectivamente son 4.28:1, 4.91:1, 5.41:1, 4.4:1, siendo todos ellos superiores al valor constante referencial en esta etapa fenológica,

demostrando un exceso marcado de potasio sobre el magnesio, acentuando este nivel de antagonismo que desencadena deficiencias a nivel de síntesis de clorofila, nivel bajo de síntesis de proteína en tejido y metabolismo deficiente de fosfatos y nitrógeno (Jones, 2008, pp. 175-176; U. M. Sainju et al., 2003, pp. 178-179; Yara, 2020).

Se puede concluir entonces que los mejores valores de los ratios críticos para el cultivo de tomate riñón a los 40 días y el mejor índice de balance medio IBNm corresponden a la solución de dosis altas, empleada en T4; consecuentemente, se recomienda el uso de esta solución para esta fase inicial.

Tabla 15

Correcciones elementales sugeridas según el criterio de RPAN para las soluciones empleadas en fase de floración temprana

Corrección – Floración Temprana											
Solución	Elemento	Categoría RPAN	$ x = e^N$	N	Δ (N _o -N)	$ \Delta $	EXP(Δ) g/kg	MS kg/hilera	Corrección*		
									Cantidad	Unidad	
DR	N	a	7,865	2,062	0,621	0,621	1,861	9,84	18,315	g	
	Mn	b	4,969	1,603	0,162	0,162	1,176	9,84	11,572	mg	
DB	P	b	2,685	0,988	-0,465	0,465	1,592	9,84	15,668	g	
	Cu	a	9,033	2,201	0,748	0,748	2,113	9,84	20,792	mg	
	Mn	b	2,81	1,033	-0,419	0,419	1,521	9,84	14,968	mg	
DM	Ca	b	4,789	1,566	0,129	0,129	1,138	9,84	11,2	g	
	Mg	b	5,1	1,629	0,192	0,192	1,212	9,84	11,927	g	
	Mn	a	9,312	2,231	0,794	0,794	2,213	9,84	21,776	mg	
DA	Cu	a	7,722	2,044	0,613	0,613	1,846	9,84	18,16	mg	
	Mn	b	6,685	1,9	0,469	0,469	1,598	9,84	15,721	mg	

Nota: a: respuesta positiva, alta probabilidad; b: respuesta positiva, baja probabilidad.

*Dosis elemental a aplicar por semana, de acuerdo con la frecuencia de elaboración de las soluciones nutritivas en el estudio

Propuestas de corrección de soluciones nutritivas. Aplicando la metodología propuesta por De la Torre (2017) y empleando el modelo matemático propuesto por Núñez et al. (2012) en función de los días después del trasplante con un t=40 días, se obtiene el valor de materia seca teórica de 109,32 gramos de materia seca por planta; como cada tratamiento se compone de 90 plantas, se obtiene:

$$Ms(40) = 109,32 \text{ g/planta} * 90 = 9838,80 \text{ g}_{MS}/\text{hilera} = 9,84 \text{ kg}_{MS}/\text{hilera}$$

Este valor será multiplicado por el valor de la función exponencial de delta, obteniendo la cantidad de elemento con potencial de respuesta a aplicar en la solución nutritiva correspondiente, en las mismas condiciones en las que la operaria manejó el cultivo en esta primera fase; según lo ejecutado por De la Torre (2017) se espera que mejore el estado nutricional vegetal. Los resultados se muestran en la Tabla 15.

Desarrollo frutal

Las Tablas 7 y 8 reflejan que la solución de dosis bajas es la que determina los menores contenidos de macro y micronutrientes a nivel foliar en esta etapa fenológica, pero según los análisis DRIS presenta la mayor dinámica nutricional, mientras que los niveles más elevados de concentración de macronutrientes reportados corresponden a la solución de dosis referencial (Tabla 7), aunque no siempre una mayor concentración de nutrientes refleja un mejor desempeño global de los mismos a nivel fisiológico (Chacón, 2012, pp. 14-18).

Se pudo apreciar a nivel tisular el cambio de enfoque de fertilización respecto a la etapa de crecimiento vegetativo, ya que se presentan contenidos de potasio superiores a los ideales a nivel de hoja, orientado a mejorar los procesos de prendimiento y desarrollo frutal, en busca de optimizar el rendimiento por planta.

De acuerdo con el procedimiento del análisis DRIS por respuesta potencial a aplicación de nutrientes, la solución de dosis bajas es la que representa mejor balance nutricional en tejido (tratamiento 6) puesto que presenta el menor IBNm entre todas las soluciones para esta etapa fenológica, a pesar de que presenta el valor de índice DRIS más bajo para fósforo (Tabla 12) (Wadt, 1996). Se puede apreciar que en términos del índice IBNm la solución que mayor equilibrio nutricional aporta al cultivo en la etapa fenológica de desarrollo frutal es la de dosis bajas del tratamiento 6; en este sentido, se puede afirmar que, para esta etapa fenológica la solución de dosis bajas es la mejor, coincidiendo con la interpretación de diagnóstico por rangos de suficiencia según (Hochmuth y Maynard, 2007).

