



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Evaluación de las deficiencias de macro y micro elementos en chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) variedad INIAP - Fabulosa, en hidroponía bajo invernadero

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de
Ingeniero Químico

Autor:

María Fernanda Loaiza Loayza CI: 07-06443967

Correo Electrónico: nanda.loaiza@hotmail.es

Directora:

Ing. Sonia Margoth Astudillo Ochoa

CI: 01-04044474

Cuenca - Ecuador

19-febrero-2020



Resumen

En el presente proyecto de investigación se evaluó las deficiencias de macro y microelementos en plantas de chirimoya bajo invernadero, mediante la metodología de Sarruge (1974) para el elemento faltante; se emplearon injertos con el clon INIAP-Fabulosa 2015 de un año, las cuales fueron trasplantadas, podadas y posteriormente regadas con la solución completa, asegurando de esta manera el desarrollo inicial correcto. Se aplicaron 12 tratamientos distintos (Completo, -N, -P, -K, -Ca, -Mg, -S, -B, -Fe, -Mn, -Zn, y un testigo a base de agua) con tres repeticiones cada uno. Semanalmente se evaluaron variables como: tamaño de la hoja (ecuatorial y polar), color de las hojas, distancia de entrenudos, diámetro del tallo, altura de la planta, nivel de clorofila (SPAD), temperatura (máxima y mínima) y un análisis visual de las deficiencias, lo que permitió conocer la sintomatología de cada planta cuando en ella hay carencia del elemento correspondiente a cada tratamiento, asimismo, se realizó un muestreo mensual del sustrato de cada planta para conocer, mediante análisis químicos, el valor de pH y conductividad eléctrica en dicho sustrato, que, en este caso es pomina. Posteriormente, a los 90 días después de la aplicación de la solución correspondiente a cada tratamiento, se hicieron los análisis foliares para la determinación de extracción de nutrientes, mediante el método semimicro-kjeldahl para nitrógeno y digestión húmeda para los elementos restantes, además de la medición de área foliar y la determinación de biomasa de la parte aérea y radical de la planta. Los tratamientos con omisión de Zn, Ca, N, B y Mg son los que presentaron mayores problemas en el desarrollo de la planta; en las variables que se acentuaron mejor las deficiencias nutricionales fue en clorofila y raíces.

Palabras clave: Elementos esenciales. Elemento faltante. Solución nutritiva. Sintomatología



Abstract

In the present research project the deficiencies of macro and micro elements in cherimoya plants under greenhouse, using the methodology of Sarruge (1974) for the missing element; injectors were used with the one-year-old INIAP-Fabulous 2015 clone, which were transplanted, pruned and subsequently irrigated with the complete solution, thus ensuring the correct initial development. Twelve different treatments were applied (Complete, -N, -P, -K, -Ca, -Mg, -S, -B, -Fe, -Mn, -Zn, and a water-based control) with three repetitions each one. Variables such as: leaf size (equatorial and polar), leaf color, internode distance, stem diameter, plant height, chlorophyll level (SPAD), temperature (maximum and minimum) and a visual analysis of the deficiencies, which allowed to know the symptomatology of each plant when there is a lack of the element corresponding to each treatment, specifically, a monthly sample of the substrate of each plant was performed to know, by chemical analysis, the pH value and electrical conductivity in the mentioned substrate, which, in this case is pomina. Subsequently, 90 days after the application of the solution corresponding to each treatment, foliar analyzes were performed for the determination of nutrient extraction, using the semi-micro-kjeldahl method for nitrogen and wet digestion for the remaining elements, in addition to the measurement of leaf area and the determination of biomass of the aerial and radical part of the plant. The treatments with omission of Zn, Ca, N, B and Mg are those that have major problems in the development of the plant; in the variables that were best accentuated the nutritional deficiencies was in chlorophyll and roots.

Keywords: Essential elements. Missing element. Nutritive solution. Symptomatology



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN 2

ABSTRACT3

ÍNDICE DE TABLAS 8

ÍNDICE DE GRÁFICOS 12

NOMENCLATURA 15

DEDICATORIA19

AGRADECIMIENTOS.....20

1. INTRODUCCIÓN 21

2. CONTENIDO TEÓRICO..... 23

 2.1. EL SUELO 23

 2.1.1. Fases del suelo 23

 2.1.2. Características físicas del suelo 24

 2.1.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo 25

 2.2. EL CULTIVO DE CHIRIMOYA 29

 2.2.1. Origen 29

 2.2.2. Zonas de cultivo 29

 2.2.3. Taxonomía 30

 2.2.4. Descripción botánica..... 31

 2.2.5. Requerimientos del cultivo 34

 2.3. NUTRICIÓN 36

 2.3.1. Elementos esenciales 36

 2.3.2. Fisiología nutricional 37

 2.3.3. Soluciones nutritivas 38

 2.3.4. Fertilizantes..... 40



2.4. FORMA DE ABSORCIÓN Y DEFICIENCIAS EN PLANTAS DE CHIRIMOYA	42
2.4.1. Macroelementos primarios	42
2.4.2. Macroelementos secundarios.....	43
2.4.3. Microelementos	45
2.5. TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE	46
2.5.1. Sintomatología visual	46
2.6. CULTIVO HIDROPÓNICO.....	47
2.6.1. Sustratos.....	48
3. METODOLOGÍA.....	51
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	51
3.1.1. Ubicación	51
3.1.2. Características climáticas.....	51
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	52
3.3. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES.....	53
3.3.1. Soluciones nutritivas.....	53
3.4. MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	55
3.4.1. Preparación del sustrato	55
3.4.2. Trasplante.....	57
3.4.3. Manejo del experimento en la primera etapa.....	58
3.4.4. Manejo del experimento en la segunda etapa	61
3.5. FACTOR EN ESTUDIO.....	62
3.5.1. Tratamientos	62
3.5.2. Características del experimento	63
3.5.3. Diseño experimental	63
3.5.4. Variables y métodos de evaluación	63
3.5.5. Análisis estadístico	65



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.1. PRUEBA DE NORMALIDAD	68
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES	69
4.2.1. Altura total de la planta (cm)	69
4.2.2. Altura medida desde el tallo (cm).....	71
4.2.3. Altura raíz (cm).....	73
4.2.4. Diámetro del tallo (mm)	74
4.2.5. Clorofila (SPAD)	76
4.2.6. Tamaño de las hojas (cm)	77
4.2.6.1. Ancho de la hoja (cm).....	77
4.2.6.2. Largo de hoja (cm)	79
4.2.7. Distancia de entrenudos (cm)	82
4.2.8. Biomasa (g).....	83
4.2.9. Área foliar (cm ²)	85
4.2.10. Color.....	86
4.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN.....	87
4.4. DEFICIENCIAS VISUALES	88
4.4.1. Deficiencias nutricionales en hojas.....	88
4.4.2. Deficiencias nutricionales en raíces.....	97
4.5. ANÁLISIS QUÍMICOS.....	101
4.5.1. pH.....	101
4.5.2. Conductividad eléctrica	102
4.6. ANÁLISIS FOLIARES	102
4.6.1. Macronutrientes (%)	102
4.6.2. Micronutrientes (ppm)	104
5. CONCLUSIONES	109
6. RECOMENDACIONES	111



7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIA	112
8. ANEXOS.....	117
8.1. Capacidad de campo del sustrato	117
8.2. Trasplante.....	117
8.3. Preparación de las soluciones.....	118
8.4. Muestreo.....	118
8.5. Preparación de la muestra	118
8.6. Determinación de pH y conductividad eléctrica	119
8.7. Aplicación de Dormex a la yema de las plantas	119
8.8. Plantas con deficiencia de potasio.....	120
8.9. Plantas con deficiencia de magnesio.....	120
8.10. Plantas con deficiencia de fósforo	120
8.12. Preparación de soluciones	121



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del suelo derivadas de su pH..... 26

Tabla 2. Comportamiento de los nutrientes en el suelo en función del valor del pH..... 27

Tabla 3. Clasificación taxonómica de la chirimoya..... 30

Tabla 4. Composición nutricional de la chirimoya de acuerdo a cuatro criterios distintos 33

Tabla 5. Características de los suelos salinos y/o sódicos 36

Tabla 6. Forma de absorción de los elementos esenciales en la planta 37

Tabla 7. Movilidad de los elementos dentro de las plantas 38

Tabla 8. Abonos nitrogenados importantes 40

Tabla 9. Abonos con contenido de azufre..... 41

Tabla 10. Ventajas y desventajas de un cultivo en suelo vs un cultivo hidropónico..... 47

Tabla 11. Características de los sustratos naturales y artificiales 49

Tabla 12. Principales propiedades físicas de los sustratos..... 50

Tabla 13. Denominación de los sustratos 50

Tabla 14. Ubicación geográfica del experimento 51

Tabla 15. Características climáticas del invernadero..... 52

Tabla 16. Materiales usados en el invernadero y laboratorio para la investigación del elemento faltante..... 52

Tabla 17. Material biológico y reactivos químicos para la investigación del elemento faltante 53

Tabla 18. Alícuotas para la solución nutritiva completa 54

Tabla 19. Determinación de la capacidad de campo 55

Tabla 20. Determinación de la capacidad de campo bajo límites..... 56

Tabla 21. Brotación de cada uno de los tratamientos después de la aplicación de Dormex al 5 % 61

Tabla 22. Descripción de los tratamientos..... 62

Tabla 23. Unidades experimentales 63

Tabla 24. Esquema de análisis de varianza..... 63

Tabla 25. Variables y métodos de evaluación en las deficiencias de macro y microelementos en plantas de chirimoya..... 64

Tabla 26. Entrada de datos en InfoStat para cada una de las variables 65



Tabla 27. Pruebas estadísticas para las variables evaluadas en la evaluación de deficiencias nutritivas 66

Tabla 28. Prueba de normalidad de Shapiro Wilks para las variables altura total y altura raíz, en la evaluación de deficiencias nutricionales de chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA 2019 68

Tabla 29. Prueba de normalidad de Shapiro Wilks para las variables altura tallo y diámetro tallo, en la evaluación de deficiencias nutricionales de chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA 2019 68

Tabla 30. Prueba de normalidad de Shapiro Wilks para la variable biomasa, en la evaluación de deficiencias nutricionales de chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA 2019. 69

Tabla 31. Altura inicial y final de la planta en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019..... 69

Tabla 32. Tasa de crecimiento para altura de la planta a los 154 días después del trasplante (154 ddt), en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019 70

Tabla 33. Análisis de varianza para altura de la planta a los 154 días después del trasplante (154 ddt), en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019 70

Tabla 34. Medias estadísticas para la variable altura de la planta (tallo), en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019 71

Tabla 35. Tasa de crecimiento para la variable altura de la planta (tallo), en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019 72

Tabla 36. Análisis de varianza para altura de la planta (tallo), en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019..... 72

Tabla 37. Tasa de crecimiento para altura de la raíz, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019..... 73

Tabla 38. Análisis de varianza para altura de la raíz, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019..... 74

Tabla 39. Prueba de Kruskal Wallis para diámetro del tallo, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019..... 75

Tabla 40. Tasa de crecimiento para diámetro del tallo, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019..... 75



Tabla 41. Medias estadísticas para clorofila, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019..... 76

Tabla 42. Análisis de varianza para clorofila, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019..... 77

Tabla 43. Prueba de Kruskal Wallis al 5 % para la variable tamaño de hoja, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019 78

Tabla 44. Tasa de crecimiento para la variable tamaño de hoja, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019..... 79

Tabla 45. Análisis de varianza para la variable tamaño de hoja, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019..... 79

Tabla 46. Prueba de Kruskal Wallis al 5 % para la variable tamaño de hoja, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019 80

Tabla 47. Tasa de crecimiento para la variable tamaño de hoja, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019..... 81

Tabla 48. Análisis de varianza para la distancia de entrenudos, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019..... 82

Tabla 49. Tasa de crecimiento para la variable distancia de entrenudos, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019 83

Tabla 50. Análisis de varianza para biomasa, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019..... 84

Tabla 51. Prueba de Bonferroni al 5 % y LSD Fisher en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019..... 84

Tabla 52. Análisis de varianza para área foliar, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019..... 85

Tabla 53. Prueba de Bonferroni al 5 % para la variable área foliar, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019..... 85

Tabla 54. Prueba de Kruskal Walis al 5 % para la variable colores en plantas, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019 87

Tabla 55. Coeficiente de correlación de Pearson entre diferentes variables 88



Tabla 56. pH en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA 2019	101
Tabla 57. Conductividad eléctrica en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA 2019	102
Tabla 58. Macronutrientes en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA 2019.....	103
Tabla 59. Micronutrientes en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA 2019.....	105
Tabla 60. Resumen de las principales deficiencias de acuerdo al elemento en plantas de chirimoya	106
Tabla 61. Peso de cada compuesto para la preparación de la solución madre para macronutrientes.....	123
Tabla 62. Peso de cada compuesto para la preparación de la solución madre para micronutrientes	124
Tabla 63. mg L ⁻¹ aportados por cada elemento para cada una de las soluciones.....	125



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Influencia del pH del suelo en la disponibilidad de elementos nutrientes en suelos minerales y orgánicos. El grosor de las áreas sombreadas indica el grado de disponibilidad de nutrientes para la raíz vegetal.....	28
Gráfico 2. Ubicación geográfica del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias en el Austro.....	51
Gráfico 3. Esquema de rotación inicial en el invernadero.....	59
Gráfico 4. Esquema de rotación en el invernadero.....	60
Gráfico 5. Encartuchamiento presentado en los tratamientos con omisión de K, Mg, N, B y Fe.	89
Gráfico 6. Defoliación presentada en los tratamientos con omisión de Ca, N, K, y Mg	89
Gráfico 7. Amarillamiento en omisión de Ca, S, Fe, Zn, K, N, P, Mn, Mg, B y testigo	90
Gráfico 8. Amarillamiento total en tratamientos con omisión de K, Ca, Mg, Fe, N y testigo	91
Gráfico 9. Mancha presentada en los tratamientos en omisión de N, Zn, Ca, Fe, B y testigo	92
Gráfico 10. Necrosis en los bordes de los tratamientos en omisión de N, Zn, P, S, B y testigo.....	92
Gráfico 11. Necrosis en el ápice presentado en los tratamientos en omisión de Mn, B, P, Mg, Fe y testigo	93
Gráfico 12. Orificios presentados en el tratamiento con omisión de Zn comparado con el tratamiento completo Fig. a).....	94
Gráfico 13. Hinchazón entre nervadura en el tratamiento con omisión de Ca comparado con el tratamiento completo Fig. a)	94
Gráfico 14. Puntos negros presentados en los tratamientos con omisión de K, Mg, N, y Ca.....	94
Gráfico 15. Poca vegetación presentada en los tratamientos con omisión de B, N y Fe	95
Gráfico 16. Engrosamiento presentado en los tratamientos con omisión de Mn, Ca, P y K	96
Gráfico 17. Clorosis en el ápice en el tratamiento testigo comparado con el tratamiento completo Fig. a)	96
Gráfico 18. Manchas rojas en los tratamientos con omisión de Ca, N y Mg	97



Gráfico 19. 1-2. Síntomas de deficiencias en plantas de chirimoya en carencia de: 1B) nitrógeno 1C) fósforo 2A) potasio 2B) calcio 2C) magnesio, comparado con el tratamiento completo Fig 1A. 99

Gráfico 20. 3-4. Síntomas de deficiencias en plantas de chirimoya en carencia de: 3A) azufre 3B) boro 3C) hierro 4A) manganeso 4B) zinc 4C) testigo, comparado con el tratamiento completo Fig 1A. 100

Gráfico 21. Determinación de la capacidad de campo del sustrato 117

Gráfico 22. Trasplante de los injertos a los recipientes 117

Gráfico 23. Preparación de las soluciones en el laboratorio de suelos y aguas de la EEA 118

Gráfico 24. Muestreo del sustrato para la determinación de pH y CE 118

Gráfico 25. Preparación del sustrato para la determinación de análisis químicos..... 118

Gráfico 26. Preparación de las muestras para el análisis de pH y CE 119

Gráfico 27. Aplicación de Dormex al 5 % en todos los tratamientos..... 119

Gráfico 28. Hojas del tratamiento carente de potasio 120

Gráfico 29. Hojas del tratamiento carente de magnesio 120

Gráfico 30. Hojas del tratamiento carente de fósforo 121

Gráfico 31. Hojas del tratamiento carente de magnesio 121

Gráfico 32. Medición del diámetro del tallo a 3 cm del patrón con un calibrador en las plantas de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA..... 125

Gráfico 33. Medición de color en las hojas con un comparador de colores IRRI en las plantas de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA..... 125

Gráfico 34. Medición de clorofila en las hojas con un medidor de clorofila SPAD en las plantas de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA..... 126

Gráfico 35. Medición del tamaño de las hojas en las plantas de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA. 126

Gráfico 36. Medición del tamaño de la altura desde el injerto de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA 126

Gráfico 37. Medición de la distancia de entrenudos en las plantas de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA 127



Gráfico 38. Invernadero de la EEA 127



NOMENCLATURA

Tc (N P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Zn): Tratamiento completo

T1 (-N): Tratamiento 1 sin nitrógeno

T2 (-P): Tratamiento 2 sin fósforo

T3 (-K): Tratamiento 3 sin potasio

T4 (-Ca): Tratamiento 4 sin calcio

T5 (-Mg): Tratamiento 5 sin magnesio

T6 (-S): Tratamiento 6 sin azufre

T7 (-B): Tratamiento 7 sin boro

T8 (-Fe): Tratamiento 8 sin hierro

T8 (-Mn): Tratamiento 9 sin manganeso

T10 (-Zn): Tratamiento 10 sin zinc

TA (-N, -P, -K, -Ca, -Mg, -S, -B, -Fe, -Mn, -Zn): Tratamiento testigo o absoluto



Cláusula de Licencia y Autorización para Publicación en el Repositorio
Institucional

María Fernanda Loaiza Loayza en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación de las deficiencias de macro y micro elementos en chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) variedad INIAP - Fabulosa, en hidroponía bajo invernadero", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 19 de febrero de 2020

María Fernanda Loaiza Loayza

0706443967



Cláusula de Propiedad Intelectual

María Fernanda Loaiza Loayza, autor/a del trabajo de titulación "Evaluación de las deficiencias de macro y micro elementos en chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) variedad INIAP - Fabulosa, en hidroponía bajo invernadero", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 19 de febrero de 2020

María Fernanda Loaiza Loayza

0706443967

INIAP-EEA-UATH-0029-2019-CERT

En calidad de Responsable de la Unidad de Talento Humano de la Estación Experimental del Austro del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP

A petición de parte interesada:

CERTIFICO :

Que la señorita **MARÍA FERNANDA LOAIZA LOAYZA**, portadora de la cédula de ciudadanía No. 0706443967, realizó su tesis **“Evaluación de las eficiencias de macro y micro elementos en plantas de chirimoya en hidroponía bajo invernadero (*Annona cherimola* Mill)”** previa la obtención de Título de Ingeniera Química, desde el mes de abril de 2019, hasta la suscripción del presente documento, trabajo realizado bajo la dirección del Ing. Carlos Feicán, Investigador Auxiliar 1 (Responsable del programa Fruticultura), en coordinación con el Ing. Pedro Guerrero, Responsable del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Estación Experimental del Austro del INIAP.

Es todo cuanto puedo informar en honor de la verdad, pudiendo la interesada hacer uso como creyere conveniente dentro de los parámetros legales establecidos.

Gualaceo, 30 de octubre de 2019

Atentamente,

Dra. María Eugenia Astudillo R.

EXPERTO DE TALENTO HUMANO DE ESTACIÓN EXPERIMENTAL





DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Con todo mi amor para mis adorados padres Norman Loaiza y Marilú Loayza quienes con su ejemplo, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. Gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y perseverancia, de formarme con reglas y darme alas para poder volar, y de enseñarme a no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Vanessa, Cristhian y María Belén por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso y estar conmigo en todo momento.

A mis pequeños amores Josué, Mathias, Maykel, Amber, Marina y Freddy por ser mi inspiración de cada día y a quienes amo inmensamente.

A mis Padrinos Edison y Alejandrina con quienes he compartido toda mi vida y por siempre estar orgullosos de mí, al igual que mis abuelos maternos Víctor y Angelica y paternos Juan y Carmen.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

María Fernanda Loaiza Loayza



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida, a mis Padres que han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi más profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP-EEA, por confiar en mí, por abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su institución, en especial a la colaboración por parte del personal que labora en el Laboratorio de Suelos y Aguas y departamento de fruticultura.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Estatal De Cuenca, a toda la Facultad de Ingeniería Química, a la Asociación De Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a la Ing. Química Sonia Astudillo, Ing. Químico Pedro Guerrero y al M.Sc. Carlos Feicán, principales colaboradores durante todo este proceso, quienes con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración me permitieron el desarrollo de este trabajo.

Mi gratitud con distinguidos profesores de la Facultad de Ciencias Químicas, Ing. Silvana Salamea, Ing. Alexandra Guanuchi, Ing. Cecilia Castro, Dra. Tsai García, Ing. Fernando García y al Ing. Servio Astudillo por ser maestros que llegaron a mi corazón y de los cuáles aprendí a ser un profesional pragmático y organizado.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que conocí en este largo camino, a mis mejores amigos y no sólo de clase sino de vida C. Andrade, V. Aucapiña, C. Flores, J. Heredia, J. Jiménez, P. Romo, y S. Serrano.



1. INTRODUCCIÓN

La chirimoya (*Annona Cherimola* Mill.) es uno de los géneros de mayor interés debido a las propiedades del fruto como: sabor, alto contenido de pulpa, valor nutricional entre otros (Barreca et al., 2011), y los indígenas le otorgan a este frutal un alto valor medicinal y nutricional. Además, se discute la posibilidad de que la cáscara de este frutal es una fuente importante de antioxidantes con lo que este frutal puede ser también interesante desde un punto de vista funcional (Loizzo et al., 2012). La chirimoya es la única especie altamente adaptada a condiciones tropicales y subtropicales y de acuerdo a estos conocimientos, la fruta es reconocida en países Norteamericanos (González, 2013).

El interés por este frutal es objeto de estudio para investigadores en varios países alrededor del mundo. *A. cherimola*, además, constituye parte de la flora natural de Sudamérica y Centroamérica, por ello, es necesaria la investigación científica en este frutal, que tiene importancia no sólo por sus propiedades comerciales sino en la conservación y restauración de los ecosistemas (González, 2013). En el Ecuador existe un incremento en el consumo de frutales desde la década de los 90, y en el país tanto el programa de frutales como hortalizas representa un 30 %, es decir, 818 mil hectáreas, de las cuales en el año 2000 se dedicó alrededor de 422 mil hectáreas a la producción de frutales con rendimiento de 8.4 millones de toneladas (Bonilla, 2018).

En el campo agronómico, la fertilización, constituye el medio por el cuál las plantas reciben una adecuada nutrición. La importancia de la fertilización radica en que las especies absorban los nutrientes necesarios para asegurar un desarrollo correcto, por lo que, los agricultores tienen un labor en cuanto a la selección adecuada de los fertilizantes, ya que, una cantidad superior o inferior del mismo provocaría el gasto innecesario o a su vez un desequilibrio nutricional (Finck, 1988).

La chirimoya es un frutal con alto potencial comercial que ha sido poco estudiada en diferentes aspectos, y países megadiversos como Ecuador se ven en la necesidad de desarrollar cultivos no tradicionales, debido a su gran potencial en el mercado interno y externo. La falta de tecnología en el manejo del cultivo, fertilizantes, nutrición, enfermedades, entre otros aspectos, ha hecho que la chirimoya no tenga mucha acogida entre los Agricultores Ecuatorianos, pero en este País, gracias a la diversidad genética y óptimas condiciones agroclimáticas se podría decir que estamos en ventaja, teniendo así, la posibilidad de cultivar especies exóticas (Andrade, 2009).



El método del elemento faltante es útil en el diagnóstico de las deficiencias nutricionales en plantas; este método considera aspectos nutricionales, en el que omite uno de los nutrientes considerados como esenciales. Una planta bien nutrida aumenta el poder comercial en ella y de aquí la importancia de conocer mediante la sintomatología visual, la carencia de los nutrientes y las repercusiones en su desarrollo. Mediante el método del elemento faltante, se puede evaluar las carencias de un nutriente, los cuales se presentan en hojas y tallos, color y forma, altura y diámetro, entre otros. La sintomatología visual es el indicador más importante en el método del elemento faltante (Alfonso, 2017).