Tabla 16

Categorización de nutrimentos de acuerdo con el criterio de Respuesta Potencial de a la Aplicación de Nutrientes (Wadt, 1996) para los tratamientos en etapa de desarrollo frutal

Categoría RPAN Respuesta a aplicación	Condición Nutricional				
	Deficiente y limitante <i>Positiva, muy probable</i>	Probablemente deficiente <i>Positiva, poco probable</i>	Equilibrado <i>Nula</i>	Exceso <i>Negativa, poco probable</i>	Exceso elevado <i>Negativa, muy probable</i>
Tratamiento 5	Cu	Mn, P	Mg, Ca, N, Fe	K	Zn
Tratamiento 6	P	Cu	Mg, Fe, Ca, N	K, Mn	Zn
Tratamiento 7	Cu	P	N, K, Ca, Mg, Fe	Zn	Mn
Tratamiento 8	Cu	P	Mg, Fe, Ca, N, K	Mn	Zn

Nota: Las soluciones nutritivas empleadas en los tratamientos 5, 6, 7 y 8 fueron, respectivamente, las de dosis referencial, bajas, medias y altas

El diagnóstico DRIS tradicional (Tabla 13) evidencia que plantas bajo el influjo de la solución de dosis medias requieren enmiendas para 6 de los 9 elementos evaluados (Cu, P, Mg, Fe, Ca y N), lo cual es alarmante. Por otro lado, tras la categorización por RPAN desarrollada por Wadt (1996) expuesta en la Tabla 16 sugiere que únicamente adiciones de Cu y P representarán respuesta favorable a nivel de tejido vegetal, puesto que tras comparación del valor absoluto del índice de los índices DRIS frente al IBNm para Mg, Fe, Ca y N estos se encuentran en equilibrio, a pesar de tener valor negativo y presentando nula respuesta a nivel fisiológico.

Analizando los resultados expuestos en Tabla 16 se aprecia que los elementos con mayor requerimiento en todos los tratamientos son el cobre y el fósforo. T5 es el único tratamiento deficiente en manganeso, justificado por la no suministración de este elemento vía fertirrigación en el manejo agronómico, mostrando la mayoría de plantas clorosis intervenal en hojas jóvenes, a diferencia de la deficiencia de magnesio que presenta síntomas similares, pero en hojas viejas (Escobar y Lee, 2009, pp. 79-84; López, 2017, pp. 48-52).

Para los casos de los tratamientos de dosis bajas, medias y altas (T6, T7 y T8), se observan acusados excesos de manganeso, evidenciados visualmente por el apareamiento de manchas necróticas a nivel intervenal de folíolos de hojas jóvenes (Sainju et al., 2003, 178-182). En cambio, según el criterio tradicional de rangos de suficiencia los niveles de manganeso se reportan en balance y deficiencia para los tratamientos T7 y T8, respectivamente, lo que conllevaría a un diagnóstico erróneo según los criterios de López (2017) y Jones (2008).

Los excesos de zinc encontrados se justifican en gran manera dado que para el control fitosanitario de microorganismos se han empleado partículas de nano zinc con

aplicación periódica sobre el cultivo de diagnóstico, lo cual es una práctica novedosa que a la larga puede inducir a deficiencias de hierro (Herogra, 2015).

En esta fase, todos los tratamientos reportan desbalance relativo de fósforo frente al resto de nutrientes a nivel foliar, dado que la mayor parte del fósforo absorbido por plantas de tomate de alrededor de once semanas de edad se moviliza y localiza principalmente en los frutos, disminuyendo rápidamente su contenido a nivel de tallo y hojas nuevas, movilizándose a hojas bajas, donde se recomienda su muestreo para esta etapa, lo que justifica la baja presencia de este macronutriente en las hojas muestreadas (Besford, 1979, pp. 331-332).

Todas las soluciones presentan valores adecuados para el nitrógeno, puesto que en esta etapa fenológica no se requieren cantidades grandes de este elemento dado que el crecimiento vegetativo se ralentiza y la dinámica nutricional dentro de la planta se configura de manera que se favorezca la formación de flores y frutos, por ende, los requerimientos de fósforo y potasio se incrementan a la par que los contenidos de nitrógeno se ven diluidos a nivel savia.

Los niveles de fósforo en la mayoría de tratamientos es deficiente, según análisis DRIS, por lo que existe una mayor probabilidad de respuesta a este nutriente por parte del cultivo (Chacón, 2012, pp. 14-18). La baja concentración de fósforo foliar en esta etapa se justifica con el estudio realizado por Walworth y Sumner (1987), que encontraron que plantas de la familia de las solanáceas tienden a reducir el requerimiento y concentración foliar de nitrógeno, fósforo y potasio en el proceso de maduración, con lo cual la marcada deficiencia de nitrógeno en la fase inicial ha mermado (pp. 151-154).

Los resultados por DRIS muestran ser más precisos debido a que este método es capaz de hacer diagnósticos válidos independientemente de la edad del cultivo, a diferencia del criterio de rangos de suficiencia, pues estos son desarrollados en épocas de muestreo determinadas, de manera que las muestras analizadas no siempre corresponden a la misma edad fisiológica del cultivo en que estos rangos fueron desarrollados por los autores (Sumner, 2000, pp. 12-15).

Tras el análisis bajo el criterio de Wadt (1996) y como se puede apreciar en la Tabla 18, en los tratamientos los elementos más limitantes son el fósforo y el cobre, evidenciándose efectos en la planta de tomate, como enrollamiento interno de folíolos y pecíolos, coloración verde oscura y crecimiento lento, pudiendo incluso a afectar a los frutos en desarrollo, creciendo de forma imperfecta y pequeña (Jones, 2008, pp. 173-177).

El ratio ideal de K:N para esta etapa debe ser del orden del 1.5:1; para los tratamientos T5, T6, T7 y T8 los ratios son, respectivamente 1.05:1, 1.16:1, 1.13:1, 1.02:1, lo que evidencia que ninguna de las soluciones cumple con el parámetro, aunque dada la ventaja de fertilización por solución nutritiva se podría ajustar en términos de aplicación en campo (McAvoy, 2012, p. 24).

La relación K:Mg en tejido foliar para todas las soluciones ensayadas rondan el 6:1 y 7:1, lo cual no es deseable, puesto que excesos de potasio frente al magnesio pueden ocasionar su deficiencia, denotada por manchas amarillentas a nivel de nerviaciones secundarias de los folíolos a nivel de hojas medias (Jones, 2008, pp. 167-175).