El manejo de la técnica del elemento faltante bajo condiciones de invernadero, ha sido empleada por el Departamento de Manejos de Suelos (DMSA) de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en los cultivos de chocho, fréjol, maíz, tomate de árbol y babaco con excelentes resultados (Alfonso, 2017). En la Estación Experimental del Austro (EEA), se desarrolla actualmente el manejo de la técnica, con la única diferencia, que la solución nutritiva fue basada en Sarruge (1974) y modificada en el departamento de Suelos de la EEA.

De acuerdo con lo expuesto, en la presente investigación, se evaluó las deficiencias de macro y microelementos en plantas de chirimoya bajo invernadero en hidroponía, mediante la técnica del elemento faltante con la finalidad de documentar las deficiencias nutricionales presentadas a nivel foliar y radical, el efecto de la omisión de nutrientes en la producción de biomasa y la determinación de la capacidad de campo del sustrato a usar. Además, se generó información acerca de los requerimientos nutritivos más importantes para este tipo de frutal.

2. CONTENIDO TEÓRICO

2.1. EL SUELO

El suelo es producto de procesos de formación y se trata de una superficie sumamente variada y multiforme constituida por tres fases: sólida, líquida y gaseosa, sobre la cual se producen los fenómenos climáticos como la lluvia, el viento, etc. De igual manera, el suelo es un escenario de complejos procesos químicos y físicos. Existen diversos tipos de suelo, cada uno resultado de procesos distintos de formación, sedimentación, deposición eólica, meteorización y los residuos orgánicos (González, 2013).

El suelo se compone de minerales, materia orgánica, agua y aire. Las partículas minerales son de distintas fracciones, por una parte, están las partículas con diámetro menor a 2 mm (tierra fina), y las que tienen diámetro mayor a 2 mm (elementos gruesos). La materia orgánica está compuesta por aquellos restos frescos de plantas y de animales, además de productos como el humus. Los componentes del suelo, ya sean orgánicos o minerales, integran la llamada matriz sólida del suelo y a su vez estas partículas dejan poros que estarán ocupados por el agua y el aire, constituyendo así, el canal de desplazamiento de estos fluidos (Flores, 2012).

La aptitud de un suelo para el crecimiento vegetal depende de la relación (volumétrica) entre las fases sólida, líquida y gaseosa y además de la interacción que exista entre ellas. El porcentaje que ocupa cada una de las fases determina la disponibilidad de agua y aire para las raíces, mientras que la interacción entre ella determina la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Molina et al., s. f.).

2.1.1. Fases del suelo

En la fase sólida se distinguen, de acuerdo con su composición, los componentes orgánicos y los minerales. La fracción mineral está integrada por diferentes minerales y la composición varía de un suelo a otro, en general, en los suelos existen los siguientes minerales: silicatos, óxidos, carbonatos, fosfatos, cloruros, sulfuros, sulfatos y nitratos. Los silicatos, óxidos, sulfuros y fosfatos presentan una baja solubilidad, por otra parte, los carbonatos de Ca y Mg y el sulfato de Ca son de mediana solubilidad, y finalmente los nitratos y cloruros de Na, K y Mg, sulfatos de Mg, Na y K y carbonatos de Na y K, son de alta solubilidad. Es así como los compuestos de alta solubilidad son aquellos que inhiben el crecimiento vegetal. Estos compuestos se encuentran en suelos salinos con bajo



contenido de humedad (Molina et al., s. f.). La fracción orgánica y su porcentaje en la fase sólida es muy variable desde menos de 1 % a 90 % o más en suelos orgánicos (turba) (Molina et al., s. f.), además la materia orgánica es muy importante para la fertilidad y también le da el color oscuro. (Petraglia & Cayssials, s. f.).

La fase líquida o agua del suelo, es una solución diluida de iones de Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^- y NO_3^- . La Fase gaseosa o atmósfera del suelo contiene más CO_2 y menos O_2 que la atmósfera y es debido a la respiración por parte de las raíces y de los microorganismos (Molina et al., s. f.).

2.1.2. Características físicas del suelo

2.1.2.1. Textura

La textura representa el porcentaje en que se encuentra cada uno de los elementos que constituyen el suelo, estos elementos son la arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla. Un suelo con buena textura es capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas (Rucks et al., 2004).

2.1.2.2. Profundidad

La profundidad de las raíces puede condicionarse debido a la limitación mecánica, química y fisiológica. La limitación mecánica es cuando existe la presencia de una roca muy compacta en la cual las raíces no pueden penetrar; la limitación química es la presencia extrema de un horizonte salino o calizo; y la limitación fisiológica se da cuando existe falta de aireación por aglomeración de agua. La limitación química conlleva a una fitotoxicidad mientras que la fisiológica a una muerte por asfixia. Un suelo con una profundidad inferior a los 50 cm es condicionante para los frutales, y es necesaria una profundidad de 1,5 m para aquellas raíces pivotantes (Flores, 2012). La profundidad es el grosor del perfil que las raíces pueden aprovechar sin restricción alguna (Gil-Albert, 2019).

2.1.2.3. Color

El color es una propiedad del suelo mediante el cual se puede deducir algunas características del mismo, así, los colores oscuros podrían ser señal de presencia importante de materia orgánica, óxidos o material de origen volcánico; los colores blancuzcos podrían ser un indicio de caliza (CaCO_3) o yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$); colores grises

pueden indicar la falta de oxígeno en el suelo o a su vez la presencia de compuestos de hierro reducido; y los colores rojos a pardos tradicionalmente es debido a suelos con buena aireación y drenaje (Flores, 2012). Los colores en el suelo evidencian la composición y el color también se puede deber a la roca parental (Vargas, 2009).

2.1.2.4. Capacidad de retención de agua

El espacio poroso del suelo es ocupado por el agua y el aire, de esta manera el aire ocupa el espacio de los poros más grandes, y el agua ocupa el espacio de poros medianos y pequeños. El agua puede llegar a ocupar todos o casi todos los poros cuando existe lluvia o riego, y de esta forma el suelo está saturado. En un estado de saturación reiterado las raíces pueden morir por asfixia, ya que no existe oxígeno (Flores, 2012). El agua higroscópica y un tercio del agua capilar no pueden ser utilizadas tan fácilmente por las raíces, debido a que se encuentran firmemente retenidas (Thompson & Troeh, 1988).

2.1.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo

2.1.3.1. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad del suelo de retener y liberar cationes. Existen factores que determinan una mayor o menor CIC, así, por ejemplo, el tamaño de las partículas del suelo y la relación entre las partículas más pequeñas y la mayor CIC; el contenido de MO y arcillas; el tipo de cationes cambiables y el pH (Flores, 2012). Los suelos con alta capacidad de intercambio catiónico, son aquellos con altos contenidos de arcilla y/o materia orgánica y esta alta capacidad brinda la capacidad de retener más nutrientes y por lo general, los hace más fértiles (INTAGRI, 2017).

2.1.3.2. pH del suelo

Un suelo es considerado como ácido o básico de acuerdo con su concentración del ion hidrógeno (H^+). La acidez o basicidad de un suelo influye en sus propiedades físicas y químicas (Tabla 1) y a la movilidad de los nutrientes en el suelo.

Tabla 1. Características del suelo derivadas de su pH

Rango de pH	Interpretación	Observación
< 4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad en las plantas por aluminio (Al^{+3}) y manganeso (Mn^{+2})
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido	Exceso de cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn)
5,6 -6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos
6,6 – 7,3 Neutro	Neutro	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos, con efectos tóxicos mínimos. A pH inferiores a 7, el carbonato cálcico no es estable en el suelo.
7,4 – 7,8	Medianamente básico	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos. Presencia en el suelo de carbonato cálcico ($CaCO_3$)
7,9 – 8,4	Básico	Disminuye la disponibilidad de fósforo (P) y boro (B)
8,5 – 9	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos, estos pH altos pueden deberse al carbonato de magnesio ($MgCO_3$), si no hay sodio intercambiable. Se agravan los problemas de clorosis férrica.
9,1 – 10,0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico



		Elevado porcentaje de sodio intercambiable. Toxicidad por sodio (Na) y Boro (B)
>10	Fuertemente alcalino	Actividad microbiana escasa y los micronutrientes son poco disponibles, excepto el molibdeno.

Fuente: (Flores, 2012)

Algunos nutrientes se pueden bloquear según las condiciones de pH y no ser asimiladas por las plantas (Tabla 2).

Tabla 2. Comportamiento de los nutrientes en el suelo en función del valor del pH

Nutrientes	Comportamiento
Nitrógeno	No se produce ningún problema en su disponibilidad para valores de pH entre 5,5 y 8.
Fósforo	Si pH < 6,5, precipita con hierro y aluminio Si pH > 7,5, precipita con calcio Si pH > 8,5, se solubiliza con el sodio
Potasio	A pH > 8, se produce antagonismo con el calcio
Calcio	La solubilidad del calcio crece con los valores del pH. En suelos de pH ácidos, hay carencia de calcio.
Hierro, magnesio, cobre, zinc y aluminio	Cuanto menor es el pH, mayor es la solubilidad de estos elementos, con lo cual se pueden producir problemas de toxicidad.
Boro	A pH elevado, se produce carencia de boro.
Molibdeno	A pH ácidos, se producen carencias de molibdeno

Fuente: (Flores, 2012)

Cuando el pH del suelo es superior a 7,5 se produce la insolubilización del hierro, y en consecuencia se manifiesta con clorosis férrica.

Si el pH del sustrato se encuentra en el rango óptimo (Gráfico 1) entonces la mayoría de los nutrientes mantendrán su máximo valor de solubilidad. El pH del medio de cultivo controla las reacciones químicas que determinan la disponibilidad de los nutrientes, razón por la que el valor de pH ocasiona la mayoría de problemas al estar fuera del rango óptimo (5.5 a 6.8) (Barbaro et al., s. f.)

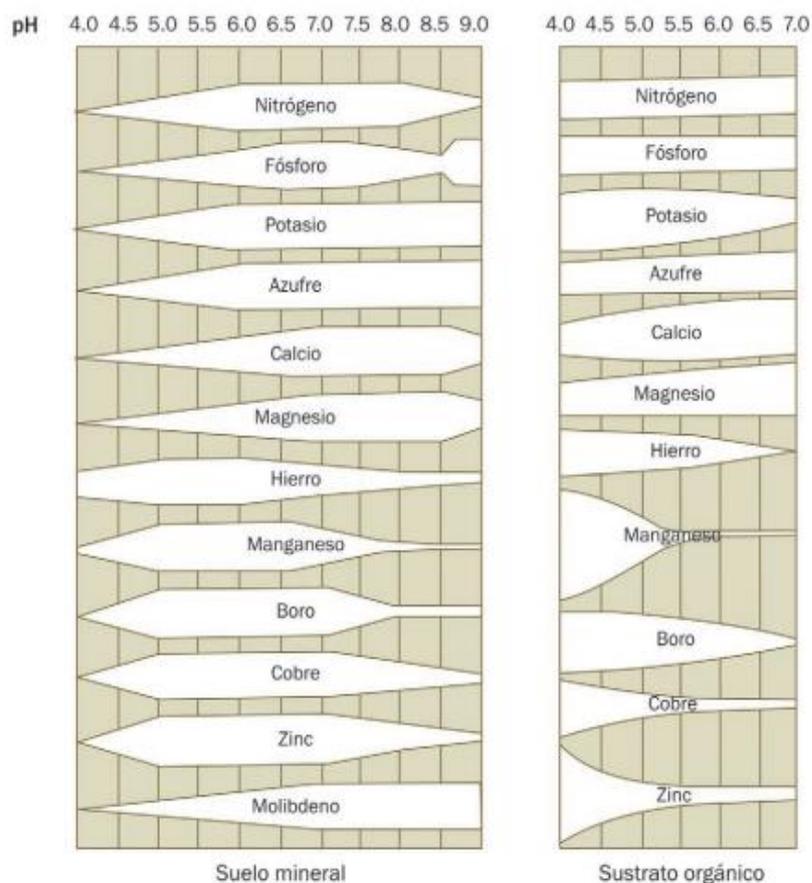


Gráfico 1. Influencia del pH del suelo en la disponibilidad de elementos nutrientes en suelos minerales y orgánicos. El grosor de las áreas sombreadas indica el grado de disponibilidad de nutrientes para la raíz vegetal. Fuente: (Barbaro et al., s. f.)

2.1.3.3. Manejo del suelo

El manejo del suelo es fundamental para cualquier práctica que se quiera llevar a cabo en él, ya que constituye el medio y el soporte de algunas especies (González, 2013).



La fertilidad del suelo es esencial al momento de hablar de productividad, pero factores como mal drenaje, sequía, etc. pueden limitar esta productividad. La cantidad de agua y aire que la planta retendrá esta influencia por la textura y estructura del suelo, ya que las partículas más pequeñas tendrán mayor área superficial y a su vez incremento en la cantidad de agua absorbida. Las arenas permiten que el agua drene libremente por el suelo, debido a que el tamaño de sus poros es más grande; el tamaño de poros de las arcillas es más pequeño y aunque retenga mayor cantidad de agua, no significa que toda esta cantidad esté disponible. El agua disponible para las plantas es la que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Andrade, 2009)

Se conoce que 16 elementos químicos son esenciales para el crecimiento de la planta. Estos elementos están divididos en dos grandes grupos: minerales y no minerales. Los nutrientes no minerales son carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). Estos nutrientes se encuentran en el agua y en la atmósfera y son usados en la fotosíntesis. La disponibilidad de nutrientes está influenciada por el balance entre el agua y el suelo. Generalmente los nutrientes primarios suelen ser los primeros en ser carentes en el suelo, ya que las cantidades que requieren los suelos son altas. Los nutrientes secundarios y micronutrientes son igual de importantes que los primarios, solamente la cantidad requerida es menor (INPOFOS, 1995).

2.2. EL CULTIVO DE CHIRIMOYA

2.2.1. Origen

La chirimoya es un frutal con alto poder comercial y es conocido que tiene su origen en las zonas andinas del Sur de Ecuador y Norte de Perú (Van Damme & Scheldeman, s. f.). Sin embargo, Estudios moleculares indican que el origen de la chirimoya probablemente es en Centroamérica, siendo Sudamérica un centro secundario y, Honduras y Guatemala, el primer centro con mayor diversidad genética de chirimoya (Yánez, 2018).

2.2.2. Zonas de cultivo

En las provincias de la Sierra del Ecuador como Pichincha, Loja, Azuay e Imbabura se reportan la mayor cantidad de producción de chirimoya. El mayor volumen de producción es en la provincia de Pichincha en las parroquias de San José de Minas, Guayllabamba, y

otras poblaciones como Atahualpa, Alchipichí, Chavezpamba, Perucho y Puéllaro (Guerrero, 2012).

Entre los países productores de chirimoya figura España en primer lugar (Van Damme & Scheldeman, s. f.), en especial en la costa granadina (González, 2013). Según Van Damme & Scheldeman, s. f., en Chile la producción de chirimoya es importante debido a sus exportaciones a los mercados de Estados Unidos, Japón y otros países latinoamericanos. Estados Unidos también es uno de los países productores de chirimoya, pero, su producción es solamente para el mercado nacional, debido a que la producción es solamente en el Sur de California y ya que la demanda es ampliamente mayor que la oferta, la fruta nunca sale del lugar (González, 2013). Países como Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia, Argentina, México también cultivan este frutal de forma comercial para el mercado nacional. En Sudáfrica se cultiva de manera experimental y en países como Tailandia, Indonesia, Australia y Nueva Zelanda también existe producción de este frutal (Van Damme & Scheldeman, s. f.).

Dado que no existe gran información acerca de la producción del cultivo, la siembra se ha limitado a huertos pequeños, patios, y parcelas (González, 2013), y solamente en países como Estados Unidos, España y Chile se pueden encontrar cultivares o plantaciones de chirimoya (Van Damme & Scheldeman, s. f.).

2.2.3. Taxonomía

En la Tabla 3 se muestra la clasificación taxonómica de la chirimoya

Tabla 3. Clasificación taxonómica de la chirimoya

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Vegetal
Subreino	Embriophyta
División	Spermatophyta
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Dicotyledoneae
Orden	Ranales
Suborden	Magnoliales
Familia	Annonaceae
Subfamilia	Annonoideae
Género	Annona
Especie	Annona cherimola Miller

Fuente: (González, 2013)

Familia Annonaceae: esta familia se considera la más grande dentro del suborden Magnoliales y abarca aproximadamente 2500 especies, las cuales se encuentran distribuidas en América, África y Australasia. Se dice que la familia Annonaceae está compuesta por 121 géneros en total y que solamente 4 de ellos, contienen especies con más significado desde el punto de vista comercial: *Annona*, *Rollinia*, *Uvaria* y *Asimia* (González, 2013).

Género *Annona*: este género abarca cerca de 60 especies y para el programa de fruticultura este género constituye el más importante. Guanábana, chirimoya y anona son una de las especies más comúnmente conocidas dentro de este género. Las especies más importantes del género *Annona* son: *Annona cherimola* Mill., *Annona muricata* L., *Annona squamosa* L., *Annona reticulata* L., y el híbrido interespecífico *Atemoya* (*A. cherimola* x *A. squamosa*) (Villanueva-Arce et al., 2008).

Especie *Annona cherimola* Miller: esta especie se cree que es originaria de Ecuador y Perú. Chirimoya es el nombre que popularmente recibe su fruto y varios estudios se han enfocado en la fitoquímica, reportando la presencia de péptidos cíclicos, acetogeninas, alcaloides, aminas, kauranos y lignanos. La importancia de las acetogeninas radica en las posibles propiedades antitumorales y antihelmínticos, por otra parte, para las células cancerosas del páncreas, mamas, próstata y otros órganos las semillas del fruto han mostrado actividad tóxica (Ramírez et al., 2011). Entre otras propiedades, figura la presencia de vitaminas, aceites esenciales y propiedades insecticidas.

2.2.4. Descripción botánica

2.2.4.1. El árbol

El árbol de chirimoya puede alcanzar una altura de hasta 10 metros, habiendo árboles desde los 6 metros. El árbol es de porte erguido y típicamente caducifolio*, pero, en climas tropicales permanece siempre con follaje o verde (Álvarez & Sáyago, 2018). De acuerdo a la Revista Científica Ecuatoriana, el árbol de chirimoya es semi-caducifolio (Vanegas et al., 2016).

*Caducifolio del latín “cadūcus” <<caído>> y “folium” <<hoja>>, son aquellos árboles que pierden su follaje durante una parte del año.

2.2.4.2. Tallo

El tallo es redondo, de corteza lisa y gruesa, y de entrenudos largos (Ceme, 2019).

2.2.4.3. Hojas

Las hojas son de carácter alternadas entre elípticas, lanceoladas u ovadas, el tamaño de las hojas va desde los 10 a los 25 centímetros de largo y usualmente la mitad de ancho (Álvarez & Sáyago, 2018). Las hojas son lisas en los bordes y su color varía de verde oscuro a verde brillante; el haz o cara superior de la hoja es de color verde azulado o glauca, mientras que el envés o parte opuesta del haz de la hoja, es de superficie vellosa o pubescente (I. A. Rodríguez, 2013).

2.2.4.4. Flor

La floración ocurre cuando la planta está entre 3 y 4 años de edad y lo hace una vez al año. La flor es fragante y su color se relaciona de acuerdo al estado en el que se encuentre, blanca cuando está en estado hembra y crema en estado macho (Álvarez & Sáyago, 2018). Las flores característicamente son dicógamas y protóginas (Ceme, 2019).

2.2.4.5. Fruto

Es una de las frutas más deliciosas y exóticas, y de acuerdo al grado de polinización se pueden encontrar frutos en forma acorazonada, ovalada o irregular; el peso es de aproximadamente 0,5 kilogramos y en algunos casos, la fruta podría pesar más de 2 kilogramos (Chávez et al., 2000). De distintas maneras puede presentarse este fruto, ya sea liso, con protuberancias leves o muy prominentes, o redes (Álvarez & Sáyago, 2018). Además, es una fruta de numerosas semillas y su epidermis verdosa-amarilla es delicada cuando ya es madura.

2.2.4.6. Pulpa

La pulpa es la fracción comestible de color blanco y de sabor dulce ligeramente ácida. La pulpa es consumida de forma fresca y dependiendo del país su uso es variado desde helados hasta bebidas alcohólicas. La composición nutricional de la pulpa, tal y como se muestra en la Tabla 4, es alta en hidratos de carbono como la glucosa y sacarosa, y baja en contenido de proteínas (Álvarez & Sáyago, 2018). Además, tiene gran cantidad de Potasio, vitamina C y complejo B.

Tabla 4. Composición nutricional de la chirimoya de acuerdo a cuatro criterios distintos

Composición	Corfo, 1981	Gardiazabal y Rosenberg, 1993	Pérez de Arce, 1982	Schmidt-Hebbel y Pennacchiotti, 1985
%/100 g porción comestible				
Calorías (kcal)	73	81	82	56
Humedad	77,1	75,7	76,6	83,3
Proteína	1,9	1,0	1,1	2,9
Lípidos	0,1	0,1	1,1	2,9
Fibra cruda	2,0	1,8	1,9	1
Cenizas	0,7	1,0	0,8	0,6
mg/100 g porción comestible				
Calcio	32	24	34	24
Fósforo	37	47	35	27
Hierro	-	0,4	0,6	0,6
Potasio	-	-	-	206
Tiamina (vitamina B1)	0,1	0,06	0,09	0,09
Riboflavina (Vitamina B2)	0,14	0,14	0,13	0,13
Niacina (Vitamina B3)	0,9	0,75	0,9	0,6
Ácido ascórbico (Vitamina C)	5	4,3	17	5,2

Fuente: (Castro, 2007)

La pulpa de chirimoya tiene un contenido de calcio de 28,5 mg por cada 100 g de pulpa en promedio, valor superior, en comparación a hortalizas tales como la lechuga o la coliflor. Es rica en fósforo, valor poco común entre las futas; la chirimoya junto al pepino dulce y aguacate son los que tienen mayor contenido en tiamina y riboflavina respectivamente (Castro, 2007). Destaca por ser rica en azúcares especialmente en fructosa y sacarosa, además, se puede afirmar que ninguna otra fruta fresca puede aportar tantas vitaminas del grupo B como la chirimoya (Gayoso Bazán, 2017).

2.2.4.7. Semillas

Las semillas son numerosas de 21-41 y de color castaño claro a negro, su longitud y ancho son de aproximadamente 2 centímetros y 1 centímetro respectivamente (Haq, 2006). La

temperatura es uno de los factores más importantes para la germinación de la semilla, se necesita de una temperatura óptima, máxima y mínima (Ceme, 2019)

2.2.5. Requerimientos del cultivo

2.2.5.1. Condiciones climáticas

2.2.5.1.1. Temperatura y humedad

Rangos de temperatura entre 25 y 29 °C, otorgan las mejores condiciones para el desarrollo y fructificación de la chirimoya (Álvarez & Sáyago, 2018), sin embargo, para un crecimiento óptimo el rango es de 15 a 25 °C (García et al., 2010). El cultivo de chirimoya es capaz de soportar temperaturas entre los 13 y 15 °C, sin daños a la fruta, mientras que a temperaturas menores el fruto se ve afectado. Existen consecuencias a temperaturas -2 °C afectando de esta manera a las hojas, frutos y tallo (García et al., 2010). Cuando se alcanzan temperaturas superiores a los 30 °C se ve afectada la calidad del polen, además, una exposición a temperaturas altas puede provocar la quemadura de hojas y frutos. En verano cuando la temperatura supera los 30 °C se ve afectado el cuajado del fruto y el crecimiento del árbol (Guerrero, 2012). La etapa de fructificación también puede verse afectada por las altas temperaturas y baja humedad.

Una elevada humedad puede incidir en la fecundación; la humedad requerida comprende un valor entre 60 a 70 % (Álvarez & Sáyago, 2018). En general, se requiere de climas donde no haya extremos de temperatura, es decir, ni muy altas ni muy bajas.

2.2.5.1.2. Altitud

Una altitud óptima para este cultivo fluctúa entre 1500 y 2600 msnm (Guerrero, 2012) y (Vanegas et al., 2016). Los rangos de altitud varían según lo indicado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), el rango está entre 1800 y 2500 msnm. Debido a que en nuestro país existe una variedad de microclimas es recomendable analizar la zona, por ello Flores (2013) recomienda una altitud entre 1000 y 2500 msnm. En general las anonas se cultivan en diferentes altitudes.

2.2.5.2. Condiciones edafológicas

2.2.5.2.1. Tipo de suelo



Las características del suelo son extremadamente importantes para los cultivos, siendo el drenaje el factor más importante para las anonas; es así que las enfermedades en las raíces se ven relacionadas con la alta cantidad de agua en el suelo (Pinto et al., 2005).