En el caso de T6 el diagnóstico por DRIS concuerda perfectamente con el diagnóstico por RS con los rangos de López al detectar por ambas deficiencias de fósforo; para el cobre, sin embargo, no se encuentra una relación entre el diagnóstico por rangos de suficiencia, puesto que tanto este autor y Jones (2008) reportan balance perfecto de cobre, contrastando el diagnóstico DRIS.

Tabla 17

Correcciones elementales sugeridas según el criterio de RPAN para las soluciones empleadas en fase de desarrollo frutal

Corrección - Desarrollo Frutal										
Solución	Elemento	Categoría RPAN	$ lx = e^N$	N	Δ ($N_0 - N$)	$ \Delta $	EXP(Δ) g/kg	MS kg/hilera	Corrección	
									Cantidad	Unidad
DR	Cu	a	9,874	2,29	0,875	0,875	2,399	26,78	64,25	mg
	P	b	3,602	1,282	-0,133	0,133	1,142	26,78	30,595	g
	Mn	b	4,249	1,447	0,032	0,032	1,032	26,78	27,649	mg
DB	P	a	7,635	2,033	0,726	0,726	2,067	26,78	55,356	g
	Cu	b	6,277	1,837	0,53	0,53	1,699	26,78	45,509	mg
DM	Cu	a	6,508	1,873	0,508	0,508	1,662	26,78	44,521	mg
	P	b	6,134	1,814	0,449	0,449	1,567	26,78	41,963	g
DA	Cu	a	7,238	1,979	0,604	0,604	1,83	26,78	49,004	mg
	P	b	7,212	1,976	0,601	0,601	1,823	26,78	48,829	g

Nota: a: respuesta positiva, alta probabilidad; b: respuesta positiva, baja probabilidad.

*Dosis elemental a aplicar por semana, de acuerdo con la frecuencia de elaboración de las soluciones nutritivas manejada en el experimento

Propuestas de corrección de soluciones nutritivas. Para esta etapa, según lo propuesto por De la Torre (2017) y tras aplicar el modelo por Núñez et al. (2012) en función de los días después del trasplante con un $t = 80$ días, se obtiene el valor de

materia seca teórica de 297.56 gramos de materia seca por planta, obteniendo un total de materia seca por hilera de 26.78 kg/hilera.

$$Ms(80) = 297,56g * 90 = 26780,40 g_{MS}/hilera = 26.78 kg_{MS}/hilera$$

Tras el producto de este valor por el valor de la función exponencial delta, permite obtener las cantidades de elemento con potencial de respuesta a aplicar en la solución nutritiva correspondiente, en aras de mejorar el desbalance evidenciado, siempre y cuando se manejen en las mismas condiciones en las que la productora manejó durante esta segunda fase fenológica. Las cantidades de nutrimento con probabilidad de respuesta a su aplicación se muestran en la Tabla 17.

Madurez comercial

Basado en el criterio del IBNm que arroja el análisis DRIS (Tabla 12) se observa que el tratamiento que más balance aporta a nivel de tejido vegetal en esta etapa fenológica fue la solución de dosis referencial al poseer el valor más bajo de este índice global, sugiriendo un mejor balance nutrimental a nivel de tejido foliar en base seca, siendo el tratamiento que reporta los mejores ratios de K:N y K:Mg en esta etapa fenológica.

La mejor solución bajo el diagnóstico por rangos de suficiencia es de igual manera la de dosis referencial para dos de los tres autores; según este criterio todas las soluciones de los tratamientos están en balance perfecto para los nutrimentos calcio y magnesio, asegurando a priori una adecuada formación del fruto y actividad fotosintética adecuada, aspectos cruciales para la maduración adecuada del fruto, lo cual concuerda con el diagnóstico DRIS (Escobar y Lee, 2009, pp. 79-84; Jones, 2008, pp. 165-177; López, 2017, pp. 49-52). Existe un marcado exceso de manganeso a nivel

foliar en los tratamientos de dosis medias y altas según los rangos de Campbell (2013) y Haifa Group (2016).

La Tabla 18 refleja la clasificación de los índices DRIS de acuerdo con el criterio de respuesta potencial a la aplicación de nutrientes (RPAN) según el criterio de Wadt (1996) para esta etapa fenológica. En todos los tratamientos, los elementos más limitantes fueron el cobre y el hierro, mientras que se reportan niveles sumamente elevados de contenido de manganeso a nivel foliar.

Para esta etapa de control, mientras que bajo el criterio de orden de requerimiento nutrimental (ORN) las plantas bajo el influjo de la solución de dosis medias (la de mayor desbalance) responderían bien a aplicaciones de Cu, Fe, Mg, Zn, Py N, para el DRIS ajustado de Wadt (1996) únicamente habrá respuesta favorable y asimilación a nivel de tejido con aplicaciones de Cu y Fe, dado que tras comparar los valores absolutos de los índices DRIS frente al IBNm, el Mg, Zn, P y N están equilibrados y su aplicación no es significativa a pesar de tener valor negativo en términos de dinámica nutrimental.

Se reportan niveles muy elevados de manganeso a nivel foliar en los tratamientos T10, T11 y T12 respecto a los reportados en los rangos de suficiencia; este hecho pudo deberse a factores como prácticas de fertilización foliar periódicas complementarias dentro del manejo agronómico que se llevaron a cabo en las fases media y final por parte de la productora, acompañados por el hecho de que el sustrato de cascajo fino (piedra pómez + grava fina) ha estado sometido a humedad constante ha favorecido la liberación de minerales propios de él (Sainju et al., 2003, 178-182).