Debido a que las anonas no son exigentes en el tipo de suelo, los cultivos de chirimoya han sido registrados en diversos tipos, ya sea, arcillosos o limo-arcillosos, livianos o pedregosos (Álvarez & Sáyago, 2018). Pero, si el suelo permite un buen drenaje, aireación, y es rico en materia orgánica se pueden producir mejor estos cultivos (Pinto et al., 2005); un contenido del 1.9 % a 2.7% de materia orgánica (Guerrero, 2012).

El sustrato debe permitir la aireación de las raíces (Álvarez & Sáyago, 2018), ya que gracias a la respiración que ejercen estas pueden proveer energía para que las plantas absorban las sustancias nutritivas (Finck, 1988).

El contenido de materia orgánica mejora la textura del suelo, además, permite un mejor desarrollo radicular y facilita el drenaje y aireación; un contenido del 2 al 5 % de materia orgánica en el suelo favorece al correcto desarrollo (Castro, 2007).

2.2.5.2.2. pH

En el libro “Compendio de agronomía tropical” se sugiere un rango de pH comprendido entre 6.5 a 7 (IICA, 1985); Por otra parte, Guerrero (2012), cree que la chirimoya se desarrolla en un suelo con un pH comprendido entre 7 y 7.5. De acuerdo a Castro (2017) el rango de pH debe ser entre neutro y ligeramente ácido 6 y 5.7, ya que los suelos ácidos causan deficiencias en la nutrición, alega también que estos cultivos son capaces de tolerar suelos alcalinos con pH de 7.5 y 8.5.

El mejor pH para el suelo del cultivo debe estar entre 6 a 6.5, y, otros autores están de acuerdo con este rango de pH para este cultivo; No obstante, otros autores proponen que el mejor rango es el comprendido entre 6 y 7.5, y (Pinto et al., 2005), proponen un rango entre 5.5 y 6.5.

Existen reportes que, en América del Sur, estos cultivos han sido sembrados en suelos cuyo pH es 8 (Castro, 2007). Lo cierto es, que el cultivo de chirimoya tiene una gran tolerancia a los diferentes tipos de suelos, adaptándose a condiciones desfavorables, debido a esta condición existe crecimiento dentro del rango de pH del suelo de 5.0 a 8.0.

2.2.5.2.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una medida de las sales solubles en la solución del suelo y esta medida es importante para el desarrollo de los cultivos, ya que, al aumentar la conductividad eléctrica el potencial osmótico se reduce y por ende la disponibilidad de agua (INTAGRI, 2017).

Inicialmente al comenzar con riegos de solución nutritiva sobre un suelo, el interior de los terrones tiene un contenido menor en nutrientes, pero, conforme el tiempo avanza, el interior de dichos terrones se vuelve más rico que el exterior, ya que se están saturando de los nutrientes (Aguirre, 2009)

Suelos con conductividad eléctrica > 2 dS/m podrían provocar el 10 % de pérdida de los cultivos, y si este valor está entre 4 dS/m es un indicador de que el suelo es salino, pero si es menor a este valor entonces se habla de un suelo sódico (Aguirre, 2009). En la Tabla 5 se presenta las características de los suelos de acuerdo a su pH y conductividad eléctrica.

Tabla 5. Características de los suelos salinos y/o sódicos

Clase de suelo	Conductividad eléctrica (dS/m)	pH
Normal	< 4	< 8.5
Salino	≥ 4	< 8.5
Sódico	< 4	> 8.5
Salino-sódico	≥ 4	8.5 - 10

Fuente: (Aguirre, 2009)

2.3. NUTRICIÓN

2.3.1. Elementos esenciales

Un elemento es considerado esencial, cuando en su ausencia impide a la planta un correcto desarrollo o completar su ciclo vital (Taiz et al., 2017). Dentro de los elementos esenciales se encuentra el Carbono, Hidrógeno, Oxígeno (provenientes del H₂O, CO₂ y aire) y nutrientes minerales (M. Rodríguez & Floréz, 2004). El carbono (C) y el oxígeno (O), se encuentra en un porcentaje del 40-45 del peso seco de la planta, el hidrógeno (H), en un 5 %, y los elementos como el nitrógeno (N), fósforo (P), Potasio (K), calcio (Ca), azufre (S), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu),

molibdeno (Mo), cloro (Cl), sílice (Si) y cobalto (Co) representan el 5 % del peso seco total (Barbazán, 1998).

De acuerdo a la cantidad absorbida por la planta, los nutrientes pueden clasificarse en macronutrientes y micronutrientes. En la (Tabla 6) se muestra la forma de absorción de los elementos.

Tabla 6. Forma de absorción de los elementos esenciales en la planta

Elemento	Forma de absorción
Carbono	CO ₂
Hidrógeno	H ₂ O
Oxígeno	H ₂ O, O ₂
Nitrógeno	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻
Fósforo	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁻²
Potasio	K ⁺²
Calcio	Ca ⁺²
Magnesio	Mg ⁺²
Azufre	SO ₄ ⁻²
Hierro	Fe ⁺² , Fe ⁺³
Zinc	Zn ⁺² , Zn(OH) ₂
Manganeso	Mn ⁺²
Boro	B(OH) ₃

Fuente: (Bennett, 1997)

2.3.2. Fisiología nutricional

Es necesario conocer el papel que cumple cada nutriente en la planta y la movilidad dentro de ella. En general, el proceso de nutrición se da de la siguiente manera:

El agua y las sales minerales (solamente las que están disueltas) son absorbidos por las raíces a través de los pelos absorbentes (células epidérmicas), luego atraviesan los tejidos de la raíz hasta la xilema. A su vez, el agua y las sales forman la savia bruta. Mediante la xilema, la savia bruta recorre largas distancias hasta llegar a los órganos responsables de la fotosíntesis, es decir tallos y hojas. La función principal de la xilema es transportar la savia bruta hasta las hojas y como función secundaria es la reserva de minerales y como soporte. La savia elaborada se transfiere al floema y se depositan en las células de raíces y tallos (Margulis & Sagan, s. f.).

Los nutrientes que están en los órganos y tejidos de la planta pueden volver a moverse a otras partes de la planta, y esto puede ocurrir en el desarrollo de la planta o cuando existe una baja disponibilidad de nutrientes. La removilización ocurre desde las partes viejas a

las jóvenes y ocasiona cambios que ejercen un fuerte impacto, provocando una relación entre la concentración del nutriente y el rendimiento. Los nutrientes son todos móviles en el xilema, pero en el floema no. N, P, y K son móviles, Ca, B, Mn, y B son inmóviles y S, Cu y Zn son nutrientes de movilidad variable (Tabla 7) (Barbazán, 1998).

Tabla 7. Movilidad de los elementos dentro de las plantas

Contenido en planta	Movilidad en planta
N	Muy móvil
P	Muy móvil
K	Móvil
Ca	Inmóvil
Mg	Móvil
S	Variable movilidad
B	Inmóvil
Fe	Inmóvil
Mn	Inmóvil
Zn	Variable movilidad

Fuente: (Barbazán, 1998)

2.3.3. Soluciones nutritivas

Han sido numerosas las formulaciones de solución a lo largo de la historia; inicialmente se pensó que los macronutrientes eran aquellos únicos elementos esenciales, pero un avance en el tiempo mostró que los micronutrientes también eran necesarios. Entre los autores de soluciones nutritivas se puede citar a Knop en Alemania, Crone, Arnon, Hoagland en Estados Unidos, Sarruge, Steiner en Holanda, etc.

El cultivo sin suelo requiere de un abastecimiento de nutrientes el cual lo recibe de la solución, la cual debe contener las especies químicas indicadas y además está regida por las leyes de la química inorgánica (Preciado, 2016). Uno de los problemas es el desconocimiento de los parámetros para la generación de la solución nutritiva usada en los cultivo hidropónicos (Martínez-Corral et al., 2009).

2.3.3.1. Parámetros de la solución nutritiva

2.3.3.1.1. pH

El valor óptimo de este parámetro varía entre 5.5 y 6.5 y para conseguir una mejor solubilidad se debería mantener entre 5 y 6 ya que con valores mayores de 6.5 habrá

precipitaciones; se debe controlar el pH con la finalidad de evitar la inmovilización del fósforo, manganeso y hierro y un valor alto provocaría la precipitación del calcio y el magnesio (Preciado, 2016). El agua antes de ser utilizada para la solución debería estar en un pH de 5,5 y después de hacer la solución se debe ajustar el pH hasta 5, si la solución tiene valores superiores a 5,5 se puede emplear un ácido fuerte para bajar el valor de pH (Preciado, 2016).

La forma química del fósforo depende este parámetro, así:

pH = 5 el fósforo se encuentra disociado en la forma H_2PO_4^-

pH = 6 el 95 % del fósforo está solubilizado

pH > 6,5 el 70 % o menos será soluble (Preciado, 2016).

Con respecto a la solubilidad del hierro, al aumentar el pH disminuye la disponibilidad de este elemento y para ello se usan quelatos (Preciado, 2016).

2.3.3.1.2. Temperatura

La temperatura óptima es de 22 °C y, si ésta disminuye, la absorción de nutrientes por parte de las plantas también se reduce, especialmente la absorción del fósforo. Cuando la temperatura es < 15 °C hay deficiencia de calcio, fósforo y hierro y se debe a que la endodermis de la raíz se suberiza reduciéndose la permeabilidad (Graves, 1983). La solución debería mantenerse a temperaturas cercanas a los 22 °C y evitar los rayos solares directos (Preciado, 2016). El crecimiento de las raíces está involucrado con la cantidad de oxígeno, y es así que a temperaturas cercanas a los 22 °C la concentración es de 9 ppm siendo óptima para cualquier tipo de cultivo (*SOLUCIÓN NUTRITIVA*, 2018).

2.3.3.1.3. Presión osmótica

Los iones de las sales disueltas ejercen una fuerza llamada presión osmótica y la conductividad eléctrica es una medida indirecta de ella, debido a que la multiplicación de la conductividad eléctrica por 0,36 nos da el valor de la presión osmótica. Mientras más alto es el valor de presión osmótica menor es la absorción de agua por parte de la planta, y ella debe gastar más energía para poder absorberla (Preciado, 2016). Al requerir mayor cantidad de energía afecta al crecimiento celular, reduciéndose la expansión celular, el área foliar y como resultado existe una disminución en el crecimiento de las plantas, ya

que esta energía en parte se desvía para poder absorber agua y no es usada para la elongación celular (Preciado-Rangel et al., 2003).

2.3.4. Fertilizantes

2.3.4.1. Nitrogenados

El nitrógeno es el elemento químico que se encuentra en sus formas más asimilables en estos abonos ya sea como amoníaco o nitrato (Tabla 8); estos abonos proceden, en menor cantidad de yacimientos y en mayor cantidad se producen sintéticamente a partir del nitrógeno del aire. Aunque las plantas estén rodeadas del nitrógeno del aire no son capaces de descomponer la molécula para poder asimilarlo a excepción de ciertos organismos, por lo tanto, el nitrógeno del aire es fijado y mediante la síntesis del amoníaco u otros procesos se obtiene el amoníaco para luego ser transformado en abonos como la urea, nitrato, etc. (Finck, 1988).

Tabla 8. Abonos nitrogenados importantes

Abonos	Nombre	Fórmula química	Contenido de nitrógeno (%)
Amoniacaes	Gas amónico	NH_3	82
	Agua amoniacal	NH_4OH	-
	Sulfato amónico	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21
Nítricos	Nitrato cálcico	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ etc.	16
	Nitrato sódico	NaNO_3	16
Amónico-nítricos	Nitrato amónico	NH_4NO_3	35
	Nitrato amónico cálcico	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$	26
	Nitrosulfato amónico	$\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{NH}_4)_2\text{S}$ O_4	26
Amidas	Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46
	Cianamida cálcica	$\text{Ca}[\text{N} \equiv \text{C}^-]_2$	22

Fuente: (Finck, 1988)

El nitrato no necesita de su transformación para que las plantas lo puedan asimilar, ya que es de rápida asimilación.

2.3.4.2. Cálcicos



Las reservas de calcio son muy abundantes y el material de partida es la caliza para posteriormente transformarse en abono o fertilizantes cálcicos; entre los abonos con aporte de calcio están: cloruro de calcio contiene 18% de calcio y es adecuado como abono foliar, el nitrato de calcio contiene 20% de calcio y también se agrupa en los abonos nitrogenados aportando nitrógeno, el sulfato de calcio contiene 23% de calcio, los abonos calizos y los fosfatos (Finck, 1988).

2.3.4.3. Sulfatados

Los abonos contienen azufre en forma de anión sulfato (Tabla 9) y se requiere de este elemento 2/3 partes del fósforo; existen yacimientos de donde proceden los compuestos sulfatados y se los utiliza como abonos foliares (Finck, 1988).

Tabla 9. Abonos con contenido de azufre

Abonos	Fórmula	Contenido de S en %
Sulfato amónico	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	24
Nitro-sulfato amónico	$\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	15
Sulfato potásico	K_2SO_4	18
Sulfato potásico magnésico	$\text{K}_2\text{SO}_4.\text{MgSO}_4$	23
Sulfato magnésico	$\text{MgSO}_4.7\text{H}_2\text{O}$	13
Superfosfato	FOSFATO+ CaSO_4	12
Yeso	$\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$	18
Sulfato de aluminio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3.18\text{H}_2\text{O}$	14

Fuente: (Finck, 1988)

2.3.4.4. Fertilizantes de hierro

Los abonos de hierro son sales o complejos orgánicos (quelatos) y son utilizados como abono foliar; el EDTA de hierro es el más apropiado para suelos ácidos y su uso es esencial para ayudar en la absorción de hierro por parte de las hojas, además, la fertilidad con hierro supone problemas por la fijación del mismo (Finck, 1988). En la solución nutritiva el hierro debe ser aportado en forma de quelato para favorecer su absorción por parte de la planta (Gilsanz, 2007).

2.3.4.5. Fertilizantes de manganeso

El sulfato de manganeso es la sal más conocida dentro de los abonos y se puede usar como abono foliar aparte de abono para el suelo; cuando se utiliza sobre el suelo supone un problema de inmovilización cuando el pH es alto y al igual que los fertilizantes de



hierro, el problema de deficiencia no se debe al empobrecimiento del suelo sino a la fijación (Finck, 1988).

2.4. FORMA DE ABSORCIÓN Y DEFICIENCIAS EN PLANTAS DE CHIRIMOYA

2.4.1. Macroelementos primarios

2.4.1.1. Nitrógeno (N)

La absorción de nitrógeno es menor por las raíces que por la vía foliar; cuando el nitrógeno es absorbido como nitrato es reducido a amonio en dos etapas, la primera es cuando se reduce a nitrito y la segunda es cuando el nitrito se reduce a amonio y todo este proceso es realizado con la energía de la respiración celular; El contenido de nitrógeno puede ser de 2,5-6 % de la materia seca y la deficiencia de este elemento se manifiesta con una proteólisis o ruptura de las proteína para movilizar el nitrógeno, de aquí la importancia de los aportes de nitrógeno en la solución nutritiva con un equilibrio entre cationes y aniones entre el amonio y el nitrato, de esta manera se evita en menor parte el incremento del pH que frecuentemente aparece cuando se está aportando nitrógeno solo como nitrato (Beltrano & Giménez, 2015).

Las raíces absorben el nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). Una de las funciones más importantes de este elemento es el desarrollo del tallo, crecimiento del follaje y formación de frutos, sin embargo, un exceso de este elemento tendría efecto en el desarrollo radicular, formación de frutos y el crecimiento del follaje sería exorbitante (M. Rodríguez & Floréz, 2004).

La clorosis en las hojas inferiores es producto de la deficiencia y en caso de que la deficiencia sea aguda, provoca una caída de las hojas tempranamente y la clorosis se expande (M. Rodríguez & Floréz, 2004). El tamaño de la planta y la hoja se ve afectado con una reducción de su tamaño, a partir de los 40 días después de la siembra, se podría observar en las hojas un amarillamiento intenso y luego su absición (Pinto et al., 2005). La reducción en el área foliar, es decir, con hojas pequeñas y retorcidas es síntoma de deficiencia (Castro, 2007).

2.4.1.2. Fósforo (P)

La absorción de fósforo ocurre en forma de anión monovalente fosfato (H_2PO_4^-) y en menor proporción como anión divalente (HPO_4^{2-}). El fósforo participa en el desarrollo radicular, fotosíntesis y en la síntesis del almidón; por lo tanto, la deficiencia de este elemento afectaría al desarrollo de la planta (M. Rodríguez & Floréz, 2004). Estas plantas podrían presentar enanismo. El contenido de fósforo puede ser entre 0,25 y 0,9 mg/g de materia seca (Beltrano & Giménez, 2015).

Las deficiencias de fósforo llegan a manifestarse 60 días después de la siembra con clorosis y las hojas se muestran de color verde mucho más pronunciado, además, cuando la deficiencia avanza las hojas se vuelven pequeñas, de forma irregular y con machas de color café (Pinto et al., 2005). Básicamente el color verde oscuro en las hojas basales son los síntomas de deficiencia acompañado de su marchitez y finalmente presentan necrosis (Castro, 2007). En frutales como el caso del babaco, las hojas pequeñas presentan puntuaciones verde-amarillentas y que con el transcurso del tiempo se generalizan, también las hojas bajas presentan un color verde azulado que pasa a púrpura, las hojas se desprenden sin estar marchitas y finalmente, a nivel radical existe poco crecimiento, pero pudiendo haber la presencia de pelos absorbentes (Leon et al., 2004a).

2.4.1.3. Potasio (K)

La absorción de este catión univalente se puede ver afectada por contenidos muy altos de Magnesio (Mg) y Calcio (Ca), disminuyendo su absorción. El K juega un papel importante en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas. La deficiencia de este elemento puede manifestarse con el estancamiento en el desarrollo, los entrenudos son cortos y el tallo es débil. Es importante un balance entre el Calcio y el Potasio (M. Rodríguez & Floréz, 2004).

Las deficiencias pueden hacerse notar 50 días después de la siembra con machas de color marrón que comienzan desde el ápice y base de la hoja, encontrándose luego; un alto contenido de K podría llevar a deficiencias de Mg y Zn (Pinto et al., 2005). En cuanto a la demanda de potasio es de 2 a 4 kg por año y su déficit es causante de quemadura en la punta de las hojas (Castro, 2007). En plantas de café la deficiencia de potasio se presenta con el amarillamiento en forma de banda por el margen de las hojas, áreas necróticas café rojizo y las hojas se desprendían con facilidad (Carvajal, 1960).

2.4.2. Macroelementos secundarios

2.4.2.1. Azufre (S)

La absorción del S ocurre como ion SO_4^{-2} y es reducido por las hojas antes de ser incorporado, así, el azufre pasa de valencia +6 a -2 (Beltrano & Giménez, 2015).

El Azufre forma parte de proteínas, vitaminas y numerosas enzimas. Los compuestos fertilizantes forman iones en el agua por lo que no se deberían mezclar las sales que aportan calcio con aquellas que aporten sulfatos o fosfatos (Leon et al., 2004a).

Al ser el azufre un elemento poco móvil tanto en el suelo como en la planta, las deficiencias se presentan en las hojas jóvenes 75 días después de la siembra con el amarillamiento de la hoja en general y las hojas más jóvenes son más pequeñas que las viejas (Pinto et al., 2005). En arroz la deficiencia de azufre se presenta con clorosis en hojas jóvenes mucho más pronunciada y la deficiencia de azufre podría confundirse con la de nitrógeno (Dobermann & Fairhurst, 2000).

2.4.2.2. Calcio (Ca)

El calcio es absorbido como ion calcio (Ca^{+2}) o quelato y está presente del 1 al 3,5 % de la materia seca y al igual que el calcio el manganeso puede ser absorbido como ion manganeso (Mn^{+2}) o quelato (Beltrano & Giménez, 2015). El calcio juega un papel importante para el crecimiento en densidad y longitud de los pelos radiculares. Además, es estabilizador de la pared celular y membrana plasmáticas (Sanz et al., s. f.).

La deficiencia de calcio puede provocar el no desarrollo de la planta, y las hojas y raíces nuevas se desarrollan con deformaciones, además, la deficiencia de calcio puede provocar una mayor absorción del magnesio, provocando toxicidad, por otra parte, un alto contenido regula la absorción de fósforo (M. Rodríguez & Floréz, 2004). Una buena relación de Ca y Mg está en 3:1 (Pinto et al., 2005). La clorosis intervenal es otro de los síntomas de deficiencia en hojas nuevas y aparecen 30 días después de la siembra, mientras que 70 días después el meristemo apical muere y las hojas se tuercen y paran de crecer (Pinto et al., 2005). En el ápice de la hoja se puede observar quemaduras y las hojas se enrollan en sí mismas, además la deficiencia de calcio disminuye la eficacia de carboxilación y por lo tanto reducción en la biomasa (Sanz et al., s. f.).



2.4.2.3. Magnesio (Mg)

Catión divalente (Mg^{+2}) es la forma de absorción del magnesio (M. Rodríguez & Floréz, 2004).

Una deficiencia de magnesio podría provocar clorosis en las hojas bajas de la planta, pudiendo generalizarse en caso de que la deficiencia persista (M. Rodríguez & Floréz, 2004). Otro de los síntomas es la clorosis intervenal en hojas jóvenes, 50 días después de la siembra; sin embargo, al ser el magnesio un elemento móvil los síntomas aparecen primero en hojas viejas (Mikkelsen, 2010).

2.4.3. Microelementos

2.4.3.1. Boro (B)

En forma de anión, $H_2BO_3^-$ es la manera en que las plantas absorben este elemento. El boro es uno de los elementos menos comprendidos en cuanto a los aportes en las plantas, sin embargo, la falta de él puede inhibir el crecimiento radicular y es, además, importante en la germinación del polen. Una falta de boro puede conducir a una clorosis intervenal en hojas maduras, y en cambio, un exceso de boro puede provocar clorosis y necrosis en el margen de las hojas (M. Rodríguez & Floréz, 2004).

Al ser un elemento inmóvil las deficiencias de boro se manifiestan en las hojas jóvenes y a los 70 días después de la siembra. Las hojas son de color verde intenso y presentan clorosis la cual es más pronunciada a los 140 días (Pinto et al., 2005). La clorosis no es uniforme y las hojas son ásperas y gruesas (Castro, 2007). Un aspecto general de la deficiencia de boro es la afección en la elongación de las células y división de las mismas en las raíces, acumulación de azúcar en los tejidos y compuestos fenólicos provocan necrosis del tejido (Alarcón, s. f.).

2.4.3.2. Hierro (Fe)

Las raíces absorben mayoritariamente a este elemento como catión Fe^{+2} y tanto en el suelo como en las soluciones se lo encuentra en forma de quelatos de Fe^{+2} y Fe^{+3} . Existe una reducción de Fe^{+3} en la superficie de las raíces antes de ser transportado (Leon et al., 2004).

La deficiencia de hierro provoca una clorosis intervenal en hojas jóvenes debido a que el hierro es inmóvil (M. Rodríguez & Floréz, 2004). Inicialmente las deficiencias se presentan en hojas con un color verde amarillento hasta volverse completamente amarillo (Pinto et al., 2005).

2.4.3.3. Manganeso (Mn)

La forma más comúnmente absorbida es como catión manganeso Mn^{+2} ; el manganeso es soluble en suelos ácidos y esta solubilidad se ve reducida a pHs alcalinos. La falta de este elemento podría afectar al proceso de fotosíntesis y su deficiencia afecta a las hojas jóvenes ya que es un elemento poco móvil (M. Rodríguez & Floréz, 2004).

Debido a que el magnesio es un elemento móvil las deficiencias aparecen en las hojas más viejas 50 días después de la siembra y una clorosis intervenal se manifiesta en las hojas jóvenes (Pinto et al., 2005). Las hojas jóvenes pueden ser de mayor tamaño que las normales en plantas de café (Martínez et al., 2009).

2.4.3.4. Zinc (Zn)

Es absorbida en forma de catión divalente Zn^{+2} o quelato. La deficiencia de zinc en las plantas podría llevar a un amarillamiento progresivo en las hojas y el tamaño de las mismas, podría reducirse. La disponibilidad de zinc se ve afectada por el pH ya que puede disminuir ante un pH alcalino (Amezcuca & Lara, 2017).

Las deficiencias provocan clorosis intervenal en las hojas y podrían presentar colores como verde pálido, amarillo o blanco, además aquí se puede presentar el síntoma de roseta (Pinto et al., 2005).