Tabla 18

Categorización de nutrimentos de acuerdo con el criterio de Respuesta Potencial de a la Aplicación de Nutrientes (Wadt, 1996) para los tratamientos en etapa de madurez comercial

Categoría RPAN	Condición Nutricional				
	Deficiente y limitante	Probablemente deficiente	Equilibrado	Exceso	Exceso elevado
Respuesta a aplicación	Positiva, muy probable	Positiva, poco probable	Nula	Negativa, poco probable	Negativa, muy probable
Tratamiento 9	Cu	-	N, P, Mg, Ca, Fe	Mn, Zn	K
Tratamiento 10	Cu	-	N, P, K, Ca, Fe, Zn	-	Mn
Tratamiento 11	Cu	Fe	N, P, K, Ca, Mg, Zn	-	Mn
Tratamiento 12	Cu	Fe	N, P, K, Ca, Mg, Zn	-	Mn

Nota: Las soluciones nutritivas empleadas en los tratamientos 9, 10, 11 y 12 fueron, respectivamente, las de dosis referencial, bajas, medias y altas

Este fenómeno coincide con una disminución de magnesio y potasio (Tabla 7) a nivel tisular, corroborando lo descrito por INTAGRI (2018) que tras estudios concluyeron que excesos de manganeso desembocan en la asimilación, transporte y utilización de magnesio, originando síntomas visuales expresados por secciones necróticas a nivel intervenal de hojas medias de las plantas de tomate influidas por las soluciones de dosis medias y altas, que se extienden sobre el limbo del foliolo hasta su sección periférica, resultado de la incapacidad celular de neutralizar efectos oxidativos perjudiciales (Shenker et al., 2004, pp. 197-199).

Según lo evidenciado visualmente y junto con el análisis DRIS, se puede confirmar que el elemento más limitante para la producción con el uso de estas

soluciones resultó ser el cobre, cuya deficiencia es rara en cultivos tradicionales en suelo, pero muy frecuente en producciones semihidropónicas e hidropónicas (Escobar y Lee, 2009), siendo el síntoma más evidente hojas con peciolo curvados hacia abajo, acompañado a necrosis junto a venas secundarias; esto puede justificarse debido a la aplicación excesiva de fertilizantes con base fosfórica en medios calcáreos, como lo es la piedra pómez constituyente del cascajo que impide y limita la disponibilidad del cobre a las raíces del tomate (Sainju et al., 2003, pp. 178-182).

Los niveles de fósforo, en comparación a los reportados en la fase de desarrollo frutal se han estabilizado, debido a que la fisiología vegetal del tomate cambia en la fase de madurez y cosecha, donde la demanda de este elemento y del nitrógeno cae abruptamente (Jones, 2008, pp. 165-177; López, 2017, pp. 49-52).

En el caso de T9 se puede apreciar un exceso relativo de potasio a nivel foliar, hecho que puede desembocar en una menor asimilación de magnesio por parte de la planta, promoviendo manchas amarillas en los folíolos de las hojas medias y el apareamiento de manchas necróticas entre venas secundarias, síntomas confirmados por diagnóstico visual (López, 2017, pp. 149-152; Sainju et al., 2003, pp. 178-180).

Normalmente, se recomienda una relación K:Mg de 2:1 para reducir los niveles de antagonismo de este par de nutrimentos en esta especie, pero en caso de T9 es de 6:1, lo que explica los síntomas detectados a nivel visual, pero que pueden confundirse visualmente con otras deficiencias elementales (Sainju et al., 2003, pp. 179-182). A diferencia de lo observado en la fase fenológica pasada, se ha solventado el problema de los excesos de zinc en los tratamientos.

El ratio ideal de K:N en etapa de madurez y cosecha debe ser del orden del 1.7:1; tras los análisis correspondientes, se observa que los tratamientos con soluciones DR, DB, DM y DA poseen, respectivamente, los siguientes ratios: 1.33:1, 1.19:1, 1.05:1 y 1.18:1. Se observa claramente que ninguno de los tratamientos cumple con esta proporción, pero el que más se acerca a este valor ideal es la solución referencial, correspondiente a T9, favoreciendo una mejor tasa de formación de frutos (McAvoy, 2012, p. 24); además, una relación N:K de 1:2.5 influye en una mejor acumulación de materia seca a nivel de fruto, siendo las plantas influidas por la dosis referencial el que más se acerca a este valor (Hernández et al., 2009, pp. 73-77).

Propuestas de corrección de soluciones nutritivas. Para esta etapa, según lo propuesto por De la Torre (2017) y tras aplicar el modelo por Núñez et al. (2012) en función de los días después del trasplante con un $t = 120$ días, se obtiene el valor de materia seca teórica de 297.56 gramos de materia seca por planta, obteniendo un total de materia seca por hilera de 52.30 kg/hilera. Los resultados de corrección se exponen en la Tabla 19.

$$M_S(120) = 581.155 * 90 = 52303,95 \text{ g}_{MS}/\text{hilera} = 52.30 \text{ kg}_{MS}/\text{hilera}$$

Resumen de costos de manejo nutricional por análisis foliares

Durante el desarrollo de cada etapa se realizaron tres muestreos a nivel foliar en laboratorio para la determinación de los contenidos de los nueve nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn) a nivel foliar en el cultivo semihidropónico de tomate riñón, siguiendo la metodología indicada por (Agrocalidad, 2015), que recomienda una toma de una muestra representativa del cultivo, tomando el 4to pecíolo bajo la yema apical antes del período de floración.

Tabla 19

Correcciones elementales sugeridas según el criterio de RPAN para las soluciones empleadas en fase de madurez comercial

Corrección - Madurez Comercial										
Solución	Elemento	Categoría RPAN	$ x = e^N$	N	Δ ($N_0 - N$)	$ \Delta $	EXP(Δ) g/kg	MS kg/hilera	Corrección	
									Cantidad	Unidad
DR	Cu	a	13,516	2,604	1,074	1,074	2,927	52,3	153,106	mg
DB	Cu	a	16,658	2,813	1,039	1,039	2,826	52,3	147,836	mg
DM	Cu	a	18,825	2,935	0,845	0,845	2,329	52,3	121,793	mg
	Fe	b	8,971	2,194	0,104	0,104	1,11	52,3	58,038	mg
DA	Cu	a	17,626	2,869	0,765	0,765	2,15	52,3	112,45	mg
	Fe	b	11,382	2,432	0,328	0,328	1,388	52,3	72,612	mg

Nota: a: respuesta positiva, alta probabilidad; b: respuesta positiva, baja probabilidad.

*Dosis elemental a aplicar por semana, de acuerdo con la frecuencia de elaboración de las soluciones nutritivas manejada en el experimento

Sin embargo, y como se ha demostrado en el presente estudio se recomienda tomar al menos tres muestras significativas en las etapas de desarrollo fenológico crítico en los días 40, 80 y 120 días después del trasplante, ya que son períodos donde la dinámica nutricional varía considerablemente en las cuales se pueden efectuar labores de corrección antes de que los excesos o deficiencias nutricionales sean tan graves que muestren síntomas de deficiencia a nivel visual (Cadahia, 2008, pp. 152-163; De la Torre, 2017, p. 51; Llanderal et al., 2018, pp. 480-482).

Los laboratorios a nivel nacional donde los productores recurren con mayor frecuencia para la realización de las determinaciones fisicoquímicas para obtener reportes de contenidos nutrimentales a nivel foliar son los del Instituto Nacional de

Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y los de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (AGROCALIDAD).

Tabla 20

Costos de análisis fisicoquímicos necesarios para un adecuado seguimiento nutricional por análisis foliar del cultivo de tomate riñón por hectárea

Determinación elemental	Costo directo	Costo indirecto	Total/Muestra	Muestras por ciclo	Repeticiones (Subparcelas)	Costo Total/Elemento
Fósforo	\$2,53	\$0,30	\$2,83	3	3	\$25,50
Nitrógeno	\$6,43	\$0,77	\$7,20	3	3	\$64,81
Potasio	\$4,34	\$0,52	\$4,86	3	3	\$43,75
Calcio	\$4,34	\$0,52	\$4,86	3	3	\$43,75
Magnesio	\$4,34	\$0,52	\$4,86	3	3	\$43,75
Cobre	\$4,23	\$0,51	\$4,74	3	3	\$42,64
Hierro	\$4,23	\$0,51	\$4,74	3	3	\$42,64
Manganeso	\$4,23	\$0,51	\$4,74	3	3	\$42,64
Zinc	\$4,23	\$0,51	\$4,74	3	3	\$42,64
Costo Total/Ciclo Productivo/Ha						\$392,11

A la presente fecha, la determinación de estos nutrientes en AGROCALIDAD tiene como mínimo los costos mostrados en la Tabla 20, representado una inversión mínima para cualquier productor la inversión de al menos \$392,11 para poder dar un efectivo seguimiento nutricional al cultivo mediante análisis foliar.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- En fase de floración temprana, plantas de tomate riñón var. Pietro bajo el influjo de la solución de dosis altas reportaron mayores contenidos de nutrientes a nivel foliar (N=4.15%, P=0.64% K=4.02%; Ca=2.28%, Mg=0.91, Fe=218.37 ppm, Mn=21.99 ppm) respecto al resto de soluciones empleadas para dicha fase.
- Para la etapa de desarrollo frutal, la mayor frecuencia de contenidos superiores de nutrimentos a nivel foliar se encontró en plantas bajo influjo de la solución de dosis referencial (N=3.88%, P=0.54%, K=4.09%, Ca=2.50%, Mg=0.69%, Fe=185.87 ppm, Zn=46.47 ppm) versus el resto de soluciones ensayadas.
- Plantas de tomate riñón en etapa de madurez comercial bajo el influjo de la solución de dosis altas reflejaron superiores contenidos de nutrientes a nivel de hoja (N=3.07%, P=0.38%, K=3.63%, Ca=3.44%, Mg=0.60%, Fe=72 ppm, Mn= 205 ppm, Cu=11 ppm) respecto al resto de soluciones evaluadas.
- En la fase de floración temprana, la solución de dosis altas reportó el mejor equilibrio nutricional a nivel de tejido foliar (IBNm=4.26) respecto a las soluciones referencial (IBNm=4.40), dosis bajas (IBNm=4.33) y dosis medias (IBNm=4.28).
- Para la fase de desarrollo frutal, el mejor equilibrio nutricional se encontró en plantas bajo influjo de la solución de dosis bajas (IBNm=3.694) frente a plantas sometidas a las dosis referencial (IBNm=4.116), dosis medias (IBNm=3.915) y dosis altas (IBNm=3.955).
- En fase de madurez comercial, se reportó mejor condición de equilibrio nutrimental en plantas bajo influjo de la solución referencial (IBNm=4.617) respecto a los

resultados obtenidos con uso de soluciones de dosis bajas (IBNm=5.89), dosis medias (IBNm=8.08) y dosis altas (8.199).

- Altos contenidos de nutrientes a nivel foliar no siempre reflejan un adecuado estado de balance nutricional en el organismo vegetal debido a su interacción interna en procesos fisiológicos.
- El costo final de análisis foliares para el correcto seguimiento del cultivo de tomate riñón var. Pietro en las etapas de floración temprana, desarrollo frutal y madurez comercial no es inferior a los \$390 por hectárea.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Para lograr un adecuado seguimiento del balance nutrimental en la producción semihidropónica de plantas de tomate riñón de la variedad Pietro conviene el uso de formulaciones minerales similares a las planteadas en el presente estudio según fase fenológica: dosis altas (ricas en nitrógeno, fósforo y micronutrientes como el hierro y manganeso) para la fase de floración temprana, dosis bajas para la fase de desarrollo frutal (bajas en nitrógeno y fósforo a favor de mayores contenidos de potasio) y dosis referenciales para la fase de cosecha (bajas en nitrógeno y fósforo, altas en potasio, calcio y magnesio).
- Es recomendable realizar un diagnóstico nutrimental en cada una de las tres fases más representativas del cultivo de tomate riñón en intervalos de tiempo de 40 días a partir del transplante en lugar del tradicional único muestreo recomendado durante la primera floración para un mejor seguimiento.
- Se recomienda sustituir los métodos tradicionales de diagnóstico mediante rangos de suficiencia por el uso del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación DRIS, dado que sus resultados muestran ser más precisos debido a su no dependencia de la edad del cultivo, a diferencia del criterio de rangos de suficiencia, que son desarrollados en épocas y lugares de muestreo determinados, de manera que las muestras analizadas no siempre corresponden a la misma edad fisiológica del cultivo en que estos rangos fueron desarrollados por los autores, reduciendo su efectividad.
- Se propone la ejecución de estudios de establecimiento de normas DRIS para el cultivo de tomate riñón en las condiciones de la serranía ecuatoriana que sirvan

como referencia para la ejecución de diagnósticos más precisos y correcciones más acertadas.