2.5. TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE

2.5.1. Sintomatología visual

La sintomatología de deficiencias es una técnica muy útil en el campo ya que nos permite conocer el estado nutricional de una planta. Cuando un cultivo no puede completar su función adecuadamente debido a la carencia de un nutriente existen los síntomas visuales característicos, los cuales no aparecen directamente, sino que dan lugar a otros procesos de desbalance nutricional en la planta. La sintomatología visual debe complementarse con análisis de suelo y planta, debido a que los síntomas podrían estar ligados no sólo a

la nutrición, sino que pueden estar relacionados a factores como el agua, luz, pH, temperatura. Además, existen otros factores relacionados a la nutrición como el exceso de un nutriente el cual puede ocasionar toxicidad y ser confundido con una deficiencia nutricional o enfermedades relacionadas con plagas propias de la fruta podrían ocasionar enfermedades, las cuales podrían ser confundidas con las deficiencias (Barbazán, 1998).

2.6. CULTIVO HIDROPÓNICO

El cultivo hidropónico se encuentra dentro de aquellos cultivos sin suelo y el aporte de nutrientes se hace mediante la solución nutritiva. Además, en estos cultivos no se puede perder de vista los factores como la temperatura, luz, agua. La hidroponía representa una alternativa en respuesta a la disminución de terrenos agrícolas (Beltrano & Giménez, 2015).

Las plantas se cultivan en un sustrato inactivo que no aporta ni retiene ningún elemento mineral, sin embargo, la alimentación es mediante riegos hídricos con aportes suficientes para su normal crecimiento. En la Tabla 10, se presentan las ventajas en inconvenientes de un cultivo en suelo versus un cultivo hidropónico.

Tabla 10. Ventajas y desventajas de un cultivo en suelo vs un cultivo hidropónico

	Cultivo en Suelo	Cultivo hidropónico
Ventajas	Técnica de cultivo con menor dificultad Efecto tampón del suelo Menor inversión	Dominio de la nutrición Fácil desinfección del sustrato Rendimientos elevados
Desventajas	Dependencia de la fertilidad del suelo Rendimientos limitados Dominio de malezas	Altos riesgos técnicos, en caso de presentar fallo de bombas o corte del agua. Inversiones elevadas

Fuente: (Beltrano & Giménez, 2015)



2.6.1. Sustratos

Los sustratos deben reunir características que permitan el desarrollo de los cultivos, debido a que en ellos se anclarán las raíces de las plantas y serán el sostén de estas. El sustrato debe reunir las siguientes características:

La retención de humedad y es función de la granulometría y la porosidad, si las partículas en el sustrato son gruesas, el agua pasará rápidamente. La aireación, que permite la respiración en las raíces. Estabilidad física, es decir, inerte química y biológicamente. Tener un buen drenaje, ser liviano y de bajo costo (Calderon & Cevallos, 2001).

Las granulometrías varían de un sustrato a otro, así, por ejemplo, aquellos sustratos de mayor granulometría 5-8 mm, tienen la ventaja de drenar bien y de estar bien aireados, pero, la retención de agua es baja lo que pudiera provocar problemas por falta de agua. Contrariamente, los sustratos de baja granulometría tienen mejor capacidad de retención de agua, pero, los problemas por asfixia causados por el mal drenaje son comunes y más peligrosos que los presentados cuando se tienen mayores granulometrías. Tanto el drenaje como la desinfección del sustrato son constituyentes importantes de este tipo de cultivos (Langlais & Ryckewaert, 2001). Tamaños de partículas $> 0,01$ mm el agua no estará disponible para las plantas ya que estará fuertemente retenida y tamaños desde 0,01 a 0,8 mm retienen gran parte del agua aplicada, pero es aprovechable (Valenzuela et al., 2014).

Los componentes de los sustratos pueden ser orgánicos como la turba de musgo, corteza de árboles, coco en trozos, cáscaras de arroz, etc., o pueden ser inorgánicos como la piedra pómez, perlita, arena, hidrogel, etc. (PRO-MIX, s. f.). Algunas de las características de los sustratos orgánicos y artificiales se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Características de los sustratos naturales y artificiales

	SUSTRATOS	CARACTERÍSTICAS
Naturales	Sustratos formados por arena	Buen drenaje Las mejores arenas para este fin son las del río. Capacidad de retención de agua media
	Sustratos formados por gravas	Buena estabilidad estructural Alta porosidad por lo que favorece la aireación Baja retención de agua La mejores son las de cuarzo
	Sustratos formados por grava volcánica	Compuesto principalmente por óxidos de silicio y aluminio. Contiene algunos macros y micronutrientes Capacidad de retención de agua es prácticamente nula
	Sustratos formados por turba	Turbas rubias (menos mineralizadas) y turbas negras (más contenido mineral y más estables)
	Sustratos compuestos de fibra de coco	Buena capacidad de retención de agua y buena capacidad de aireación. Contiene sales
	Sustratos ricos en estiércol	Se debe tratar previamente Alto contenido en materia orgánica Buena capacidad de retención de agua
	Humus de lombriz	Aporte excepcional de nutrientes
	Corteza de pino	Buena capacidad de aireación Capacidad de retención de agua media baja.
	Artificiales	Sustratos de perlita
Vermiculita		Alta capacidad de retención de agua y capacidad de aireación Está compuesto por silicatos de Al, Mg y Fe
Arlitas		Baja capacidad de retención de agua
Sustrato de lana de roca		Buena capacidad de retención de agua Se puede llegar a degradar con el tiempo

Fuente: (Principios básicos de los sustratos / PRO-MIX, s. f.)



La retención de la humedad es función de la granulometría del sustrato y la porosidad de las partículas que lo componen. Así, por ejemplo, 100 g de pómez puede retener 59,1 g de agua y a su vez, 100 ml de pómez puede retener 20. 4 ml de agua. Otro aspecto importante de la pómez es que el agua es retenida en la superficie y en el interior de las partículas. La piedra pómez posee además de buena retención de humedad buenas condiciones físicas de estabilidad y durabilidad (Valenzuela et al., 2014). En la Tabla 12 y 13 se presentan las principales propiedades y la denominación de algunos sustratos.

Tabla 12. Principales propiedades físicas de los sustratos

Sustrato	Tamaño de grano (mm)	Porosidad Total; % vol	Agua fácilmente disponible % vol	Agua de reserva % vol	Agua difícilmente disponible % vol
Arena de río	0.5 -2.0	38 - 42	15 - 35	1 -2	0.1 – 0.5
Grava	5 - 15	40	2	1	0.1 – 0.5
Piedra pómez	5 - 10	75	20 -40	5 - 8	2 - 5
Perlita	0.1 - 5	85 - 95	6 - 38	2 – 10	18 - 30
Turba	1 -2	90 - 95	18 - 28	6 – 8	24 -53

Fuente: (Valenzuela et al., 2014)

Tabla 13. Denominación de los sustratos

Sustrato	Estabilidad física	Propiedades químicas	Calidad biológica	Retención y aireación
Arena de río	Excelente	Buena	-	Medio
Grava	Excelente	Buena	Buena	Deficiente
Piedra pómez	Buena	Regulares	Excelente	Medio

Fuente: (Valenzuela et al., 2014)

3. METODOLOGÍA

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EXPERIMENTAL

3.1.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en condiciones de invernadero del programa de Frutales y en conjunto con el laboratorio de Suelos y Aguas en la Estación Experimental del Austro (EEA) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria (INIAP), el cual se encuentra ubicado en la provincia del Azuay, cantón Gualaceo (Gráfico 2) y cuyos datos se encuentran en la Tabla 14.

Tabla 14. Ubicación geográfica del experimento

Ubicación	Descripción
Provincia	Azuay
Cantón	Gualaceo
Parroquia	Gualaceo
Localidad	Bullcay
Latitud	02°51'55''S
Longitud	78°46'24''O
Altitud	2 230 m s. n. m.

Fuente: (Estación Experimental del Austro, 2018)



Gráfico 2. Ubicación geográfica del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias en el Austro

Fuente: (Google Earth, 2020)

3.1.2. Características climáticas

Las características del sitio experimental se presentan en la Tabla 15, las cuáles han sido medidas dentro del invernadero mediante sensores de temperatura y humedad, por el programa de Fruticultura dirigida por el Ing. Agr. Carlos Feicán para llevar a cabo previas investigaciones y el actual proyecto.

Tabla 15. Características climáticas del invernadero

Clima	Valores
Temperatura media (° C)	36
Temperatura baja (° C)	24
Humedad relativa media (%)	61
Humedad relativa baja (%)	36

Fuente: (Estación Experimental del Austro, 2018)

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Los insumos y equipos utilizados en la investigación se detallan en la Tabla 16 y 17. En la Tabla 16 se presentan los materiales usados durante la investigación en la etapa de trasplante, brotación y laboratorio, mientras que en la Tabla 17 se presentan los materiales de partida como los reactivos utilizados para la realización de solución nutritiva de macro y micronutrientes, y los reactivos agrícolas usados para la desinfección de las raíces e insecticida para el área foliar de la plata.

Tabla 16. Materiales usados en el invernadero y laboratorio para la investigación del elemento faltante

Materiales para Invernadero	Materiales y equipos de Laboratorio	Materiales y equipos de campo
Baldes (25L) Pomina Libro de campo Tabla de colores IRRI SPAD CMM-200 Calibrador Cinta métrica	Agua destilada Potenciómetro Conductímetro Balanza de precisión Pipetas	Tijeras de podar Navajas Libreta de campo Fundas de papel Cámara fotográfica

Tabla 17. Material biológico y reactivos químicos para la investigación del elemento faltante

Material biológico	Reactivos Químicos	Insumos Agrícolas
Plantas de Chirimoya Clon INIAP-FABULOSA 2015	Fosfato diácido de potasio (KH_2PO_4)	Insecticida (Cipermetrina)
	Fosfato diácido Amonio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)	
	Nitrato de potasio (KNO_3)	Vitavax
	Nitrato de Amonio (NH_4NO_3)	
	Nitrato de Magnesio ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$)	
	Nitrato de calcio tetra-hidratado ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	
	Cloruro de potasio (KCl)	
	Cloruro de Calcio (CaCl_2)	
	Cloruro de Zinc (ZnCl_2)	
	Cloruro de manganeso tetra-hidratado ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	
	Ácido bórico (H_3BO_3)	
	Sulfato de Amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	
Sulfato de Magnesio hepta-hidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)		
EDTA, sal disódica, di-hidrato, cristal ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{N}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)		

3.3. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

3.3.1. Soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas son específicas para cada tratamiento y se prepararon 14 soluciones madre con cada fuente de fertilizante (Anexo 8.3 y 8.12). Para las soluciones madre se pesó cada uno de los fertilizantes en una balanza, se disolvió en agua destilada, se aforó a un litro y se homogeneizó. De las soluciones madre se tomaron alícuotas de acuerdo con el tratamiento y nuevamente se aforaron a 1 litro, obteniendo las soluciones nutritivas para cada uno de los tratamientos. Las alícuotas para el tratamiento completo se muestran en la Tabla 18.



Tabla 18. Alícuotas para la solución nutritiva completa

Fuente de fertilizante	Fórmula	Concentración	Alícuota (ml)
Fosfato diácido de potasio	KH_2PO_4	0,5 M	1
Nitrato de potasio	KNO_3	0,5 M	5
Nitrato de Calcio tetra-hidratado	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,5 M	5
Sulfato de magnesio hepta-hidratado	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,5 M	2
Cloruro de potasio	KCl	0,5 M	-
Cloruro de calcio	CaCl_2	0,5 M	-
Fosfato diácido de amonio	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0,5 M	-
Nitrato de amonio	NH_4NO_3	0,5 M	-
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,5 M	-
Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	0,5 M	-
EDTA, Sal disódica, di-hidrato, cristal	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{N}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,5 M	1
Ácido bórico	H_3BO_3	1M	1
Cloruro de manganeso tetra-hidratado	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1M	1
Cloruro de Zinc	ZnCl_2	1M	1

Solución completa: La solución completa fue preparada semanalmente para regar durante los 3 primeros meses a todos los tratamientos.

Tratamientos de omisión: los tratamientos con omisión de elementos se prepararon después de los 3 primeros meses, una vez por semana. En el Anexo 8.12 se muestran los mg L^{-1} aportados por cada uno de los elementos en los diferentes tratamientos.

3.4. MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.4.1. Preparación del sustrato

El sustrato es la pomina o más comúnmente conocida como piedra pómez. La pomina es el sustrato responsable de proteger las raíces ancladas a él y retener la solución nutritiva, necesaria, para el correcto desarrollo de las plantas.

La pomina es un sustrato inorgánico, el cual debe ser preparado antes de su utilización en los cultivos. El sustrato se lavó con agua destilada y posteriormente se lo cernió en un tamiz de 5 mm con el objetivo de eliminar las arenas remanentes en él y lograr uniformidad en el material, luego se lavó nuevamente con agua destilada para garantizar de esta manera la eliminación de impurezas que pudieron quedar y se lo dejó escurrir por 20 minutos aproximadamente para así finalmente dejarlo secar en su totalidad a temperatura ambiente y durante 24 horas.

Al transcurrir el tiempo de secado, se procedió a utilizar el sustrato seco para realizar los trasplantes.

3.4.1.1. Capacidad de campo del sustrato

Para determinar el agua necesaria se colocó 6,5 kg de pomina previamente preparada dentro de cinco recipientes de 25 L de capacidad y se añadió un volumen diferente de agua destilada para cada uno tal como se muestra en la Tabla 19 por un tiempo de reposo de 15 min y luego se recogió el residuo de agua (Anexo 8.1).

Tabla 19. Determinación de la capacidad de campo

Recipientes	1	2	3	4	5
Agua (ml)	200	400	600	800	1000
Percolado(ml)	-	-	140	212	540

Los recipientes para utilizar son baldes, en los cuales se tiene un orificio en la parte inferior, aproximadamente a 4 cm de la base, conectados mediante codos a una manguera que permitirá la salida del percolado.

Se observó que en los recipientes 1 y 2 no hubo ningún percolado, mientras que, en el 3, 4, y 5 si hubo. Se consideró que en el espacio de la base al orificio pudo quedar agua que no alcanzaba a llegar a la salida. En el recipiente 1 y 2 no hubo percolado, sin embargo, en el recipiente 2 se observó una película de agua en la base.

Nuevamente se procedió a realizar la determinación de capacidad de campo, tomando como límite el recipiente número 1 que contiene 200 ml de agua. Se realiza el mismo procedimiento anterior, pero diferenciándolo en que se hace uso de papeles y agua coloreada, como se muestra en la Tabla 14, cuyo objetivo es observar los niveles de papel que el agua pudo traspasar. Se colocó papel y una capa de sustrato y seguido, se colocó el agua coloreada.

Tabla 20. Determinación de la capacidad de campo bajo límites

Recipiente	1	2	3
Agua coloreada (ml)	150	200	250

De acuerdo con esto se determinó el volumen de agua capaz de mantener al sustrato con una humedad adecuada, debido a que los papeles de los recipientes 2 y 3 estuvieron con humedad excesiva lo que pudiera causar pudrición radicular.

3.4.1.2. Determinación del pH

Para la determinación de pH se siguió el siguiente procedimiento:

Se realizó un muestreo del sustrato tomando 10 puntos de referencia, garantizando así, la representatividad de la muestra (Anexo 8.4). Se aireó (sombra) para asegurar que la muestra se encuentre seca, luego se molió la muestra haciendo uso de un molino manual (Anexo 8.5) y se tamizó la muestra (0,2 mm). Se colocó una cantidad exactamente conocida (20 ml) de suelo seco y molido en un vaso de precipitación y se añadió agua destilada en una proporción 1:2,5 (20 ml suelo + 50 ml agua destilada). Se agitó durante 5 minutos a 400 rpm en un agitador orbital y se realizaron las lecturas con el pH-metro. El pH-metro debe ser calibrado previamente con las soluciones buffer de pH 7.00, 4.00 y



10.00; luego, se introduce el electrodo en la muestra y se procede a realizar la lectura de pH. Después de realizada la medición se debe lavar el electrodo con agua destilada.

3.4.1.3. Determinación de la conductividad eléctrica

Para la determinación de la conductividad eléctrica se siguió el siguiente procedimiento:

Se realizó un muestreo del sustrato, tomando 10 puntos de referencia, garantizando así la representatividad de la muestra (Anexo 8.4). Se aireó (sombra) para asegurar que la muestra se encuentre seca, luego se molió la muestra haciendo uso de un molino manual (Anexo 8.5) y se tamizó la muestra (0,2 mm). Se colocó una cantidad exactamente conocida (100 ml) de suelo seco y molido en un vaso y se agregó agua destilada hasta formar una pasta saturada de suelo (formación de espejo en la superficie) y se agitó durante 3 minutos con una varilla de vidrio, luego se dejó reposar durante las siguientes 24 h para solubilizar las sales contenidas en el sustrato. Trascorridas las 24 h se filtró al vacío y se realizó la lectura con el uso de un conductímetro (Anexo 8.6).

La lectura es expresada en mS/cm.

Después de realizada la medición se debe lavar el electrodo con agua destilada.

3.4.2. Trasplante

Se utilizaron 38 plantas de chirimoya clon INIAP Fabulosa 2015, injertada de un año. Las plantas se encontraban sembradas en fundas con un sustrato en la proporción de 8, 4, 2 y 2 partes de suelo negro andino, suelo común, limo y abono orgánico respectivamente. Así como también han sido fertilizadas con cloruro de potasio y 18-46-00 en dosis de 0,5 gramos por funda.

Para llevar a cabo el trasplante es necesario preparar las plantas que se encuentran en las fundas y para ello se procedió a cortar la funda por uno de sus lados con la ayuda de una navaja y se retiró la misma y así retirar la tierra anclada a las raíces. Se sumergieron las plantas en recipientes con agua potable por 15 minutos aproximada y nuevamente se lavaron las raíces con agua potable con el objetivo de retirar todo el suelo que aún quedaba. Finalmente, las raíces se sumergieron durante 5 minutos en vitavax para la desinfección del sistema radical y cuello de la planta permitiendo tener una alta efectividad en el control de enfermedades, especialmente fusarium, risoctonia, armilaria, etc. (Anexo 8.2).

Se trasplantó los 38 injertos al nuevo sustrato (pomina), que fue preparado como se indicó en la sección 3.4.1., contenido en cada uno de los recipientes de 25 L de capacidad con 6,5 kg de pomina; pero, antes, se midió la altura de la planta y la altura de la raíz. La altura de la raíz se mide desde el cuello de la raíz hacia la punta terminal más larga y altura de la planta se mide desde el cuello de la raíz hasta el brote terminal. Después de realizar el trasplante y compactar suavemente el sustrato (pomina), se podó las ramas secundarias y se dejó solamente la rama principal con el fin de obtener una brotación uniforme.

3.4.3. Manejo del experimento en la primera etapa

En la primera etapa del proyecto, se pretende que todas las plantas reciban una nutrición adecuada y completa, logrando un desarrollo inicial correcto. Después del trasplante se aplicó Dormex al 0.5 % en las yemas de las plantas para estimular y uniformizar la brotación. Durante 70 días las plantas recibieron riegos, los 5 primeros días el riego fue con agua destilada y los días restantes recibieron dosis de solución completa. El lugar en el que se llevó a cabo el experimento tenía temperatura superior a 40 °C, por lo que se colocó una tira de saram bajo el techo, logrando disminuir la temperatura y evitar la quemadura de las hojas; así mismo, los tratamientos son colocados en bloque y se rotan semanalmente. Finalmente, transcurridos estos meses se observó que todos los tratamientos se encuentran con hojas nuevas y de acuerdo con esto, se procede con los riegos específicos en los que se omiten los nutrientes.

3.4.3.1. Rotación de cultivos

Los tratamientos fueron colocados en bloques dentro del invernadero (Anexo 8.14) como se muestra en el gráfico 3, colocando las repeticiones número 1, luego las repeticiones número 2 y finalmente las número 3 en dos diferentes columnas. Así, por ejemplo, T₉R₁ (Tratamiento 9, Repetición 1) se encuentra en la columna 1 de la parte media del invernadero, T_AR₂ (Tratamiento absoluto, Repetición 2) se encuentra en la parte superior derecha de la columna 2.

1		2	
T ₅ R ₂	INVERNADERO	T ₆ R ₂	
T ₄ R ₂		T ₇ R ₂	
T ₃ R ₂		T ₈ R ₂	
T ₂ R ₂		T ₉ R ₂	
T ₁ R ₂		T ₁₀ R ₂	
T _C R ₂		T _A R ₂	
R ₁		R ₂	
T _A R ₁		T _C R ₃	
T ₁₀ R ₁		T ₁ R ₃	
T ₉ R ₁		T ₂ R ₃	
T ₈ R ₁		T ₃ R ₃	
T ₇ R ₁		T ₄ R ₄	
T ₆ R ₁		T ₅ R ₅	
T ₅ R ₁		T ₆ R ₃	
T ₄ R ₁		T ₇ R ₃	
T ₃ R ₁		T ₈ R ₃	
T ₂ R ₁		T ₉ R ₃	
T ₁ R ₁		T ₁₀ R ₃	
T _C R ₁		T _A R ₃	
SALIDA			

Gráfico 3. Esquema de rotación inicial en el invernadero

T (tratamiento)

R (repeticiones)

Para asegurar que todos los tratamientos estén en igualdad de condiciones es necesario realizar una rotación, la que se hará semanalmente intercambiando una a una de las macetas de derecha a izquierda. El esquema de rotación se muestra a continuación (Gráfico 4)

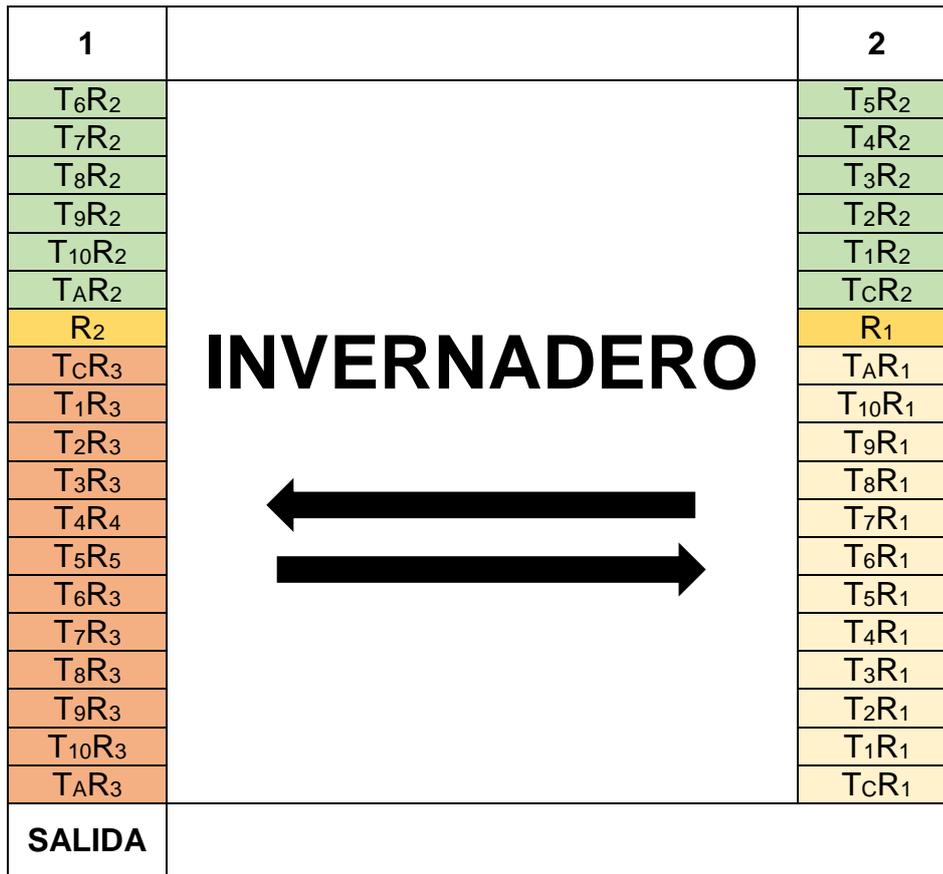


Gráfico 4. Esquema de rotación en el invernadero

T (Tratamiento)
R (Repeticiones)

3.4.3.2. Preparación del dormex y aplicación

El dormex se aplicó a los 17 días después del trasplante (ddt) y se preparó Dormex al 0,5 %, y luego con la ayuda de hisopo colocar solamente en las yemas de las plantas, ver Anexo 8.7.

$$Dormex\ 0,5\% = \frac{0.5\text{litros } H_2O \times 500\text{cm}^3}{100\text{litros } H_2O}$$

$$Dormex\ 0.5\% = 2,5\text{cm}^3$$

Tomar 2,5cm³ de dormex y diluir en 500cm³de agua

3.4.3.3. Brotación

Al aplicar el Dormex se observó que la primera brotación fue 5 días después, como se muestra en la Tabla 21. Los tratamientos T₄R₂ (tratamiento 4 repetición 2 sin calcio) y T₃R₁ (tratamiento 3 repetición 1 sin potasio) no presentaron brotación alguna, sin

embargo, se tenían dos tratamientos emergentes los cuales suplirán a estos dos, siendo el R1 y R2. A los 16 días después de la aplicación de Dormex se tuvo un 68,42 % de brotación, del cual el 39,47 % constituyen a los tratamientos de la columna 2 de la figura 2 y el 28,94% los de la columna 1 de la figura 4. La luz en la columna 2 era más pronunciada por lo que se tuvo resultados más pronto y de acuerdo a esto para garantizar homogeneidad de condiciones es necesario rotar semanalmente las plantas de una columna a otra.