- Se recomienda que estudios posteriores apliquen las correcciones de fertilización propuestas mediante aplicación del diagnóstico DRIS a fin de corregir en tiempo real deficiencias y excesos nutricionales en sistemas de producción hidropónicos de tomate riñón.
- En la etapa de desarrollo frutal se recomienda, con fines de determinación correcta de contenido de fósforo, tomar muestras de hojas bajas opuestas a los sitios donde frutos han prendido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. (2016). *Evaluación del comportamiento agronómico de nuevos híbridos de tomate hortícola ("Lycopersicum esculentum"), bajo cubierta plástica* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato].
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/19038>
- Acquaye, D. (1964). Foliar analysis as a diagnostic technique in cocoa nutrition. I.- Sampling procedure and analytical methods. *Journal of the science of food and agriculture*, 15(12), 855-863. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.2740151208>
- Agrocalidad. (2015). Resolución Técnica N - 0105. Guía de buenas prácticas agrícolas para tomate riñón. *Inocuidad alimentaria*, 80. <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2016/07/guia-tomate-rinon-final.pdf>
- Alfonzo, H. (2017). *Establecimiento de una plantación hortícola* (pp. 1-32).
<https://www.slideshare.net/hazaelfonzo/establecimiento-de-una-plantacin-hortcola>
- Assis, M. (2004). DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. *Scientia Agricola*, 61(5), 237-256.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00103628609367711>
- Ausay Basantes, E. (2015). *Respuesta de tomate riñón Lycopersicum esculentum Mill) cv Dominic bajo invernadero a dos relaciones nitrato/amonio mediante fertiriego por goteo* [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/4264>
- Banerjee, J., Gantait, S., Sarkar, S., y Bhattacharyya, P. K. (2018). Transgenic Research on Tomato: Problems, Strategies, and Achievements. En *Biotechnologies of Crop Improvement, Volume 2* (pp. 287-334). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-90650-8_12
- Beaufils, E. R., y Sumner, M. E. (1976). Application of the Dris Approach for Calibrating Soil and Plant Their Yield Sugarcane Effects. *Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association, June*. https://www.sasta.co.za/wp-content/uploads/Proceedings/1970s/1976_Beaufils_Application_Of_The_Dris.pdf
- Besford, R. (1979). Uptake and distribution of phosphorus in tomato plants. *Plant and soil*, 5(3), 331-340. <https://www.jstor.org/stable/42933669>
- Beverly, R. B., Sumner, M. E., Letsch, W. S., y Plank, C. O. (1986). Foliar diagnosis of soybean by dris. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 17(3), 237-256. <https://doi.org/10.1080/00103628609367711>
- Broeshart, H. (1964). *The application of foliar analysis in oil palm cultivation* [Archivo PDF]. (p. 9). <https://edepot.wur.nl/177088>
- Cadahia, C. (1998). *Fertirrigación: Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. (Segunda). Mundi-Prensa.
- Cadahia, C. (2008). *La savia como índice de fertilización en cultivos agroenergéticos, hortícolas, frutales y ornamentales*. Mundi-Prensa.
- Caguana, M. (2003). *El cultivo de tomate riñón en invernadero* (pp. 9-10).

- https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/yhttpsredir=1yarticle=1366ycontext=abya_yala
- Campbell, C. R. (2013). *Reference sufficiency range sfor plant análisis in the southern region on the United States*. <https://ag.tennessee.edu/spp/Documents/scsb394.pdf>
- Caron, J., y Parent, L. E. (1989). Derivation and Assessment of Dris Norms for Greenhouse Tomatoes. *Canadian Journal of Plant Science*, 69(3), 1027-1035. <https://doi.org/10.4141/cjps89-124>
- Carvajal, J. F. (1978). El diagnóstico del estado de nutrición de los cultivos. *Agronomía costarricense*, 2(2), 175-183. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v02n02_175.pdf
- Chacón, E. (2012). *Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación (DRIS) para el cultivo de caucho (Hevea brasiliensis) en la altillanura colombiana*. Universidad Nacional de Colombia.
- Correndo, A., y García, F. (2016). Métodos De Diagnóstico Nutricional En Cultivos Extensivos En Argentina. *Xxiv Congreso Aapresid*, 17. <https://2016.congresoaaapresid.org.ar/wp-content/uploads/2017/07/Garcia-Fernando-acta.pdf%0Ahttp://congresoaaapresid.org.ar/wp-content/uploads/2016/08/Garcia-Fernando-acta.pdf>
- De la Torre, R. D. (2017). *Aplicación de las normas DRIS para el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum) bajo invernadero en la parroquia Píntag, Pichincha* [Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14519>
- Di Rienzo, J. A., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., y Robledo, C. W. (2018). *INFOSTAT*. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=pageyid=46>
- El Rheem, A., Essa, E., y Mahdy, A. (2015). Preliminary DRIS Norms for Evaluating the Nutritional Status for Tomato Crop. *Advance in Agriculture and Biology*, 4(1), 50-53. <https://doi.org/10.15192/PSCP.AAB.2015.4.1.5053>
- Escobar, H., y Lee, R. (2009). *Manual de producción de tomate bajo invernadero* (pp. 13-61). https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-manual_produccion_de_tomate_-_pag.-_web-11-15.pdf
- Fernández-Escobar, R., Parra, M. A., Navarro, C., y Arquero, O. (2009). Foliar diagnosis as a guide to olive fertilization. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(1), 212. <https://doi.org/10.5424/sjar/2009071-413>
- Fertilab. (s. f.). *Manual de muestreo* (pp. 9-21). <https://www.fertilab.com.mx/new/files/Manual-de-Muestreo-4ta-Edicion.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *FAOSTAT: Producción mundial de cultivos*.
- Google. (s. f.). *IASA Map*. <https://www.google.com/maps/place/IASA/@-0.3853425,-78.4169383,732m/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1siasa+mapa!3m4!1s0x91d5bbbd8644851b:0xc6c8b2bb6c026969!8m2!3d-0.3856423!4d-78.4164022>

- Haifa Group. (2016). *Crop guide: tomato plant nutrition*. <https://www.haifa-group.com/crop-guide/vegetables/tomato/crop-guide-tomato-plant-nutrition>
- Hernández, M., Chailloux, M., Moreno, V., Mojena, M., y Salgado, J. (2009). Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. *Cultivos tropicales*, 30(4), 71-78. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193221673014.pdf>
- Herogra. (2015). *El Zinc, esencial para los cultivos, esencial para la vida*. <https://herogra.es/2015/01/05/el-zinc-esencial-para-los-cultivos-esencial-para-la-vida/>
- Hochmuth, G. J., y Maynard, D. N. (2007). *Tomato Nutrient Sufficiency Ranges*. http://www.omafra.gov.on.ca/IPM/english/soil-diagnostics/tomato_cns_ranges.html
- Infoagro. (2017). *El cultivo de tomate (Parte I)*. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate__parte_i_.asp
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2009). *Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del callejón interandino. Boletín Técnico No. 127, INIAP. INIAP.*
- Jones, J. (2008). *Tomato plant culture* (Segunda). CRC Press Taylor y Francis Group.
- Jones, J. (2012). *Plant nutrition and soil fertility manual* (Segunda). CRC Press Taylor y Francis Group.
- Kurihara, C. H., y Silva, C. J. da. (2015). Diagnostic leaf to evaluate the nutritional status of *Jatropha*. *Revista Ceres*, 62(6), 607-613. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562060014>
- Lacerda, M., Freitas, K., y da Silva, J. (2009). Determining forage dry matter using microwave oven and conventional method. *Bioscience Journal*, 25(3), 185-190. https://www.researchgate.net/publication/289829981_Determining_forage_dry_matter_using_microwave_oven_and_conventional_method
- Lana, R. M. Q., Oliveira, S. A. de, Lana, Â. M. Q., y Faria, M. V. de. (2010). Levantamento do estado nutricional de plantas de *coffea arabica* L. pelo dris, na região do Alto Paranaíba - Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(4), 1147-1156. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400014>
- Landriscini, M. R., y Galantini, J. (2009). Aplicación de la metodología DRIS al cultivo de trigo en la región semiárida pampeana. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 12. https://www.researchgate.net/publication/280079326_DRIS_y_analisis_foliar
- Landriscini, M. R., Galantini, J. A., y Rosell, R. A. (1997). Determinación de normas para la aplicación del sistema DRIS en cultivo de trigo de la región semiárida bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 15(1), 17-21.
- Leos, L. (2004). *Diagnóstico nutrimental del sistema de producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Arteaga, Coahuila y Galeana, Nuevo León para derivar recomendaciones de fertilización* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].

[http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3593/T15480_LEOS_ESCOBEDO, LUCIO TESIS.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3593/T15480_LEOS_ESCOBEDO_LUCIO_TESIS.pdf?sequence=1)

- Llanderal, A., Lao, M. T., Contreras, J. I., y Segura, M. L. (2018). Diagnosis and recommendation integrated system norms and sufficiency ranges for tomato greenhouse in mediterranean climate. *HortScience*, 53(4), 479-482. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12718-17>
- López-Montoya, J., Fernández-Paz, J. A., Vásquez, H. D., y Menjivar-Flores, J. C. (2018). Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) para piña (*Ananas comosus*), variedad Oro Miel (MD-2). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 319-328. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7387>
- López, L. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum lycopersicum)* (pp. 48-52). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Lozano, F. C., y Huynh, K. D. (1989). Foliar diagnosis of sugar maple decline by DRIS. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20(17-18), 1895-1914. <https://doi.org/10.1080/00103628909368191>
- Maldonado, R. T., Almaguer, G. V., y S, M. E. Á. S. E. R. (2008). *FERTILIZACIÓN PARA LIMÓN PERSA Nutritional Diagnosis and Validation of the Fertilization Dosage for 'Persian' Limes*. 1-9.
- Mata-Vázquez, H., Anguiano, R., Vázquez-García, E., Gazano-Izquierdo, J., González-Flores, D., Ramírez-Meraz, M., Padrón-Torres, E., Basanta-Cornide, R., García-Delgado, M. A., y Cervantes-Martínez, J. (2010). (2010). Producción de tomate: Sistema hidropónico con solución nutritiva reciclable en sustrato de tezontle. *Ciencia UAT*, 4(4), 50-54. *Ciencia UAT*, 4(4), 50-54. <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942920009.pdf>
- McAvoy, R. (2012). *Growing greenhouse tomatoes for optimum yield and quality* (pp. 23-24). https://newenglandvfc.org/sites/newenglandvfc.org/files/content/proceedings2015/pops/GHContainerGrowing/1_Mcavoy.pdf
- Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (2019). *Cifras agroproductivas agosto 2019*. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/agroclis-2019/agroclis-agosto>
- Molina, E. (2015). *Preparación de soluciones nutritivas para fertirriego*. (pp. 11-16). http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/PREPARACION_FERTILIZANTES_PARA_FERTIRRIEGO_2018.pdf
- Núñez-Ramírez, F., Grijalva-Contreras, R. L., Macías-Duarte, R., Robles-Contreras, F., y Ceceña-Duran, C. (2012). Crecimiento, Acumulación Y Distribución De Materia Seca En Tomate De Invernadero. *BIOtecnia*, 14(3), 25. <https://doi.org/10.18633/bt.v14i3.169>
- Parent, L. E., Karam, A., y Visser, S. A. (1993). Compositional nutrient diagnosis of the greenhouse tomato. *HortScience*, 28(10), 1041-1042. <https://doi.org/10.21273/hortsci.28.10.1041>
- Passam, H., Karapanos, B., Karapanos, I., y Savvas, D. (2007). A review of recent