Tabla 21. Brotación de cada uno de los tratamientos después de la aplicación de Dormex al 5 %

BROTACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS				
Días después de aplicar Dormex	Repeticiones			Rotación
	R1	R2	R3	
5	-	T8	-	1
9	R1	T7	T2 TA	1
14	T2 T4 T7 T9 T10	T1 T2 T6 T10 TA R2	TC T3 T4 T5 T6 T8 T9	1
16	T6	TC T5	-	1
21	TA	T3	-	2
23	TC T1 T5 T8	T9	T1	2
26	-	-	T7 T10	2

T (Tratamientos)

3.4.4. Manejo del experimento en la segunda etapa

Al concluir la primera etapa, se procedió a regar de acuerdo con el tratamiento que corresponda. La solución es preparada semanalmente en el laboratorio de Suelos y Aguas de la Estación Experimental del Austro y posteriormente llevada al lugar del experimento.



Se requieren de grandes volúmenes de agua destilada para la preparación de las soluciones. Además, las plantas tienen más necesidad de agua conforme crecen, por lo que, la cantidad de solución nutritiva en ellas es mayor.

3.5. FACTOR EN ESTUDIO

El factor en estudio es el tipo de fertilización aplicada en diferentes tratamientos con un experimento bajo invernadero. Son 12 tratamientos con fertilización diferente y 3 repeticiones cada uno, con un total de 36 unidades experimentales.

3.5.1. Tratamientos

En la Tabla 22 se detallan los tratamientos evaluados

Tabla 22. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Código	Descripción	Elementos										
Completo	Tc	Solución completa	(N,	P,	K,	Ca,	Mg,	S,	B,	Fe,	Mn,	Zn)	
-N	T1	Solución sin nitrógeno	(__,	P,	K,	Ca,	Mg,	S,	B,	Fe,	Mn,	Zn)	
-P	T2	Solución sin fósforo	(N,	__,	K,	Ca,	Mg,	S,	B,	Fe,	Mn,	Zn)	
-K	T3	Solución sin potasio	(N,	P,	__,	Ca,	Mg,	S,	B,	Fe,	Mn,	Zn)	
-Ca	T4	Solución sin calcio	(N,	P,	K,	__,	Mg,	S,	B,	Fe,	Mn,	Zn)	
-Mg	T5	Solución sin magnesio	(N,	P,	K,	Ca,	__,	S,	B,	Fe,	Mn,	Zn)	
-S	T6	Solución sin azufre	(N,	P,	K,	Ca,	Mg,	__,	B,	Fe,	Mn,	Zn)	
-B	T7	Solución sin boro	(N,	P,	K,	Ca,	Mg,	S,	__,	Fe,	Mn,	Zn)	
-Fe	T8	Solución sin hierro	(N,	P,	K,	Ca,	Mg,	S,	B,	__,	Mn,	Zn)	
-Mn	T9	Solución sin manganeso	(N,	P,	K,	Ca,	Mg,	S,	B,	Fe,	__,	Zn)	
-Zn	T10	Solución sin zinc	(N,	P,	K,	Ca,	Mg,	S,	B,	Fe,	Mn,	__)	
Absoluto	TA	Solución sin elementos	(__,	__,	__,	__,	__,	__,	__,	__,	__,	__)	

3.5.2. Características del experimento

En la Tabla 23 se detallan las unidades experimentales usadas en esta investigación. Los 12 tratamientos se especificaron en la sección 3.5.1. El total de los tratamientos evaluados son 36 unidades experimentales.

Tabla 23. Unidades experimentales

Tratamientos	12	T _C , T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄ , T ₅ , T ₆ , T ₇ , T ₈ , T ₉ , T ₁₀ , T _A
Repeticiones de cada tratamiento	3	R ₁ , R ₂ , R ₃
Total, de unidades experimentales	36	T _C R ₁ , T _C R ₂ , T _C R ₃ , T ₁ R ₁ , T ₁ R ₂ , T ₁ R ₃ , T ₂ R ₁ , T ₂ R ₂ , T ₂ R ₃ , T ₃ R ₁ , T ₃ R ₂ , T ₃ R ₃ , T ₄ R ₁ , T ₄ R ₂ , T ₄ R ₃ , T ₅ R ₁ , T ₅ R ₂ , T ₅ R ₃ , T ₆ R ₁ , T ₆ R ₂ , T ₆ R ₃ , T ₇ R ₁ , T ₇ R ₂ , T ₇ R ₃ , T ₈ R ₁ , T ₈ R ₂ , T ₈ R ₃ , T ₉ R ₁ , T ₉ R ₂ , T ₉ R ₃ , T ₁₀ R ₁ , T ₁₀ R ₂ , T ₁₀ R ₃ , T _A R ₁ , T _A R ₂ , T _A R ₃

3.5.3. Diseño experimental

Para esta investigación se aplicará un diseño completamente al azar (DCA), donde se evaluará el efecto del elemento faltante en las características agronómicas del cultivo de chirimoya. El esquema de ANOVA es puntualizado en la Tabla 24.

Tabla 24. Esquema de análisis de varianza

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	35
Tratamientos	11
Error	24

3.5.4. Variables y métodos de evaluación

Las variables estudiadas en esta investigación y el método de evaluación usado se muestran en la Tabla 25. Se especifica la forma en que se evaluaron estas variables durante la ejecución de esta investigación (Anexo 8.13).

Tabla 25. Variables y métodos de evaluación en las deficiencias de macro y microelementos en plantas de chirimoya

Variables	Métodos de evaluación
Tamaño de la hoja	Se tomaron 3 hojas de la parte media de la planta y previo a realizar la medición de largo y ancho de la misma, se las señaló con una numeración de 1, 2 y 3. La medición se realizó con una regla y el resultado se expresó en cm, además la medición se realizó una vez por semana durante 3 meses.
Distancia de entrenudos	La distancia de entrenudos se hizo respecto a las 3 hojas señalizadas para el tamaño de hojas de la parte media. Se realiza la medición de la distancia entre la hoja 1 y 2, 2 y 3, y 3 a un entrenudo cercano. Esta medición se realizó una vez por semana durante tres meses con la ayuda de una regla y su resultado fue expresado en cm.
Diámetro del tallo	Esta medición se realiza a 3 cm del injerto y se señala. La medición se realiza con un calibrador y se expresa en mm. Esta medición se realizó una vez por semana durante tres meses.
Altura de la planta	Esta medición se realiza desde el injerto hasta el ápice vegetativo. Para su medición se utiliza una regla y su resultado se expresó en cm. Esta medición se realizó una vez por semana durante tres meses.
Color de las hojas	Se realizará utilizando la Tabla de Comparación de Colores (TCC), desarrollada por el IRRI (2003); para ello se evaluará 3 hojas de la parte alta, media y baja de la planta cada 15 días.
Clorofila	Se utilizó el equipo SPAD-CMM 200 una vez por semana.
Diagnóstico visual	Se registrarán los cambios ya sea de color, forma y tamaño que se presenten en las hojas de las plantas en los diferentes tratamientos.
Temperatura	La temperatura se realizó tres veces por semana durante 3 meses con un termómetro ubicado en el lugar del experimento.
Área Foliar	El área foliar se realizó una sola vez y al final del proyecto y para ello fue necesario podar todas y cada

una de las hojas. Se requirió montar una cámara fotográfica en un soporte a una altura de 28 cm, además se colocó papel de color rosado de 0,2 m x 0,25 m, sobre la cual se colocó un vidrio esmerilado de 3 mm de espesor, y adicionalmente se trazó una escala de 2 cm sobre la cartulina.

Las hojas se colocaron entre el papel rosado y el vidrio esmerilado y se fotografió para luego llevarlas a un análisis en Image J.

Biomasa

Esta variable se tomó una sola vez y al final del proyecto y para ello se podaron las hojas, se dividió el tallo de la raíz y se los colocó en fundas de papel para registrar el peso fresco mediante una balanza de precisión. Posterior las muestras se secaron a 65 °C en una estufa por 72 H y se procedió a registrar el peso seco.

3.5.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó para las variables numéricas y categóricas en el programa InfoStat. El programa en mención realiza diversos análisis estadísticos sobre una tabla de datos activa (Tabla 26) y las salidas se presentan en formatos propios de dicho programa. Al tratarse de un diseño completamente al azar (DCA) se obtuvieron datos semanales para cada uno de los tratamientos lo que permitió la comparación entre las medias dadas por InfoStat. Todas las comparaciones se hicieron en base a las variaciones semanales que se obtuvieron y en otros casos a las variaciones trimestrales.

Tabla 26. Entrada de datos en InfoStat para cada una de las variables

Variable respuesta	VARIABLES (Alturas, diámetro, biomasa, distancia de entrenudos, tamaño de hojas)
Factor	Tratamientos con 12 niveles: T _C , T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄ , T ₅ , T ₆ , T ₇ , T ₈ , T ₉ , T ₁₀ , T _A
Modelo equilibrado	Cada uno de los tratamientos tiene el mismo número de repeticiones
Tamaño del experimento	36 unidades experimentales



Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks (modificada) mediante el programa InfoStat para las variables altura total, altura raíz, altura tallo, diámetro del tallo y biomasa (Tabla 27). InfoStat permite probar si la variable en estudio tiene distribución normal y se realiza con el estadístico de Shapiro-Wilks modificado por Mahibbur y Govindarajulu (1997). La hipótesis de prueba es: H0: las observaciones tienen distribución normal; versus H1: las observaciones no tienen distribución normal. De acuerdo a los valores presentados de p-valor se realiza el ANOVA paramétrico (p-valor > 0,05) o no paramétrico de Kruskal Wallis (p-valor < 0,05) para las variables.

Tabla 27. Pruebas estadísticas para las variables evaluadas en la evaluación de deficiencias nutritivas

Variables evaluadas	Período de Datos	Pruebas estadísticas
Altura Total de la planta Altura Total de raíz	Datos al trasplante y a los 154 días después del trasplante	Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilks (modificado) ANOVA Tasa de crecimiento
Altura tallo Diámetro del tallo		Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilks (modificado). ANOVA Tasa de crecimiento semanal
Tamaño de las hojas (largo y ancho) Distancia de entrenudos	Datos semanales desde los 81 ddt momento en que la brotación era uniforme hasta los 151 ddt.	ANOVA Tasa de crecimiento semanal Tasa de crecimiento semanal
Medidor de clorofila		ANOVA
Comparación de colores IRRI	Datos quincenales Datos desde los 81 ddt hasta los 151 ddt	Prueba no paramétrica de Kruskal Walis
Temperatura	Datos desde los 81 ddt hasta los 151 ddt, tres veces por semana.	ANOVA



Área foliar		ImageJ
Biomasa	Se evaluó una sola vez al final de la investigación, a los 154 ddt, al final de la investigación	ANOVA Prueba funcional de Bonferroni al 5 % Prueba de LSD Fisher al 5 % para biomasa
Análisis de laboratorio Muestreo. pH, y CE	Datos mensuales antes del trasplante y a partir de los 81 ddt hasta los 151 ddt.	
Análisis de macro y microelementos	A los 154 ddt, al final de la investigación	ANOVA

La tasa de crecimiento es la diferencia entre dos valores en el tiempo, para este caso calculó la tasa de crecimiento semanal para tener una idea de los cambios que se produjeron de una semana a otra para las variables.

Además, se realizó un análisis funcional en el caso de encontrarse diferencias significativas en el análisis estadístico para los tratamientos, se aplicó la prueba de significación de Bonferroni al 5 %.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRUEBA DE NORMALIDAD

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks (modificada) mediante el programa InfoStat, explicada en el 3.5.5., para altura total, altura raíz (Tabla 28) altura desde el tallo, diámetro del tallo (Tabla 29) y biomasa (Tabla 30). El p-valor para las variables altura total, altura raíz, altura tallo y biomasa es mayor a 0,05 (p-valor > 0,05), por lo que la hipótesis nula (Ho: las observaciones tienen distribución normal) se acepta, la cual indica que los datos si distribución normal. Para la variable diámetro del tallo el p-valor es mayor a 0,05 (p-valor > 0,05) hasta los 88 ddt (distribución normal), pero a partir de los 95 ddt hasta los 151 ddt el p-valor es menor a 0,05 (p-valor < 0,05), es decir, esta población no tiene una distribución normal.

Tabla 28. Prueba de normalidad de Shapiro Wilks para las variables altura total y altura raíz, en la evaluación de deficiencias nutricionales de chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA 2019

Variables	p-valor	
	0 ddt	154 ddt
Altura Total (cm)	0,2783	0,2472
Altura raíz (cm)	0,2168	0,6883

p-valor > 0,05 (distribución normal)
ddt (días después del trasplante)

Tabla 29. Prueba de normalidad de Shapiro Wilks para las variables altura tallo y diámetro tallo, en la evaluación de deficiencias nutricionales de chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA 2019

Variables	p-valor										
	(ddt)										
	81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
Altura tallo (cm)	0,4078	0,5681	0,3603	0,4776	0,7489	0,8707	0,9190	0,9103	0,9103	0,8500	0,8302
Diámetro del tallo (mm)	0,0234	0,0242	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

p-valor > 0,05 (distribución normal)
ddt (días después del trasplante)

Tabla 30. Prueba de normalidad de Shapiro Wilks para la variable biomasa, en la evaluación de deficiencias nutricionales de chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019.

Variable	p-valor 159 ddt
Materia seca (%)	0,1514

p-valor > 0,05 (distribución normal)
ddt (días después del trasplante)

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES

4.2.1. Altura total de la planta (cm)

Los datos de la variable altura total de la planta fueron obtenidos al inicio (trasplante) y al final de la investigación, es decir, a los 154 días después del trasplante como se muestra en la Tabla 31. Los tratamientos carentes de N, Zn y B son los que presentaron menor crecimiento 94,67 cm, 107,67 cm y 96,0 cm respectivamente, mientras que los tratamientos sin Mn, K y completo presentaron mayor crecimiento.

Tabla 31. Altura inicial y final de la planta en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA, 2019

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	
	Inicial	Final (154 ddt)
TC Completo	70,3	111,7
T1 -N	99,7	94,7
T2 -P	81,0	117,0
T3 -K	61,3	102,0
T4 -Ca	72,3	108,8
T5 -Mg	69,0	102,0
T6 -S	64,3	101,0
T7 -B	75,3	96,0
T8 -Fe	84,3	120,7
T9 -Mn	67,8	117,0
T10 -Zn	89,0	107,7
TA Testigo	71,7	110,7

ddt (días después del trasplante)

La mayor tasa de crecimiento en altura de la planta a los 154 días después del trasplante la presentó T₉ (-Mn), T_c (completo) y T₃ (-K), mientras que T₁ (-N), T₁₀ (-Zn) y T₇ (-B) obtuvieron la menor tasa de crecimiento; los tratamientos restantes tuvieron un crecimiento de 33 a 39 cm. El tratamiento T₁ (-N) experimentó disminución en el tamaño de la planta (Tabla 32).

Tabla 32. Tasa de crecimiento para altura de la planta a los 154 días después del trasplante (154 ddt), en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA, 2019

Tratamientos		Tasa de crecimiento
		154 ddt
TC	Completo	41,3
T1	-N	-5
T2	-P	36,0
T3	-K	40,7
T4	-Ca	36,5
T5	-Mg	33,0
T6	-S	36,7
T7	-B	20,7
T8	-Fe	36,3
T9	-Mn	49,2
T10	-Zn	18,7
TA	Testigo	39,0

ddt (días después del trasplante)

El ANOVA para la variable altura de la planta (Tabla 33), mostró inicialmente p-valor menor a 0,05 ($0,0184 < 0,05$) y a los 154 días después del trasplante p-valor mayor a 0,05. A los 154 ddt las diferencias son estadísticamente no significativas.

Tabla 33. Análisis de varianza para altura de la planta a los 154 días después del trasplante (154 ddt), en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA, 2019

F.V.	G.L.	CM	F	p-valor
Tratamientos	11	213,46	0,53	0,8637
Error	24	402,81		
Total	35			
CV (%)		18,68		
\bar{x}		107,43		

p-valor > 0,05 diferencias estadísticas no significativas

Se concuerda con Rodríguez & Floréz (2004), quienes afirman que el nitrógeno es un elemento esencial en el crecimiento longitudinal del tallo y la deficiencia puede provocar un crecimiento atrofiado, además, Pinto et al. (2005) relaciona las deficiencias de nitrógeno con una reducción del tamaño de planta lo que ocurrió en esta investigación. Así mismo Rodríguez & Floréz (2004) creen que la deficiencia de Zinc (Zn) provoca retardo en la elongación del tallo, debido a la disminución de ácido indol-3-acético; además, Mora (2019), sostiene que el Boro (B) es esencial para el crecimiento de plantas

promoviendo la elongación de células, y con la ausencia de este elemento, no se promovería la división celular apropiada, afectando de esta manera el crecimiento.

4.2.2. Altura medida desde el tallo (cm)

Los datos para la variable altura tallo fueron tomados a lo largo de 11 semanas. Las medias estadísticas (Tabla 34), mostraron que desde los 70 ddt hasta los 95 ddt, los tratamientos tienen elongación normal del tallo, sin embargo, a los 102 ddt, el crecimiento de T_A (-Ca) y T₇ (-B) ya no es positivo sino negativo, al igual que a los 130 ddt para T₁₀ (-Zn) y T_A (testigo). A los 137 ddt, todos los tratamientos mantuvieron constante el valor de crecimiento, y dicha constante se mantuvo hasta los 144 ddt para T₂ (-P), T₁₀ (-Zn) y T_A (testigo). El T_c (completo), T₁ (-N), T₃ (-K), T₅ (-Mg), T₇ (-B), T₈ (-Fe) Y T₉ (-Mn) mantuvieron un crecimiento paulatino hasta los 123 ddt. Evidentemente, T₉ (-Mn) es el tratamiento con mayor crecimiento a los 116 ddt hasta los 130 ddt, así mismo, desde los 130 ddt el tratamiento T_A (testigo) tiene menor crecimiento.

Tabla 34. Medias estadísticas para la variable altura de la planta (tallo), en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019

Tratamientos	Medias estadísticas para altura planta (cm)											
	(ddt)											
	70	81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
TC Completo	55	56,7	58,3	60,2	60,6	61,9	62,2	63	63,6	63,6	64,4	64,9
T1 -N	38,9	40,5	40,8	42,1	43,5	50,8	52,1	52,9	53,2	53,2	53,7	54,6
T2 -P	52,3	53,6	58	60,4	61,4	63,4	64,7	65,8	65,9	65,9	65,9	66,2
T3 -K	47,3	47,7	49,7	50,1	53,1	53,9	54,8	55,5	56,6	56,6	57,1	57,5
T4 -Ca	42	43,7	45,9	49,1	48,9	49,4	49,6	50,6	50,6	50,6	51,2	51,4
T5 -Mg	47,8	48,2	50,2	51	51,5	52,6	53,8	54,2	54,8	54,8	55,3	56
T6 -S	41,9	43,8	44,9	45,4	45,7	46,6	47,1	47,1	47,2	47,2	47,3	47,3
T7 -B	41,2	43,5	47,2	48,1	48	49,4	50,6	51,5	52,2	52,2	52,7	53,3
T8 -Fe	54,4	55,7	59,4	59,9	60,6	62,4	63,6	64,2	65,4	65,4	65,9	66,6
T9 -Mn	43,9	44,3	47,8	51,5	53,6	56,5	59,8	61,2	63,3	63,3	64,7	65,3
T10 -Zn	51,2	51,7	56,2	57,4	57,8	58,1	58,7	58,7	58,6	58,6	58,6	58,7
TA Testigo	53,9	54,5	58,5	59,6	60,9	61,3	62	62,2	61,4	61,4	61,4	61,4

ddt (días después del trasplante)

La mayor tasa de crecimiento desde los 70 ddt (inicial) hasta 81 ddt (Tabla 35), fue el T₇ (-B) con 2,3 cm; a los 88 ddt fue el T₁₀ (-Zn) con 4,5 cm; a los 95 ddt, T₉ (-Mn) con 3,7



cm ; a los 102 ddt el tratamiento T₃ (-K) con 3 cm; a los 109 ddt el tratamiento T₁ (-N) con 7,3 cm; a los 116, 123 y 130 ddt el tratamiento T₉ (-Mn) con 3,3 cm, 1,4 cm y 2,1 cm respectivamente; a los 137 ddt los tratamientos mantienen constante su valor; a los 144 ddt el tratamiento T₉ (-Mn) con 1,4 cm y a los 151 ddt el tratamiento T₁ (-N) con 0,9 cm.

Tabla 35. Tasa de crecimiento para la variable altura de la planta (tallo), en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA, 2019

Tratamientos		Tasa de crecimiento semanal en altura de la planta (cm semana ⁻¹)										
		(ddt)										
		81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
TC	Completo	1,7	1,6	1,9	0,4	1,3	0,3	0,8	0,6	0	0,8	0,5
T1	-N	1,6	0,3	1,3	1,4	7,3	1,3	0,8	0,3	0	0,5	0,9
T2	-P	1,3	4,4	2,4	1	2	1,3	1,1	0,1	0	0	0,3
T3	-K	0,4	2	0,4	3	0,8	0,9	0,7	1,1	0	0,5	0,4
T4	-Ca	1,7	2,2	3,2	-0,2	0,5	0,2	1	0	0	0,6	0,2
T5	-Mg	0,4	2	0,8	0,5	1,1	1,2	0,4	0,6	0	0,5	0,7
T6	-S	1,9	1,1	0,5	0,3	0,9	0,5	0	0,1	0	0,1	0
T7	-B	2,3	3,7	0,9	-0,1	1,4	1,2	0,9	0,7	0	0,5	0,6
T8	-Fe	1,3	3,7	0,5	0,7	1,8	1,2	0,6	1,2	0	0,5	0,7
T9	-Mn	0,4	3,5	3,7	2,1	2,9	3,3	1,4	2,1	0	1,4	0,6
T10	-Zn	0,5	4,5	1,2	0,4	0,3	0,6	0	-0,1	0	0	0,1
TA	Testigo	0,6	4	1,1	1,3	0,4	0,7	0,2	-0,8	0	0	0

ddt (días después del trasplante)

El ANOVA para la variable altura de la planta medido desde el tallo (Tabla 36), mostró que las diferencias no son significativas y el promedio se incrementó de 47,1 cm a los 57,2 cm desde el día del trasplante hasta los 151 días después del trasplante.

Tabla 36. Análisis de varianza para altura de la planta (tallo), en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA, 2019

F.V.	G.L	Cuadrado medio										
		ddt										
		81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
Total	35											
Tratam.	11	93,6	122,6	122	123,4	103,2	108,5	111,2	116,8	116,8	119,2	121,5
Error	24	161	173,6	184,3	176,4	178	179,2	185,8	182,6	182,6	184	185,1
C.V		26,8	25,6	25,7	24,7	24,03	23,7	23,8	23,4	23,4	23,3	23,2
\bar{x} (cm)		47,1	49,8	51,2	52,2	54,1	55,1	55,8	56,3	56,3	56,8	57,2

ddt (días después del trasplante)

El tratamiento T₉ (-Mn) aumentó paulatinamente su tamaño y a lo largo de las de los 154 días fue el tratamiento con la mayor tasa de crecimiento semanal, y por el contrario T₆ (-S) tuvo un aumento en el tamaño de manera más lenta. El tratamiento T_A (testigo) dejó de aumentar su tamaño debido a que el agua de riego no contenía los elementos esenciales para su desarrollo. En general, la omisión de S y Zn afectó más a la elongación del tallo, y los tratamientos restantes tuvieron menor crecimiento, cuyos valores comprenden entre 8,2 cm y 15,7 cm comparada a la del tratamiento sin Mn con 21,4 cm.