- research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1(1), 1-21.
https://www.researchgate.net/publication/228652895_A_review_of_recent_research_on_tomato_nutrition_breeding_and_post-harvest_technology_with_refrence_to_fruit_quality
- Pérez, J., Hurtado, G., Aparicio, V., Argueta, Q., y Larín, M. (2013). *Guía técnica del cultivo de tomate* (pp. 8-13). [http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia Tomate.pdf](http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia_Tomate.pdf)
- Petruzello, D. (2018). *Tomato*. Tomato. <https://www.britannica.com/plant/tomato>
- Ramos, F., García, A., Otilio, M., Aguilar, J., y Fuantos, J. (2017). *Diagnostica el estado nutrimental de tus cultivos*. <https://www.hortalizas.com/cultivos/diagnostica-el-estado-nutrimental-de-tus-cultivos/>
- Real Academia Española. (2019). *Hidroponía*. <https://dle.rae.es/srv/search?m=30yw=hidroponía>
- Rietra, R. P. J. J., Heinen, M., Dimkpa, C. O., y Bindraban, P. S. (2017). Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(16), 1895-1920. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>
- Sainju, U. M., Dris, R., y Singh, B. (2003). Mineral nutrition of tomato. *Food, Agriculture y Environment*, 1(2), 176-184.
https://www.researchgate.net/profile/Upendra_Sainju/publication/228960277_Mineral_nutrition_of_tomato/links/09e41512412ac2031e000000/Mineral-nutrition-of-tomato.pdf?origin=publication_detail
- Salguero, L. (2016). *Evaluación de cuatro híbridos de tomate riñón (Lycopersicon esculentum) con dos densidades de plantación* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. [http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27066/1/Tesis-185 Ingeniería Agronómica -CD 546.pdf](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27066/1/Tesis-185%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20CD%20546.pdf)
- Santamaría, K. (2009). *Producción de tomate riñón (Lycopersicum esculentum Mill.) utilizando plántulas injertadas en palo bobo (Nicotiana glauca Graham.) como inductor de resistencia a nemátodos* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29141>
- Santos, B., y Domingo, C. (2016). *Cálculo de Soluciones Nutritivas En suelo y sin suelo*. http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf
- Schutz, C. J., y de Villiers, J. M. (1987). 6. Foliar Diagnosis and Fertiliser Prescription in Forestry—The DRIS System and its Potential. *South African Forestry Journal*, 141(1), 6-12. <https://doi.org/10.1080/00382167.1987.9630254>
- Scucuglia, C. L., y Creste, J. E. (2014). Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) of tomato in greenhouse. *Horticultura Brasileira*, 32(2), 200-204. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362014000200014>

- Serra, A. P., Marchetti, M. E., Ensinas, S. C., Morais, H. S. de, Conrad, V. do A., Guimarães, F. C. N., y Barbosa, G. P. de O. (2014). Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) to Assess the Nutritional State of Cotton Crop in Brazil. *American Journal of Plant Sciences*, 05(04), 508-516. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.54065>
- Shedley, E., Dell, B., y Grove, T. (1995). Diagnosis of nitrogen deficiency and toxicity of Eucalyptus globulus seedlings by foliar analysis. *Plant and Soil*, 177(2), 183-189. <https://doi.org/10.1007/BF00010124>
- Shenker, M., Plessner, O. E., y Tel-Or, E. (2004). Manganese nutrition effects on tomato growth, chlorophyll concentration, and superoxide dismutase activity. *Journal of Plant Physiology*, 161(2), 197-202. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00931>
- Sumner, M. E. (1977). Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8(3), 251-268. <https://doi.org/10.1080/00103627709366718>
- Sumner, M. E. (2000). *Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos* (pp. 10-14). [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/2549DCC5177210A303257967007E015C/\\$FILE/AA_5.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/2549DCC5177210A303257967007E015C/$FILE/AA_5.pdf)
- Talavera, M., Salmerón, T., Flor-Peregrín, E., Vela, M. (2014). (2014). *Manejo integrado de nemátodos fitoparásitos en cultivos hortícolas* (pp. 1-4). https://www.researchgate.net/publication/322386867_Manejo_integrado_de_nematodos_fitoparasitos_en_cultivos_horticolos
- Wadt, P. (1996). *Os métodos da chance matemática e do Sistema, Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto*. Universidade Federal de Viçosa.
- Wadt, P. G. S. (2005). Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 29(2), 227-234. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832005000200008>
- Walworth, J. L., y Sumner, M. E. (1987). *The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)*. 6, 149-188. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4682-4_4
- Yara. (2020). *Crop nutrition: Tomato*. <https://www.yara.us/crop-nutrition/tomato/nutrient-deficiencies/magnesium-deficiency-tomato/>
- Zas Arregui, R. (2003). Interpretación de las concentraciones foliares en nutrientes en plantaciones jóvenes de Pinus radiata D. Don en tierras agrarias en Galicia. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 12(2), 3-11. <https://doi.org/10.5424/796>