4.2.3. Altura raíz (cm)

Los datos de la variable altura raíz fueron obtenidos al inicio (trasplante) y al final, es decir, 154 días después del trasplante. La menor tasa de crecimiento (Tabla 37), colocó a T₁ (-N) y T₁₀ (-Zn). El crecimiento de la raíz fue de 1 cm a 15,7 cm. El T₁ (-N) tuvo 1 cm de elongación, el T₁₀ (-Zn) y T₇ (-B) de 3 cm, el T₅ (-Mg) y T₃ (-K) de 6 cm, y los tratamientos restantes valores comprendidos entre 9 y 15 cm. La elongación de la raíz fue mayor en los tratamientos T₄ (-Ca) y T₈ (-Fe) y este fenómeno posiblemente se debe a que los pelos absorbentes estuvieron en busca de mucha más agua.

Tabla 37. Tasa de crecimiento para altura de la raíz, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA, 2019

Tratamientos		Tasa de crecimiento en altura de la raíz
		154 ddt
TC	Completo	3,2
T1	-N	1,0
T2	-P	11,2
T3	-K	6,5
T4	-Ca	15,7
T5	-Mg	6
T6	-S	10,7
T7	-B	3,7
T8	-Fe	12,7
T9	-Mn	9,8
T10	-Zn	3,0
TA	Testigo	12,7

ddt (días después del trasplante)

El ANOVA para la variable altura de la raíz (Tabla 38), mostró que, entre los distintos tratamientos no existen diferencias altamente significativas.

Tabla 38. Análisis de varianza para altura de la raíz, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA, 2019

F.V.	G.L	Cuadrado medio
		154 ddt
Total	35	
Tratam.	11	91,9
Error	24	73,9
C.V		26,8
\bar{x} (cm)		32,1

ddt (días después del trasplante)

El nitrógeno es un elemento esencial en las proteínas y, el crecimiento de las raíces está posiblemente relacionado con mecanismos moleculares que detectan la presencia de nitrato en el suelo, y al ser deficientes en este elemento, las raíces no tienen un buen desarrollo radicular (Sánchez et al., 2006). De manera similar, el zinc actúa como estabilizador de la estructura de las proteínas o cofactor y si no se encuentra, podría provocar problema de raíces.

4.2.4. Diámetro del tallo (mm)

El ANOVA para la variable diámetro del tallo, mostró p-valor mayor a 0,05 (p-valor > 0,05), es decir, no existen diferencias altamente significativas. Para la variable diámetro del tallo, se tiene que, existe un crecimiento de 0,8 cm a 0,86 cm en los 151 ddt (Tabla 39). T_C (completo), inicialmente, tiene mayor diámetro de tallo con 0,94 cm y T₆ (-S) menor diámetro de tallo 0,68 cm.

Tabla 39. Prueba de Kruskal Wallis para diámetro del tallo, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA, 2019

Tratamientos	Diámetro (mm)												
	Media \bar{x}												
	(ddt)												
		70	81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
TC	Completo	0,94	0,87	0,85	0,84	0,84	0,88	0,88	0,86	0,85	0,85	0,83	0,85
T1	-N	0,82	0,87	0,97	1,07	1,03	1,03	1,04	1,04	0,97	0,97	0,98	0,98
T2	-P	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88	0,99
T3	-K	0,8	0,79	0,78	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,79	0,8	0,8	0,81
T4	-Ca	0,83	0,74	0,74	0,74	0,74	0,76	0,78	0,78	0,79	0,8	0,82	0,79
T5	-Mg	0,79	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
T6	-S	0,68	0,68	0,68	0,69	0,68	0,69	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,74
T7	-B	0,69	0,69	0,7	0,7	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75	0,76
T8	-Fe	0,77	0,77	0,78	0,79	0,81	0,84	0,85	0,85	0,85	0,88	0,88	0,91
T9	-Mn	0,8	0,81	0,82	0,83	0,83	0,9	0,9	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
T10	-Zn	0,8	0,78	0,79	0,79	0,79	0,8	0,79	0,81	0,8	0,8	0,79	0,8
TA	Testigo	0,84	0,82	0,83	0,83	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,91
	\bar{x}	0,80	0,78	0,79	0,80	0,80	0,82	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,86

ddt (días después del trasplante)

La tasa de crecimiento (Tabla 40), mostró que, a los 81 ddt, T_C (completo), es el tratamiento con mayor tamaño de diámetro, mientras que, T₄ (-Ca) es el tratamiento cuyo valor de diámetro disminuyó; T₂ (-P), T₆ (-S), T₇ (B) y T₈ (-Fe) no mostraron cambios en el tamaño de diámetro respecto al inicial.

Tabla 40. Tasa de crecimiento para diámetro del tallo, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA, 2019

Tratamientos	Diámetro (mm)											
	Tasa de crecimiento semanal (mm semana ⁻¹)											
	(ddt)											
		81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	155
TC	Completo	-0,07	-0,02	-0,01	0	0,04	0	-0,02	-0,01	0	-0,02	0,02
T1	-N	0,05	0,1	0,1	-0,04	0	0,01	0	-0,07	0	0,01	0
T2	-P	0	-0,01	0	0	0,03	0	0,01	0	0,01	0	0,11
T3	-K	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	0	0	0	0,01	0,01	0	0,01
T4	-Ca	-0,09	0	0	0	0,02	0,02	0	0,01	0,01	0,02	-0,03
T5	-Mg	-0,05	0	0	0	0	0,11	0	0	0	0	0
T6	-S	0	0	0,01	-0,01	0,01	0,02	0	0,01	0	0	0,02
T7	-B	0	0,01	0	0,02	0,01	0	0,01	0	0,01	0	0,01
T8	-Fe	0	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0	0	0,03	0	0,03
T9	-Mn	0,01	0,01	0,01	0	0,07	0	0,01	0	0	0	0
T10	-Zn	-0,02	0,01	0	0	0,01	-0,01	0,02	-0,01	0	-0,01	0,01
TA	Testigo	-0,02	0,01	0	0,02	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,02

ddt (días después del trasplante)



La deficiencia de elementos como K, Ca y Zn ocasionaron que los diámetros de tallos sean menores y en el caso de calcio exista una reducción de este. De acuerdo con Pinto (2005), la deficiencia de potasio puede afectar al tallo y a los entrenudos, así mismo, Gómez (2006) reportó ramas más delgadas en fríjol. De acuerdo con Kogson (2008), el calcio jugó un papel importante para el crecimiento en densidad y a su vez limitó el crecimiento en mora.

4.2.5. Clorofila (SPAD)

Las medias estadísticas (Tabla 41) mostró a los 70 ddt el valor mínimo para clorofila en unidades SPAD para en el T₁ (-N) y el valor más alto en T_A (testigo). A los 81 ddt fue el T₄ (-Ca) y el máximo T₉ (-Mn); a los 88 y 95 ddt fue el T₃ (-K) y el máximo T₅ (-Mg); a los 102 ddt fue el T₁ (-N) y el máximo T₉ (-Mn); a los 109 ddt fue el T₁ (-N) y el máximo T₉ (-Mn); a los 116 y 123 ddt fue el T₇ (-B) y el máximo T₆ (-S); a los 130 ddt fue T_A (testigo) y T₃ (-K) y el máximo T₉ (-Mn); a los 137 ddt fue T₅ (-Mg) y el máximo T₆ (-S); a los 144 ddt fue T_A (testigo) y el máximo T₆ (-S), finalmente, a los 151 ddt fue T₅ (-Mg) y el máximo T₈ (-Fe).

Tabla 41. Medias estadísticas para clorofila, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos	Clorofila (SPAD)												
	(ddt)												
		70	81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
TC	Completo	15,9	17,3	13,3	17,1	24,4	26,9	33,3	32,8	29,9	29,8	31,0	32,2
T1	-N	15,6	17,4	17,1	16,8	21,7	20,5	33,8	28,0	28,6	28,7	26,8	26,7
T2	-P	21,4	16,9	12,2	15,5	28,0	30,1	41,6	36,9	36,4	31,2	31,1	29,9
T3	-K	22,1	17,8	11,4	14,3	33,6	30,0	40,9	32,7	27,0	29,2	31,1	31,0
T4	-Ca	18,7	13,1	13,3	14,5	27,6	35,0	37,9	37,2	38,5	35,1	36,0	35,7
T5	-Mg	26,2	22,8	22,0	22,1	37,2	40,1	41,0	41,5	29,6	26,7	26,7	24,7
T6	-S	23,3	17,2	16,2	17,5	35,1	38,9	47,3	41,6	37,9	38,2	38,2	34,5
T7	-B	24,0	17,4	14,1	17,4	30,8	28,2	27,6	23,8	27,2	27,2	30,8	30,7
T8	-Fe	24,3	16,9	14,4	18,4	32,0	36,4	36,1	34,1	36,9	34,9	36,2	39,5
T9	-Mn	29,0	27,5	18,7	18,6	43,6	41,0	45,5	39,1	40,5	37,8	35,9	37,6
T10	-Zn	19,4	18,3	18,4	18,1	29,6	30,9	35,7	27,8	29,6	27,6	29,9	31,3
TA	Testigo	30,1	21,1	15,1	15,2	29,4	34,4	30,4	29,7	27,0	27,1	26,4	27,6

ddt (días después del trasplante)

El ANOVA para la variable clorofila (Tabla 42), mostró p-valor mayor a 0,05 (p-valor > 0,05), es decir, las diferencias estadísticas no son altamente significativas. El promedio de incremento es de 22,5 a 35,8 unidades SPAD, desde los 70 ddt hasta los 151 ddt.

Tabla 42. Análisis de varianza para clorofila, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

F.V.	G.L	Cuadrado medio										
		(ddt)										
		81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
Total	35											
Tratam.	11	39,8	28,4	13,9	102,8	110,0	105,0	97,5	79,9	54,4	49,2	58,4
Error	24	62,5	25,4	33,2	150,9	73,9	78,8	68,4	74,0	78,1	70,3	101,5
C.V		42,4	32,5	33,6	39,5	26,3	23,6	24,5	26,5	28,4	26,5	31,7
\bar{x} (cm)		18,6	15,5	17,1	31,1	32,7	37,6	33,8	32,4	31,1	31,7	31,8

ddt (días después del trasplante)

A los 151 ddat, los valores de clorofila más bajos son en el T₅ (-Mg) y T₁ (-N); según la revista (El Magnesio: Nutriente esencial en la producción de frutales y cultivos, 2013), la baja cantidad de clorofila es debida a que, el magnesio es la base estructural de dicha molécula y en ausencia de esta, los valores se ven afectados. Por su lado, el nitrógeno es constituyente de la clorofila y en ausencia de este presenta valores bajos a lo largo de los 82 ddat. De igual manera, T_A (testigo), tiende a disminuir el valor de clorofila por no contener los elementos esenciales para llevar acabo las funciones. Además, Calderón (1995) reportó menor cantidad de clorofila cuando existía deficiencia de nitrógeno en frutos.

4.2.6. Tamaño de las hojas (cm)

4.2.6.1. Ancho de la hoja (cm)

La prueba de Kruskal Wallis de a pares (Tabla 43), mostró diferencia significativa en donde, el primer rango estuvo ocupado a los 81 y 88 ddt por el T₁ (-N) con los valores más bajos, a los 95 hasta los 137 ddt el T₉ (-Mn), a los 144 y 151 ddt T₉ (-Mn) y T₁ (-N) tuvieron el valor más bajo. Por el contrario, a los 70 hasta los 102 ddt, T₄ (-Ca) y T_A (absoluto), se los ubicó en el último rango, indicando mayor ancho de hoja, a los 109 hasta los 151 ddt el T_A (testigo).

Tabla 43. Prueba de Kruskal Wallis al 5 % para la variable tamaño de hoja, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos		Ancho de hoja (cm)											
		(ddt)											
		70	81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
TC	Completo	5,7 bc	5,7 abc	5,7 abc	5,7 bcd	5,7 bcd	6,2 cde	6,3 cde	6,3 cde	6,1 cde	6,1 cde	6 bc	6 bc
T1	-N	3,4 a*	3,4 a*	3,6 a*	3,7 ab	3,7 ab	3,7 ab	3,8 ab	3,8 ab	3,8 ab	3,8 ab	3,8 a*	3,8 a*
T2	-P	5,4 abc	6,1 abc	6,1 abc	6,1 cd	6,1 cd	6,1 cde	6,1 cde	6,1 cde	6,1 cde	6,1 cde	6,1 bc	6,1 bc
T3	-K	5,6 bc	5,7 abc	5,7 abc	5,7 bcd	5,7 cd	5,7 bcde	5,6 bcde	5,6 bcde	5,6 bcde	5,6 bcde	5,5 abc	5,5 abc
T4	-Ca	7,2 c**	7,3 c**	7,3 c**	7,3 d**	7,3 d**	7,3 de	7,3 de	7,3 d e**	7,3 de	7,1 de	7 bc	6,9 bc
T5	-Mg	5,1 ab	5,2 abc	5,2 abc	5,3 abc	5,3 abc	5,2 abc	5,2 abc	5,2 abc	5,2 abc	5,2 abc	5,2 ab	5,2 ab
T6	-S	6,5 bc	6,8 bc	6,8 bc	6,8 cd	6,8 cd	6,8 cde	6,8 cde	6,8 cde	6,8 cde	6,8 cde	6,8 bc	6,8 bc
T7	-B	4,6 ab	5 abc	5 abc	5 abc	5,3 abcd	5,2 abcd	5,3 abcd	5,3 abcd	5,3 abcd	5,3 abcd	5,3 ab	5,3 ab
T8	-Fe	6,3 bc	6,3 abc	6,3 abc	6,4 cd	5,1 cd	6,4 cde	6,4 cde	6,4 cde	6,4 cde	6,4 cde	6,4 bc	6,4 bc
T9	-Mn	3,6 a*	3,7 ab	3,7 ab	3,7 a*	3,7 a*	3,7 a*	3,7 a*	3,7 a*	3,7 a*	3,7 a*	3,7 a*	3,7 a*
T10	-Zn	6,2 bc	6,4 abc	6,4 abc	6,5 cd	6,5 cd	6,5 cde	6,5 cde	6,5 cde	6,5 cde	6,5 cde	6,5 bc	6,5 bc
TA	Testigo	7,3 c**	7,5 c**	7,6 c**	7,6 d**	7,6 d**	7,7 e**	7,7 e**	7,7 e**	7,7 e**	7,6 e**	7,6 c**	7,6 c**

ddt (días después del trasplante)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

*Media significativamente menor comparada con los otros rangos por cada ddt

**Media significativamente mayor comparada con los otros rangos por cada ddt

Las medias que no comparten (* o **) son significativamente parecidas

La tasa de crecimiento para el ancho de hoja (Tabla 44), mostró valores mayoritariamente constantes a lo largo de los 151 ddt. Los tratamientos T₄ (-Ca), T₅ (-Mg) y T_A (testigo) mostraron reducción en el ancho de hoja.



Tabla 44. Tasa de crecimiento para la variable tamaño de hoja, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos		Tasa de crecimiento semanal para ancho de la hoja (cm semana ⁻¹)										
		(ddt)										
		81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
TC	Completo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0
T1	-N	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T2	-P	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T3	-K	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
T4	-Ca	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
T5	-Mg	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
T6	-S	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T7	-B	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T8	-Fe	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T9	-Mn	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T10	-Zn	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TA	Testigo	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

ddt (días después del trasplante)

Los datos no siguen una distribución normal p-valor menor a 0,05 (p-valor < 0,05), a excepción de los datos a los 81 y 88 ddt. El ANOVA para la variable ancho de la hoja (Tabla 45), mostró diferencias estadísticas altamente significantes a los 81 y 88 ddt con p-valor menor a 0,05 (p-valor 0,0002). La prueba no paramétrica de Kruskal Wallis mostró diferencias altamente significantes a los 70, 81, 102, 109, 116, 123, 130, 137, 144, y 151 ddat con p-valor < 0,05 (p-valor 0,0019, 0,004, 0,0010, 0,0009, 0,0009, 0,0009, 0,0009, 0,0015, 0,0023, 0,0029) respectivamente.

Tabla 45. Análisis de varianza para la variable tamaño de hoja, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

F.V.	G.L	Cuadrado medio	
		(ddt)	
		81	88
Total	107		
Tratam.	11	14,6	14,5
Error	96	3,99	3,88
C.V		34,9	33,9
\bar{x} (cm)		5,7	5,8

ddt (días después del trasplante)

4.2.6.2. Largo de hoja (cm)

Para la variable largo de hoja, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. El ANOVA, mostró diferencias significativas con p-valor menor a 0,05 (p-valor < 0,05). La



prueba de Kruskal Wallis de a pares (Tabla 46), mostró diferencia significativa en donde, el primer rango estuvo ocupado a los 70 y 81 ddt por T₁ (-N) y T₉ (-Mn), y desde los 88 ddt hasta los 151 ddt por el T₉ (-Mn) con el valor más bajo para largo de hoja. Por el contrario, a los 70 hasta los 109 ddt T₄ (-Ca) se ubicó en el último rango y desde los 116 ddt a T₄ (-Ca) y T_A (absoluto), indicando largo de hoja más grande.

Tabla 46. Prueba de Kruskal Wallis al 5 % para la variable tamaño de hoja, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos		Promedio Largo de hoja (cm) (ddt)											
		70	81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
TC	Completo	9,6 abcd	9,6 abcde	9,6 abcd	9,6 abcd	9,6 abcd	9,6 abcd	10,5 bcd	10,6 bcd	10,5 bcd	10,5 bcd	10,2 bcd	10,2 bcd
T1	-N	6,4 a*	6,4 a*	6,9 ab	7,1 ab	7,1 ab	7,1 ab	7,2 ab	7,2 ab	7,3 ab	7,3 ab	7,3 ab	7,3 ab
T2	-P	9,6 abcd	10,0 abcd	10,5 bcde	10,7 bcde	10,7 bcde	10,7 bcde	10,7 bcd	10,7 bcd	10,7 bcd	10,7 bcd	10,7 bcd	10,7 bcd
T3	-K	10,5 bcd	10,6 cde	10,6 bcde	10,6 bcde	10,6 bcde	10,6 bcde	10,6 bcd	10,6 bcd	10,5 bcd	10,5 bcd	10,4 bcd	10,3 bcd
T4	-Ca	12,9 d**	13,0 e**	13,1 e**	13,1 e**	13,1 e**	13,0 e**	13,0 d**	13,0 d**	13,0 d**	12,9 d**	12,8 d**	12,8 d**
T5	-Mg	8,6 abc	8,7 abc	8,7 abc	8,7 abc	8,7 abc	8,7 abc	8,7 abc	8,7 abc	8,7 abc	8,6 abc	8,6 abc	8,6 abc
T6	-S	10,5 bcd	10,8 cde	10,9 cde	10,9 bcde	10,9 cde	10,9 cde	10,9 bcd	10,9 bcd	10,9 bcd	10,9 bcd	10,9 bcd	10,9 bcd
T7	-B	8,3 ab	9,2 abcd	9,3 abc	9,3 abc	9,4 abc	9,4 abc	9,5 abc	9,5 abc	9,2 abc	9,2 abc	9,2 abc	9,2 abc
T8	-Fe	11,4 bcd	11,6 cde	11,6 cde	11,6 cde	11,6 cde	11,6 cde	11,6 cd	11,6 cd	11,6 cd	11,6 cd	11,6 cd	11,6 cd
T9	-Mn	6,5 a*	6,6 a*	6,6 a*	6,6 a*	6,6 a*	6,6 a*	6,6 a*	6,6 a*	6,6 a*	6,6 a*	6,6 a*	6,6 a*
T10	-Zn	11,2 bcd	11,5 cde	11,5 cde	11,6 cde	11,6 cde	11,6 cde	11,6 cd	11,6 cd	11,6 cd	11,6 cd	11,6 cd	11,6 cd
TA	Testigo	12,2 cd	12,6 de	12,9 de	13 de	13 de	13 de	13 d**	13 d**	13 d**	13 d**	13 d**	13 d**

ddt (días después del trasplante)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

*Media significativamente menor comparada con los otros rangos por cada ddt

**Media significativamente mayor comparada con los otros rangos por cada ddt

Las medias que no comparten (* o **) son significativamente parecidas

De acuerdo con la tasa de crecimiento (Tabla 47), T₇ (-B) es el tratamiento que, a los 81 ddt tuvo el mayor tamaño en cuanto al largo de la hoja con 0,84 cm y a partir de los 88 ddt este crecimiento fue decreciente, a los 130 ddt el largo de las hojas disminuyeron y finalmente se mantuvo con este valor hasta los 151 ddt. A los 88 ddt, T₁(-N) tiene la mayor tasa de crecimiento, valor que va disminuyendo hasta dejar de crecer y mantener el mismo valor. A los 95 ddt, T₂ (-P) alcanza la mayor tasa de crecimiento y a partir de los 102 ddt ya no hay crecimiento. A los 102 y 109 ddt, T₇ (-B) es el único tratamiento con cambio en la variable, ya que el resto mantiene constante su valor o ha disminuido el mismo, como es el caso de T₃ (-K), T₄ (-Ca) y T₅ (-Mg). A los 116 y 123 ddt, Tc (completo) es el tratamiento con mayor tasa de crecimiento, 0,91 y 0,04 cm. A los 130 ddt, T₁ (-N) ha crecido 0,04 cm y T₇ (-B) presenta una gran disminución en el largo de hoja con 0,31 cm. A los 137 ddt, T₈ (-Fe) es el tratamiento con mayor tasa de crecimiento, además, fue el primer cambio que mostró desde los 81 ddt, ya que mantuvo constante su valor por 7 semanas. A los 144 ddt, Tc (completo), T₃ (-K) y T₄ (-Ca) muestran cambios al disminuir su valor de largo de hoja.

Tabla 47. Tasa de crecimiento para la variable tamaño de hoja, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos	Largo de hoja (cm)												
	Tasa de crecimiento semanal (cm semana ⁻¹)												
	(ddt)												
		70	81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
TC	Completo	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,91	0,04	-0,03	0,00	-0,30	0,00	0,04
T1	-N	0,04	0,48	0,20	0,00	0,00	0,13	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04
T2	-P	0,44	0,44	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,44
T3	-K	0,09	0,01	0,00	0,00	-0,03	-0,01	-0,02	-0,06	-0,03	-0,11	-0,06	0,09
T4	-Ca	0,07	0,06	0,00	0,00	-0,02	-0,01	-0,01	0,01	-0,10	-0,11	0,00	0,07
T5	-Mg	0,07	0,06	0,01	0,00	-0,01	-0,03	0,00	0,00	-0,07	0,00	0,00	0,07
T6	-S	0,33	0,04	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,33
T7	-B	0,84	0,10	0,03	0,08	0,06	0,02	0,03	-0,31	0,00	0,00	0,00	0,84
T8	-Fe	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,16
T9	-Mn	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
T10	-Zn	0,26	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
TA	Testigo	0,44	0,26	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,44

ddt (días después del trasplante)

En general, la deficiencia de elementos como el K y el Ca ocasionaron que el ancho y largo de hoja se vean afectados, experimentando una reducción de esta. Marschner (2012), reportó disminución en el crecimiento en general y Montoya (2005) informó una reducción debido al doblamiento de las hojas.

4.2.7. Distancia de entrenudos (cm)

El ANOVA para la variable distancia de entrenudos (cm), mostró diferencias altamente significativas con p-valor menor a 0,05 ($p\text{-valor} < 0,05$), y mediante la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 48), se puede notar que el mayor valor para distancia de entrenudos a los 70 ddt hasta los 151 ddt en T₆ (-S) mientras que, el menor valor es para T₁ (-N).

Tabla 48. Análisis de varianza para la distancia de entrenudos, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratam		Distancia de entrenudos (cm)											
		(ddt)											
		70	81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
TC	Comp.	2,3 abcde	2,3 abcd	2,4 abcd	2,5 bcd	2,5 abcd	2,5 bcd	2,6 bcd	2,6 bcd	2,6 bcd	2,6 bcd	2,6 bcd	2,6 bcd
T1	-N	1,3 a*	1,3 a*	1,4 a*	1,5 a*								
T2	-P	3,2 cdef	3,3 cde										
T3	-K	3,3 def	3,3 de										
T4	-Ca	3,8 ef	3,2 cde	3,5 de									
T5	-Mg	2,4 abcd	2,5 bcd	2,6 abcd									
T6	-S	4,3 f**	4,4 e**	4,3 e**	4,3 e**	4,3 e**							
T7	-B	1,8 abc	1,8 abc	1,8 abc	1,9 abc								
T8	-Fe	2,6 bcde	2,6 bcd	2,7 bcd	2,7a bcd	2,7 abcd	2,7 abcd	2,7 abcd	2,7 abcd	2,7 abcd	2,6 abcd	2,6 abcd	2,6 abcd
T9	-Mn	1,5 ab	1,7 ab										
T10	-Zn	3,1 bcdef	2,7 bcd	2,7 bcde	2,7 bcde	2,7 bcde							
TA	Test.	3,0 def	3,0 de	3,1 de	3,0 de	3,0 de	3,0 cde						

ddt (días después del trasplante)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

*Media significativamente menor comparada con los otros rangos por cada ddt

**Media significativamente mayor comparada con los otros rangos por cada ddt

Las medias que no comparten (* o **) son significativamente parecidas

La tasa de crecimiento semanal (Tabla 49), mostró que el crecimiento fue a los 81, 88, 95 y 109 ddt, y luego ya no hubo crecimiento, manteniendo así, el mismo valor. T_C (completo) fue el único tratamiento en aumentar su distancia hasta los 109 ddt y luego se mantuvo con el mismo valor. A los 137 ddt, el T_A (testigo), tuvo una reducción en la distancia de entrenudos.

Tabla 49. Tasa de crecimiento para la variable distancia de entrenudos, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos	Distancia de entrenudos (cm)											
	Tasa de crecimiento (cm semana ⁻¹)											
	(ddt)											
		81	88	95	102	109	116	123	130	137	144	151
TC	Completo	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T1	-N	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T2	-P	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T3	-K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T4	-Ca	-0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T5	-Mg	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T6	-S	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T7	-B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T8	-Fe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T9	-Mn	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T10	-Zn	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TA	Testigo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0

ddt (días después del trasplante)

La ausencia de elementos como el Zn y el Ca condujeron a que en esta variable los valores se reduzcan y por lo tanto los entrenudos sean pequeños, lo mismo que sucedió en un reporte del cultivo de fríjol. El déficit de P, K, S, y Fe no permitieron elongación de los entrenudos comportándose similar al tratamiento testigo.

4.2.8. Biomasa (g)

El ANOVA para biomasa (tabla 50), mostró diferencias estadísticas no significativas con p-valor mayor a 0,05 (p-valor > 0,05) a los 159 ddt.

Tabla 50. Análisis de varianza para biomasa, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

F.V.	G.L	Cuadrado medio	
		159 ddt	
Total	35		
Tratam.	11		776,9
Error	24		717,5
C.V			25,9
\bar{x} (g)			103,6

ddt (días después del trasplante)

La prueba de Bonferroni al 5 % (Tabla 51), no presentó rangos de significancia a los 159 ddt. Sin embargo, al aplicar la prueba de LSD Fisher (Tabla) el p-valor > 0,05 (p-valor > 0,05) si se encuentran diferencias. T₂ (-P), tiene un valor de biomasa más elevado que el resto de los tratamientos y T₃ (-K) tiene un valor de biomasa más bajo.

Tabla 51. Prueba de Bonferroni al 5 % y LSD Fisher en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos	Días después del trasplante	Media (\bar{x})			
		159 ddt	%	Prueba	Prueba
				Bonferroni	LSD Fisher
TC	Completo	91,8		a	ab
T1	-N	103,2		a	ab
T2	-P	132,7		a	b**
T3	-K	82,2		a	a*
T4	-Ca	103,5		a	ab
T5	-Mg	90,7		a	ab
T6	-S	95,9		a	ab
T7	-B	83,3		a	a*
T8	-Fe	121,1		a	ab
T9	-Mn	101,8		a	ab
T10	-Zn	115,7		a	ab
TA	Testigo	121,1		a	ab

ddt (días después del trasplante)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

*Media significativamente menor comparada con los otros rangos por cada ddt

**Media significativamente mayor comparada con los otros rangos por cada ddt

Las medias que no comparten (* o **) son significativamente parecidas

Los tratamientos con menor biomasa son T₃ (-K) y T₇ (-B). El potasio es uno de los constituyentes de mayor importancia en la producción vegetal, debido a que regula la apertura de estomas y así tomar el CO₂ del aire para producir azúcar y consecuentemente ayudar al desarrollo de la planta (M. Rodríguez & Floréz, 2004).

4.2.9. Área foliar (cm²)

El ANOVA para área foliar (Tabla 52), mostró diferencias estadísticas no significativas p-valor mayor a 0,05 (p-valor > 0,05).

Tabla 52. Análisis de varianza para área foliar, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

F.V.	G.L	Cuadrado medio
		154 ddat
Total	35	
Tratam.	11	123097,3
Error	24	203620,5
C.V		64,3
\bar{x} (cm ²)		701,7

ddt (días después del trasplante)

Mediante la prueba de Bonferroni al 5 % (Tabla 53), las medias no son significativamente diferentes (p-valor > 0,05). Sin embargo, el T₁₀ (-Zn) y T₅ (-Mg) son los tratamientos con menor área foliar, 445,8 y 467,5 respectivamente, expresada en cm².

Tabla 53. Prueba de Bonferroni al 5 % para la variable área foliar, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos		Media (\bar{x}) área foliar (cm ²)
		154 ddt
TC	Completo	530,1 a
T1	-N	535,7 a
T2	-P	824,0 a
T3	-K	631,7 a
T4	-Ca	863,5 a
T5	-Mg	467,5 a
T6	-S	542,2 a
T7	-B	865,3 a
T8	-Fe	1059,4 a
T9	-Mn	917,1 a
T10	-Zn	445,7 a
TA	Testigo	738,5 a

ddt (días después del trasplante)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Esta información se corrobora con lo expuesto acerca de los elementos, el zinc por su parte, controla la síntesis de los reguladores del crecimiento vegetal como la auxina y en ausencia de este, no se llevan a cabo los procesos de desarrollo vegetal por completo (Vega-Celedón et al., 2016), por otra parte, el Magnesio, es el núcleo central de la molécula de clorofila, lugar donde se producen azúcares y que permiten el desarrollo de la planta, de esta forma y en ausencia del magnesio, dichos procesos no son completos. El tratamiento T₉ (-Mn) y T₈ (-Fe) son los tratamientos con mayor área foliar y aunque el hierro (Fe) juega un papel importante en la clorofila y esté asociado con el desarrollo de los cloroplastos, es el tratamiento con mayor área foliar 1059,4 cm², esto posiblemente se deba a que los cloroplastos son muy ricos en este elemento.

El área foliar está relacionada con el crecimiento vegetativo, eficiencia fotosintética, evapotranspiración y en el proceso de producción la superficie foliar disponible, está relacionada con la asimilación del carbono durante su ciclo de vida (Restrepo et al., 2017). Por ello, las plantas con mayor área foliar pueden interceptar la radiación, la cual constituye la fuente primaria de energía usada por las plantas para llevar a cabo procesos de fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios (Jones et al., 1998).

4.2.10. Color

La prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para la variable color (Tabla 54), mostró diferencia significativa a los 137 ddt. Sin embargo, a los 81 ddt por T₁ (-N), a los 116 ddt, por el T₃ (-K) y T₆ (-S), a los 123 ddt por T₃ (-K) y T₅ (-Mg), a los 137 ddt por T₁ (-N) y a los 151 ddt por el T₁ (-N) y T₅ (-Mg). Por el contrario, a los 81 ddt T₇ (-B) ocupa el último rango con una coloración mucho más pronunciada, los 137 ddt, T₆ (-S), T₈ (-Fe) y T₉ (-Mn) ocuparon el último rango.

Tabla 54. Prueba de Kruskal Wallis al 5 % para la variable colores en plantas, en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos		Escala de colores IRRI					
		Promedio (ddt)					
		81	102	116	123	137	151
TC	Completo	3,3a	3,7a	4,7a	4,3a	4,7ab	4,7a
T1	-N	2,7a	4a	4,7a	5a	4a*	4,3a
T2	-P	4,3a	5a	5a	4,7a	5ab	5a
T3	-K	4a	4,3a	4a	3,7a	4,3ab	4,3a
T4	-Ca	4,3a	4,7a	4,3a	4,3a	5ab	5a
T5	-Mg	4,3a	5a	5a	4a	5ab	4,3a
T6	-S	4,3a	4,7a	4a	4,7a	5ab	5a
T7	-B	4,7a	5a	5a	5a	5ab	4,7a
T8	-Fe	4,3a	5a	4,7a	4,7a	5ab	5a
T9	-Mn	3,7a	5a	4,7a	4,7a	5,7b	5a
T10	-Zn	3,7a	4,3a	4,7a	4,7a	4,7ab	5a
TA	Testigo	2,7a	5a	5a	4,3a	5ab	4,7a

ddt (días después del trasplante)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

*Media significativamente menor comparada con los otros rangos por cada ddt

**Media significativamente mayor comparada con los otros rangos por cada ddt

Las medias que no comparten (* o **) son significativamente parecidas

4.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

A partir del análisis de correlación de Pearson (Tabla 55), se observó que el coeficiente fue aumentando paulatinamente desde los 102 hasta los 151 ddt, siendo para las variables color vs clorofila el incremento de 0,09 a 0,54, pasando de tener diferencias estadísticas no significativas a significativas ($p\text{-valor} < 0,05$), debido a que el color en las hojas está respaldado por las moléculas de clorofila contenida en las hojas.

La correlación entre las variables altura vs tallo pasó de tener diferencias estadísticas no significativa a diferencia estadística significativas ($p\text{-valor} < 0,05$), el coeficiente aumentó de 0,23 a 0,47 hasta los 151 ddt, debido a que el crecimiento de la planta está respaldado por un aumento en el diámetro.

Tabla 55. Coeficiente de correlación de Pearson entre diferentes variables

	Coeficiente de correlación							
	81 ddt		109 ddt		144 ddt		151 ddt	
	Altura	Clorofila	Altura	Clorofila	Altura	Clorofila	Altura	Clorofila
Diámetro	0,30	0,08	0,24	0,16	0,35	0,03*	0,47	0,004*
Color	0,08	0,66	0,13	0,46	0,41	0,01*	0,53	0,001*
Biomasa							0,30	0,08

ddt (días después del trasplante)

Diferencias estadísticas significativas *

4.4. DEFICIENCIAS VISUALES

4.4.1. Deficiencias nutricionales en hojas

El encartuchamiento es una deformación en las hojas, las cuales tienden a cerrarse y formar una especie de roseta (Gráfico 5). Esta deformación se presentó desde los 102 días después del trasplante en T₃ (-K) y T₅ (-Mg), a los 107 ddt el T₁ (-N) y T₇ (-B) y a los 112 ddt el T₈ (-Fe).



a)

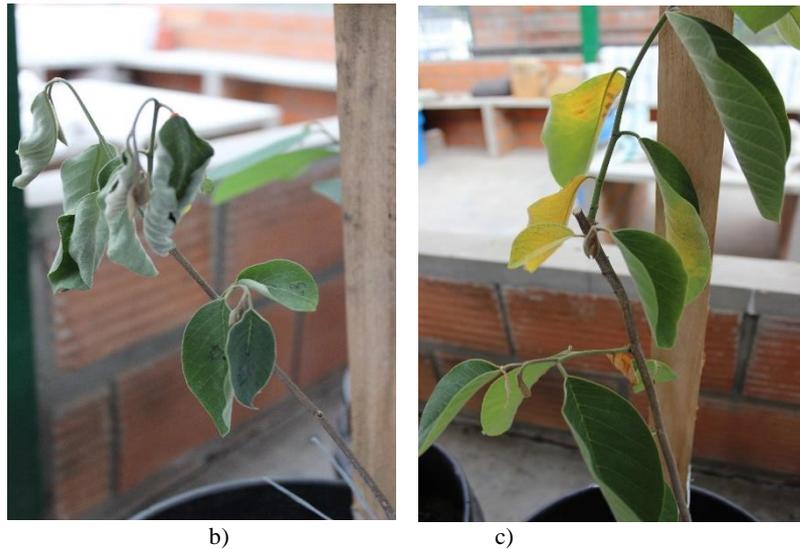


Gráfico 5. Encartuchamiento presentado en los tratamientos con omisión de K, Mg, N, B y Fe.
Encartuchamiento en las hojas: **a)** Tratamiento T₁ (sin nitrógeno) **b)** Tratamiento T₃ (sin potasio) comparado con el tratamiento completo Fig. a)

La defoliación es la caída temprana de las hojas, quedando las plantas solamente con unas pocas (Gráfico 6). y esta característica se presentó desde los 107 días después del trasplante en T₄ (-Ca), a los 112 ddt en T₁ (-N) y T₃ (-K) y a los 140 ddt, T_c (completo) y T₅ (-Mg).

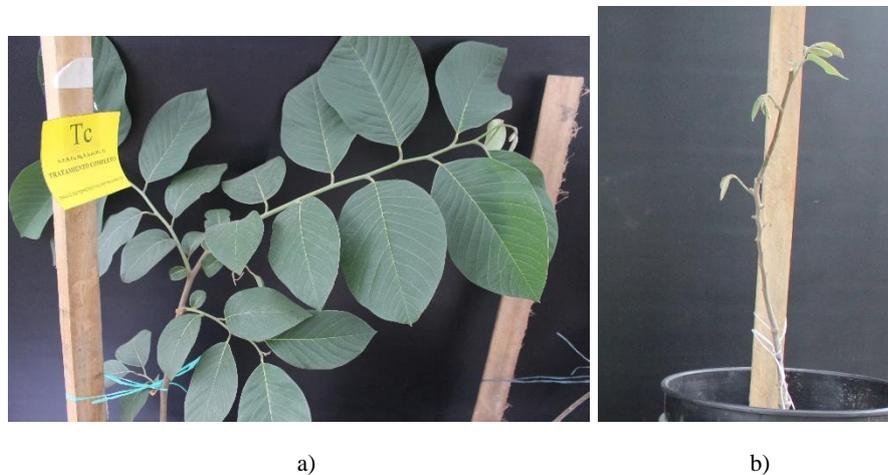


Gráfico 6. Defoliación presentada en los tratamientos con omisión de Ca, N, K, y Mg
Defoliación de las hojas: **b)** Tratamiento T₅ (sin manganeso) comparado con el tratamiento completo Fig. a)

El amarillamiento se presentó en distintas partes de las hojas y como lo indica su nombre, las hojas cambian de verde oscuro a un tono mucho más claro (Gráfico 7). Además, se presentó como puntos amarillos y amarillamiento en el envés de la hoja. Se presentó en la mayoría de los tratamientos empezando a los 102 días después del trasplante en T₄ (-Ca), T₆ (-S), T₈ (-Fe), T₁₀ (-Zn) y T_A (testigo), a los 107 ddt en T₃ (-K) y T₁ (-N), a los 112 ddt en T₂ (-P) y T₉ (-Mn), a los 126 ddt en T₅ (-Mg) y a los 140 ddt T_c (completo) y T₇ (-B).

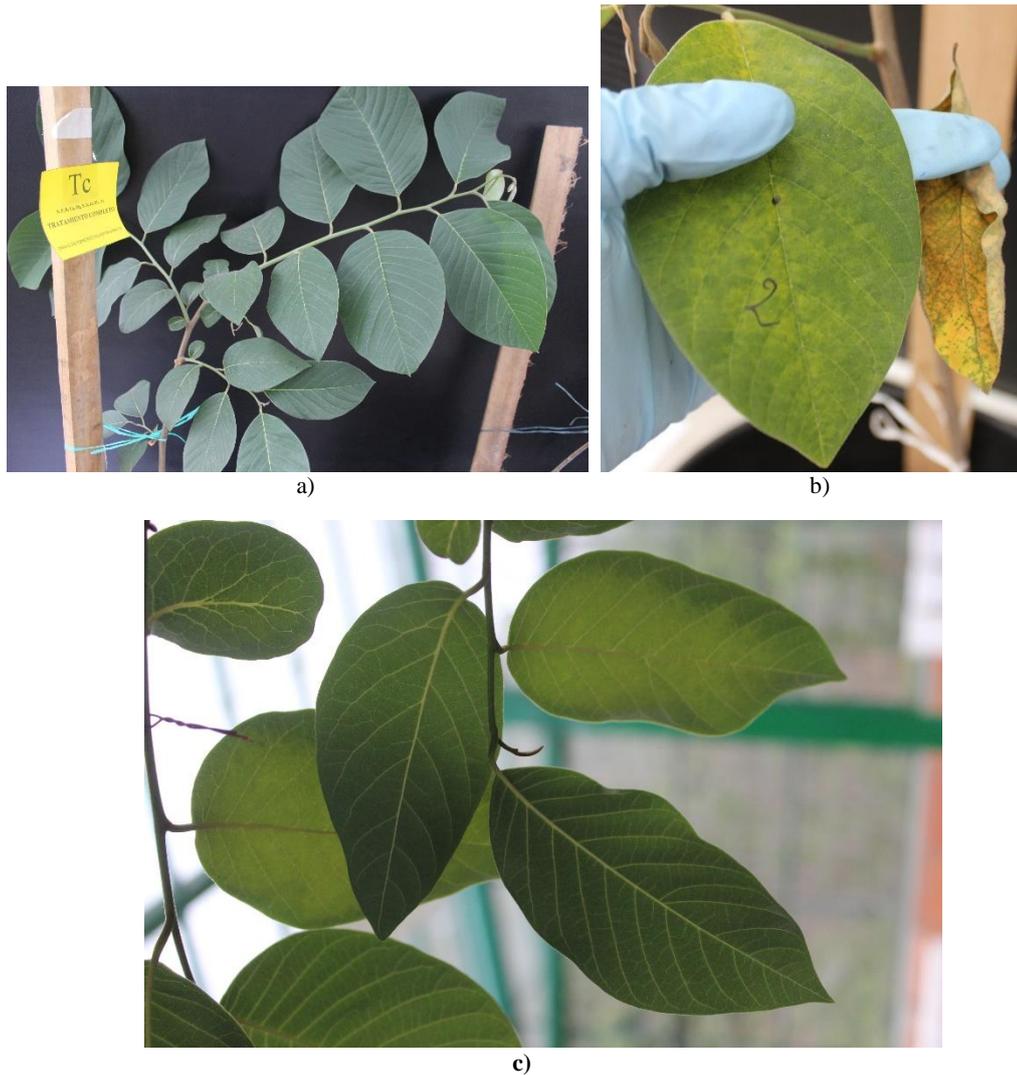


Gráfico 7. Amarillamiento en omisión de Ca, S, Fe, Zn, K, N, P, Mn, Mg, B y testigo
Amarillamiento en hojas: **b)** Tratamiento T₆ (sin azufre) **c)** Tratamiento T₈ (sin hierro) comparado con el tratamiento completo Fig. a)

El Amarillamiento total se presentó a los 107 días después del trasplante en Tc (completo), T₃ (-K), T₄ (-Ca), T₅ (-Mg), T₈ (-Fe) y T_A (testigo), y a los 112 ddt en T₁ (-N). (Gráfico 8)

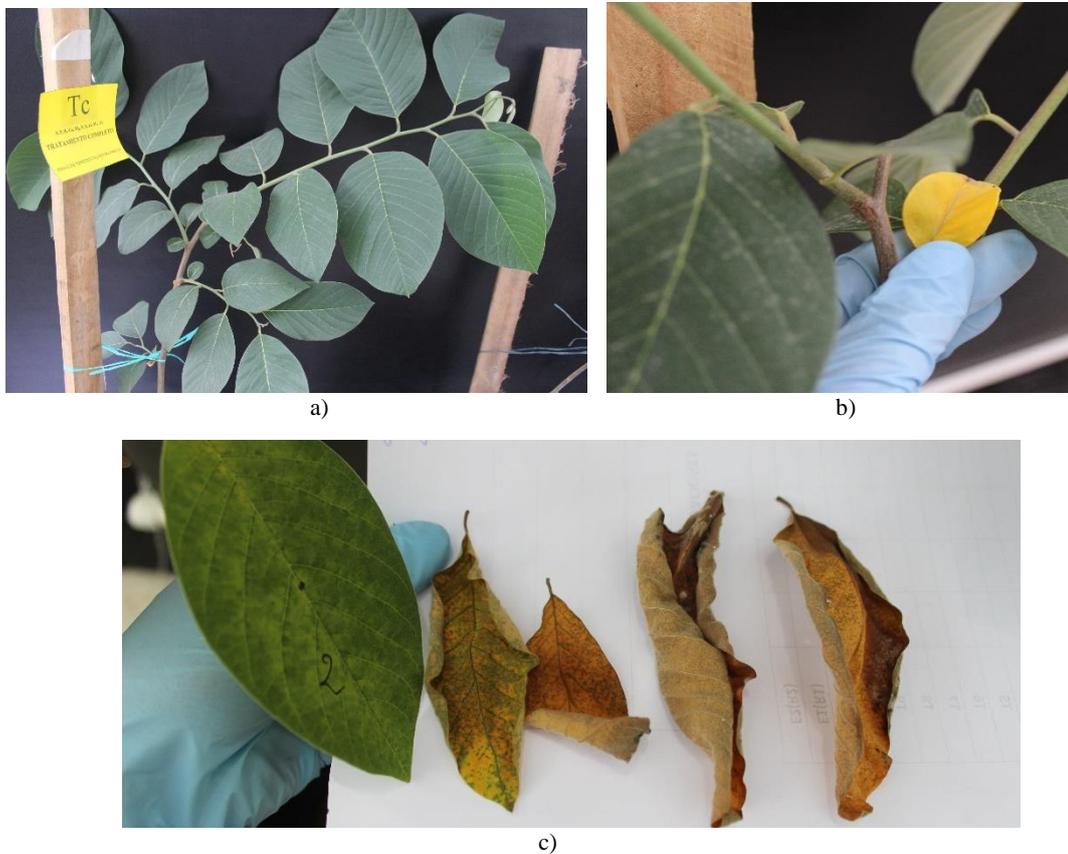


Gráfico 8. Amarillamiento total en tratamientos con omisión de K, Ca, Mg, Fe, N y testigo
Amarillamiento: b) Tratamiento T₃ (sin potasio) c) Tratamiento T_A (testigo) comparado con el tratamiento completo Fig. a)

La Necrosis entre-nervadura es la condición de muerte del tejido y se presenta en distintas partes de las hojas (Gráfico 9), se presentó a los 102 días después del trasplante en T₁ (-N), T₁₀ (-Zn) y T_A (testigo); a los 107 ddt en T₄ (-Ca) y T₈ (-Fe) y a los 119 ddt T₇ (-B).

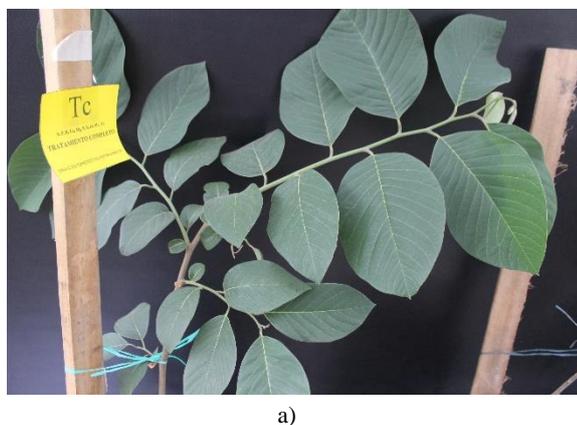




Gráfico 9. Mancha presentada en los tratamientos en omisión de N, Zn, Ca, Fe, B y testigo
Necrosis entre-nervadura: **b)** Tratamiento T₈ (sin hierro) **c)** Tratamiento T₁₀ (sin zinc) comparado con el tratamiento completo Fig. a)

La Necrosis en los bordes es la muerte del tejido, solamente que en este caso se presentó en los márgenes y no en la parte central (Gráfico 10), inició a los 112 días después del trasplante en T_c (completa) y T₁ (-N), a los 126 ddt en T₁₀ (-Zn) y a los 140 ddt T₂ (-P), T₆ (-S), T₇ (-B) y T_A (testigo).

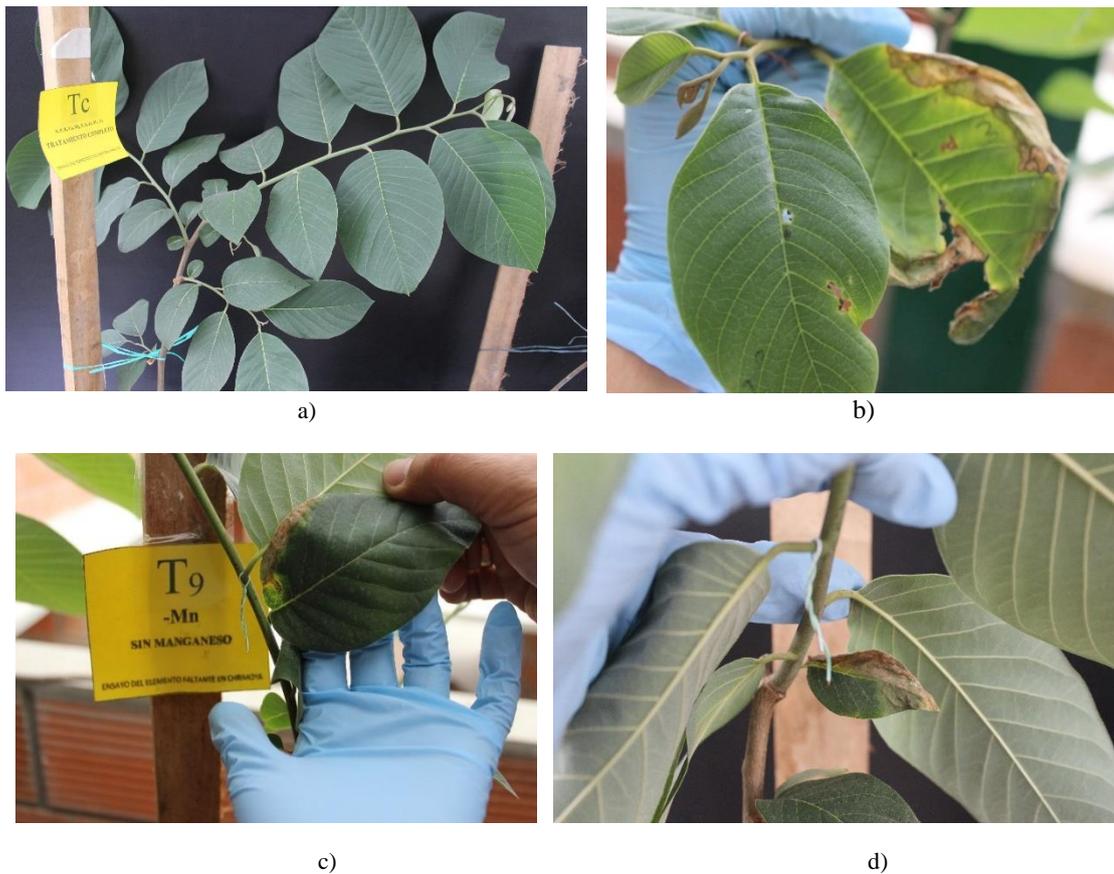


Gráfico 10. Necrosis en los bordes de los tratamientos en omisión de N, Zn, P, S, B y testigo
Necrosis en los bordes: **b)** Tratamiento T₁₀ (sin zinc) **c)** Tratamiento T₉ (sin manganeso) **d)** Tratamiento T_A (testigo) comparado con el tratamiento completo Fig. a)

La Necrosis en el ápice o muerte del tejido se presentó a los 123 días después del trasplante en T₉ (-Mn), a los 126 ddt en T₇ (-B) y a los 140 ddt en T₂ (-P), T₅ (-Mg), T₈ (-Fe) y T_A (testigo) (Gráfico 11).

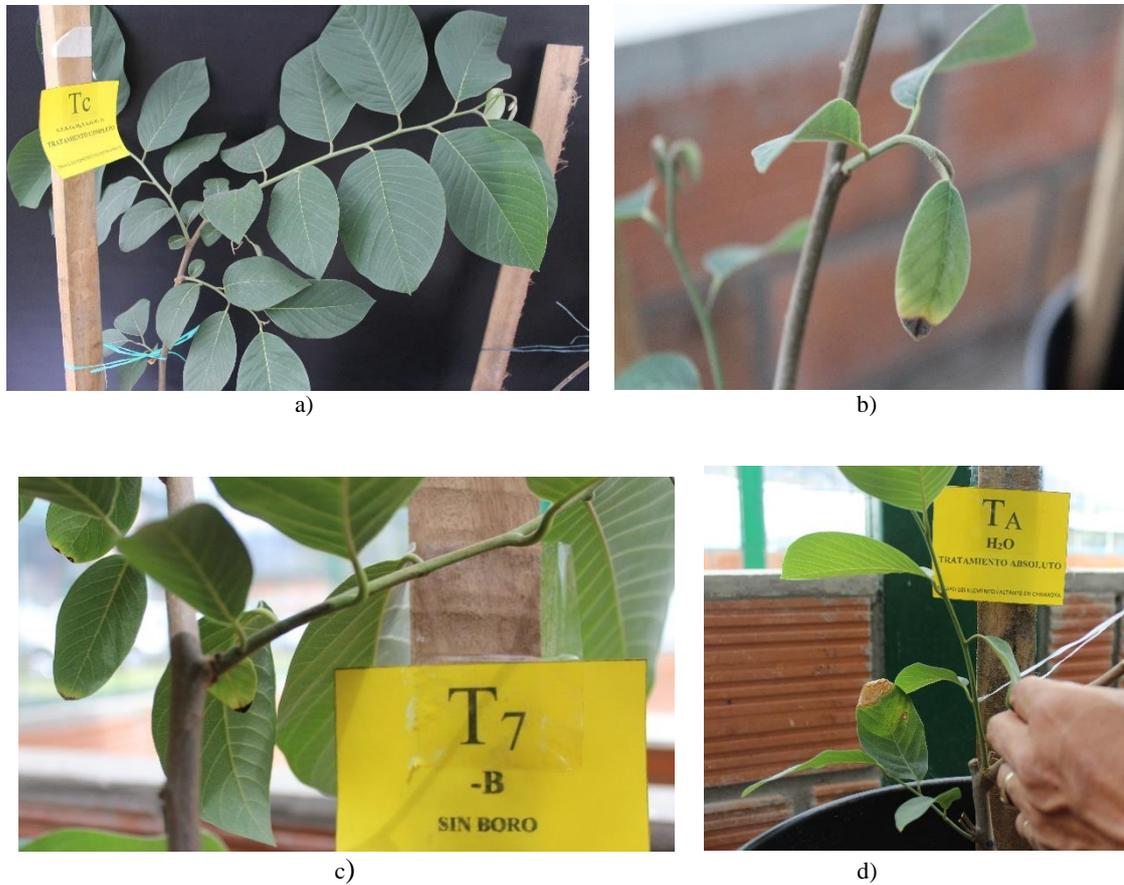


Gráfico 11. Necrosis en el ápice presentado en los tratamientos en omisión de Mn, B, P, Mg, Fe y testigo
Necrosis apical: **b)** Tratamiento T₂ (sin fósforo) **c)** Tratamiento T₇ (sin boro) **d)** Tratamiento T_A (testigo) comparado con el tratamiento completo Fig. a)

Los Orificios se presentaron en el margen de las hojas de la parte alta, media y baja y se presentó a los 102 días después del trasplante en T₁₀ (-Zn) (Gráfico 12).





Gráfico 12. Orificios presentados en el tratamiento con omisión de Zn comparado con el tratamiento completo Fig. a)

La Hinchazón entre-nervadura se presentó solamente en un tratamiento y la nervadura era un poco más pronunciada por lo que se aprecia como una hinchazón (Gráfico 13) y se presentó a los 107 días después del trasplante en T₄ (-Ca).



Gráfico 13. Hinchazón entre nervadura en el tratamiento con omisión de Ca comparado con el tratamiento completo Fig. a)

Los puntos negros se presentaron en la parte cercana a la base de la hoja y se inició a los 107 días después del trasplante en T₃ (-K), a los 112 ddt en T₅ (-Mg), a los 123 ddt en T₁ (-N) y a los 140 ddt en T₄ (-Ca) (Gráfico 14).



Gráfico 14. Puntos negros presentados en los tratamientos con omisión de K, Mg, N, y Ca Puntos negros: **b)** Tratamiento T₅ (sin magnesio) comparado con el tratamiento completo Fig. a)

La poca vegetación en plantas de chirimoya y por lo general, acompañada de hojas muy pequeñas (Gráfico 15). Se presentó a los 112 día después del trasplante en T7 (-B) y a los 119 ddt T₁ (-N) y T₈ (-Fe)



Gráfico 15. Poca vegetación presentada en los tratamientos con omisión de B, N y Fe
Poca vegetación: **b)** Tratamiento T₁ (sin nitrógeno) **c)** Tratamiento T₇ (sin boro) comparado con el tratamiento completo Fig. a)

El engrosamiento de las hojas y como su nombre lo indica, es cuando algunas de las hojas presentan una textura más áspera (Gráfico 16) con respecto a las otras hojas y generalmente su tono es mucho más acentuado que el resto (muy verdes). Se presentó a los 119 días después del trasplante en T₉ (-Mn), a los 126 ddat en T₄ (-Ca) y a los 140 ddat T₂ (-P) y T₃ (-K)



Gráfico 16. Engrosamiento presentado en los tratamientos con omisión de Mn, Ca, P y K

La clorosis en el ápice es el amarillamiento del tejido foliar por la falta de clorofila y se manifestó únicamente en TA (testigo) a los 126 días después del trasplante (Gráfico 17)



a)



b)

Gráfico 17. Clorosis en el ápice en el tratamiento testigo comparado con el tratamiento completo Fig. a)

Las manchas rojizas se presentaron en forma parecida de necrosis, pero el color no era marrón sino rojizo (Gráfico 18) y se presentó a los 126 días después del trasplante en T₄ (-Ca) y a los 140 ddt en T₁ (-N) y T₅ (-Mg)



a)



b)



c)

Gráfico 18. Manchas rojas en los tratamientos con omisión de Ca, N y Mg
Manchas rojas: b) Tratamiento T₁ (sin nitrógeno) c) Tratamiento T₄ (sin calcio) comparado con el tratamiento completo Fig. a)

4.4.2. Deficiencias nutricionales en raíces

En el Gráfico 19 Fig. 1B se puede observar que la deficiencia de nitrógeno para el sistema radicular hace que, los pelos absorbentes inicien su crecimiento desde la parte media de la raíz y que estas se desarrollen hacia abajo en comparación al T_c (completo) fig. 1A, el cual muestra una cabellera homogénea en dónde los pelos absorbentes se distribuyen desde el cuello de la raíz hasta la punta de la raíz principal. Además, se puede observar el comportamiento del T₂ (-P) Fig. 1C que presenta un crecimiento vertical sin expansión del sistema radicular y la producción de pelos absorbentes inicia debajo del cuello de la



raíz, lo que no sucede con el Tc (completo) el cual presenta su crecimiento de pelos absorbentes desde el cuello de la raíz.

Para la fig. 1-2 (A-C) se observa un crecimiento de los pelos absorbentes a nivel de la parte baja de la raíz, quedando descubierta la parte del cuello hacia la mitad de la raíz de T₃ (-K). También se observa, que el T₄ (-Ca) se ve afectado en el crecimiento y desarrollo del sistema radicular, en donde los pelos absorbentes son pobres y se presentan al final del sistema radical comparada con el Tc (completo) que presenta una uniformidad del sistema radicular.

En la fig. 2 (B-C) se observa que el comportamiento del crecimiento radicular del T₅ (-Mg) es vertical y, además, existe una mala distribución de los pelos absorbentes en donde se ve su crecimiento en la parte final de las raíces. También se observa un deficiente desarrollo radicular y una baja producción de pelos absorbentes, por efectos de la deficiencia de azufre.

En el Gráfico 20. Fig. 3 (B-C) se puede observar un bajo crecimiento del sistema radicular, producto de la deficiencia de boro, y se observa, que el tratamiento T₈ (-Fe) tiene un crecimiento vertical de los pelos absorbentes y no presenta un sistema radicular vigoroso comparado al Tc (completo).

En la fig. 4 (A-B) se observa que T₉ (-Mn) presenta un bajo crecimiento radicular, especialmente de los pelos absorbentes, desarrollándose este en la parte baja de la raíz, y se observa que el crecimiento del sistema radicular del T₁₀ (-Zn) no es afectado por la deficiencia de este elemento y el crecimiento de los pelos absorbentes y raíces se inician desde la parte media del sistema radicular.

Finalmente, en la fig. 4C se muestra el comportamiento del sistema radicular del T_A (testigo) en donde se observa un crecimiento del sistema radicular en la parte final de la raíz, con una ramificación de los pelos absorbentes no muy desarrollada comparada con el Tc (completo) que presenta una mejor distribución radicular de la parte horizontal y vertical.



1A) Tc (completo)



1B) T1 (-N)



1C) T2 (-P)



2A) T3 (-K)



2B) T4 (-Ca)



2C) T5 (-Mg)

Gráfico 19. 1-2. Síntomas de deficiencias en plantas de chirimoya en carencia de: 1B) nitrógeno 1C) fósforo 2A) potasio 2B) calcio 2C) magnesio, comparado con el tratamiento completo Fig 1A.



3A) T6 (-S)



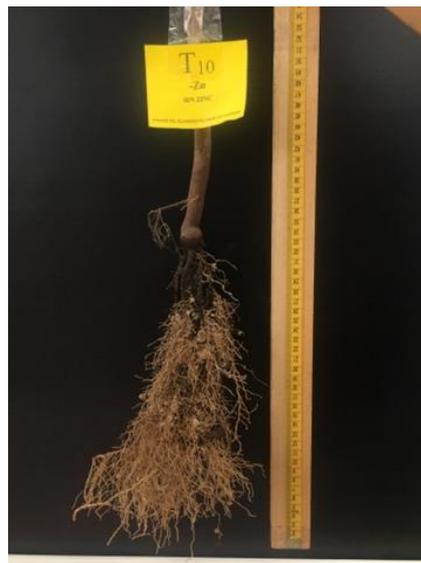
3B) T7 (-B)



3C) T8 (-Fe)



4A) T9 (-Mn)



4B) T10 (-Zn)



4C) TA (testigo)

Gráfico 20. 3-4. Síntomas de deficiencias en plantas de chirimoya en carencia de: 3A) azufre 3B) boro 3C) hierro 4A) manganeso 4B) zinc 4C) testigo, comparado con el tratamiento completo Fig 1A.

4.5. ANÁLISIS QUÍMICOS

4.5.1. pH

El ANOVA para pH (Tabla 56), mostró diferencias altamente significativas a los 63, 84 y 105 días después del trasplante (p -valor $< 0,05$). El valor de pH inicial y como era de esperar, es prácticamente neutro para todos los tratamientos, debido a que, es el mismo sustrato para todos los tratamientos. A partir de los 63 ddt, T_C (completo), T₃ (-K) y T₁₀ (-Zn) tienen el pH prácticamente neutro, mientras que, para T₁ (-N) el pH es ligeramente alcalino. A los 84 ddt, el pH es prácticamente neutro para T_C (completo) y T₄ (-Ca) y ligeramente alcalino para T₂ (-P). Finalmente, a los 105 ddt, el pH es principalmente neutro para gran parte de los tratamientos, mientras que T₂ (-P) mantiene la neutralidad y T₁ (-N) tiene un pH ligeramente alcalino.

Tabla 56. pH en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos	pH Promedios			
	0 ddt	63 ddt	84 ddt	105 ddt
TC Completo	6,8 sd	6,6 b*	6,5 b*	6,6 ab
T1 -N	6,8 sd	7,5 a**	7,0 ab	7,4 a**
T2 -P	6,8 sd	7,1 ab	7,2 a**	7,1 ab
T3 -K	6,8 sd	6,9 b*	6,9 ab	6,9 ab
T4 -Ca	6,8 sd	7,0 ab	6,7 ab	6,3 b*
T5 -Mg	6,8 sd	7,0 ab	6,8 ab	6,5 ab
T6 -S	6,8 sd	7,0 ab	6,8 ab	6,8 ab
T7 -B	6,8 sd	7,1 ab	7,0 ab	6,7 ab
T8 -Fe	6,8 sd	7,1ab	7,0 ab	6,7 ab
T9 -Mn	6,8 sd	7,0 ab	6,8 ab	6,9 ab
T10 -Zn	6,8 sd	7,0 ab	6,9 ab	6,9 ab
TA Testigo	6,8 sd	7,0 ab	7,0 ab	6,7 ab

ddt Días después del trasplante

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

sd sin diferencia estadística

*Media significativamente menor comparada con los otros rangos

**Media significativamente mayor comparada con los otros rangos

Las medias que no comparten (* o **) son significativamente parecidas

El pH ideal para la mayoría de los cultivos comprende valores de 6,1 a 6,5 y de 6,6 a 7,3 se consideran que existen efectos tóxicos mínimos (Flores, 2012).

4.5.2. Conductividad eléctrica

El valor de conductividad eléctrica no es significativamente diferente y por ello se denota con una sola letra, la cual no muestra diferencias estadísticas de mayor importancia (Tabla 57).

Tabla 57. Conductividad eléctrica en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (annona cherimola Mill.), EEA 2019

Tratamientos	CE Promedios			
	0 ddt	63 ddt	84 ddt	105 ddt
TC Completo	0,14	0,3	0,5	0,69
T1 -N	0,14	0,23	0,72	0,75
T2 -P	0,14	0,34	0,63	0,68
T3 -K	0,14	0,36	0,57	0,8
T4 -Ca	0,14	0,29	0,77	0,7
T5 -Mg	0,14	0,32	0,67	0,87
T6 -S	0,14	0,31	0,69	0,89
T7 -B	0,14	0,31	0,65	0,55
T8 -Fe	0,14	0,22	0,53	0,63
T9 -Mn	0,14	0,34	0,76	0,8
T10 -Zn	0,14	0,41	0,54	0,75
TA Testigo	0,14	0,33	0,51	0,5

ddt (días después del trasplante)

4.6. ANÁLISIS FOLIARES

4.6.1. Macronutrientes (%)

De acuerdo al análisis foliar (Tabla 58), todos los tratamientos (T_C, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇, T₈, T₉, T₁₀, y T_A) tienen un porcentaje de cada uno de los elementos en la materia vegetal, y es debida, a los nutrientes que tomó del primer sustrato en las que se encontraban, y a los primeros riegos con solución completa, la cual contenía todos los macro y micro elementos y con la cual, además, se garantizaba un desarrollo inicial correcto.

T₃ (-K), T₅ (-Mg), T₆ (-S) y T_C (completo) son los tratamientos con mayor cantidad de N en la materia seca (raíz, tallo, hojas), mientras que T₉ (-Mn) y T₂ (-P) tienen un menor contenido de este elemento. Para el fósforo T_C (completo) y T₁ (-N) tiene mayor contenido, mientras que, T_A (absoluto), T₈ (-Fe), T₆ (-S) el menor porcentaje, las

diferencias no son altamente significativas, puesto que, los valores fluctúan entre 0,12 y 0,19 % de fósforo en la materia seca. El contenido de fósforo en T₂ (-P) es del 0,13 % y T_A (testigo) del 0,12 %, si se asume que el 0,12 % lo absorbió en la etapa de desarrollo ya que luego solo tuvo riesgos de agua destilada tipo 1 el T_A, entonces, los tratamientos T₆ (-S) y T₈ (-Fe) tuvieron las mayores limitaciones para absorber este elemento, sin embargo, el resto de los tratamientos también tuvo un bajo contenido de este elemento. El potasio (K), fue absorbido mayoritariamente por T_C (completo), T₁₀ (-Zn) y T₉ (-Mn) y los tratamientos T₆ (-S) Y T₄ (-Ca) tuvieron limitaciones para absorber este elemento. El Calcio (Ca), es absorbido en mayor cantidad por T₉ (-Mn) y en menor cantidad por T₁ (-N) y T₇ (-B). El magnesio (Mg), es absorbido en mayor cantidad por T₉ (-Mn), T₈ (-Fe) y T₃ (-K), y en menor cantidad por T₁ (-N) y T₇ (-B). El azufre (S), es absorbido en mayor cantidad por T₈ (-Fe) y el resto de los tratamientos mantienen igualdad en cuanto a la cantidad absorbida en un promedio de 0,04 %.

Tabla 58. Macronutrientes en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos		Promedio					
		Macronutrientes (%)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
TC	Completo	2,57 b**	0,19 a	2,35 a	1,59 a	0,3 a	0,22 a
T1	-N	1,9 ab	0,16 a	2,13 a	1,28 a	0,21 a	0,2 a
T2	-P	1,93 ab	0,13 a	2,16 a	1,51 a	0,3 a	0,21 a
T3	-K	2,68 b**	0,15 a	1,85 a	1,66 a	0,36 a	0,24 a
T4	-Ca	2,36 ab	0,13 a	1,76 a	1,53 a	0,31 a	0,2 a
T5	-Mg	2,6 b**	0,15 a	1,9 a	1,55 a	0,22 a	0,2 a
T6	-S	2,57 b**	0,12 a	1,67 a	1,45 a	0,31 a	0,15 a
T7	-B	2,43 ab	0,16 a	1,92 a	1,32 a	0,27 a	0,2 a
T8	-Fe	2,21 ab	0,12 a	2,18 a	1,67 a	0,37 a	0,31 a
T9	-Mn	1,9 ab	0,13 a	2,33 a	2,09 a	0,38 a	0,24 a
T10	-Zn	2,29 ab	0,14 a	2,35 a	1,71 a	0,29 a	0,23 a
TA	Testigo	1,68 a*	0,12 a	1,66 a	1,01 a	0,26 a	0,25 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

*Media significativamente menor comparada con los otros rangos

**Media significativamente mayor comparada con los otros rangos

Las medias que no comparten (* o **) son significativamente parecidas



4.6.2. Micronutrientes (ppm)

El análisis foliar (Tabla 59), mostró el mayor porcentaje de boro (B) y zinc (Zn) en T₃ (-K), de hierro (Fe) en T₉ (-Mn) y T₄ (-Ca), y de manganeso (Mn) en T₅ (-Mg). Por el contrario, el menor porcentaje de Boro (B) en T₁ (-N), en zinc (Zn) T₇ (-B) y T₈ (-Fe), en hierro (Fe) T₇ (-B) y en manganeso (Mn) T₇ (-B), T₈ (-Fe).

El T₁ (-N), es el tratamiento con menor porcentaje en Ca, Mg y B y debido a que el calcio y el boro mejoran la absorción de K y P por su contribución directa con las membranas celulares de la raíz, se deba a que T₁ (-N) tenga una baja concentración de fósforo. Por otra parte, T₇ (-B), es el tratamiento con menor porcentaje en zinc, hierro, manganeso, magnesio, potasio y calcio, sin embargo, su contenido en fósforo es alto. El tratamiento T₉ (-Mn), tiene menor contenido de nitrógeno, pero tiene un alto porcentaje de potasio, calcio, magnesio y hierro. El tratamiento T₈ (-Fe) tiene un contenido bajo en fósforo, zinc y manganeso y es alto en azufre. T₅ (-Mg) es alto en manganeso y bajo en potasio; T₁₀ (-Zn) es alto en potasio y bajo en boro; T₄ (-Ca) es alto en hierro y manganeso y bajo en potasio.

Tabla 59. Micronutrientes en la evaluación de deficiencias nutricionales en chirimoya (*annona cherimola* Mill.), EEA 2019

Tratamientos		Promedio				
		Micronutrientes (ppm)				
		B	Zn	Cu	Fe	Mn
TC	Completo	55,03 e	19,4 ab	14,73 a	353,9 abcde	31,87 abcd
T1	-N	24,7 a*	23,73 ab	12,7 a	321,97 abc	34,33 abcd
T2	-P	64,87 ef	21,77 ab	9,77 a	265,17 ab	29,63 abcd
T3	-K	80,77 f**	30,23 b	12,07 a	565,23 cde	41,9 bcd
T4	-Ca	51,03 cde	22,33 ab	13,4 a	636,63 de	46,07 cd
T5	-Mg	54,43 de	20,3 ab	11,57 a	395,4 bcde	56,97 d**
T6	-S	48,07 bcde	16,53 ab	12,4 a	595,43 cde	45,57 cd
T7	-B	26,33 ab	10,7 a*	9,73 a	189,23 a*	21,4 a*
T8	-Fe	68,93 ef	13 a*	8,93 a	371,4 bcde	22,37 a*
T9	-Mn	56 e	14,63 ab	8,67 a	658,17 e**	23,83 ab
T10	-Zn	32,07 abcd	25,17 ab	13,2 a	278,13 ab	27,87 abc
TA	Testigo	28,97 abc	26,57 ab	13,13 a	340,97abcd	22,97 a*

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

*Media significativamente menor comparada con los otros rangos

**Media significativamente mayor comparada con los otros rangos

Las medias que no comparten (* o **) son significativamente parecidas

En la Tabla 60 se presenta un resumen de las principales deficiencias visuales ocasionadas en ausencia de uno de los elementos esenciales en el cultivo hidropónico de chirimoya bajo invernadero.

*Tabla 60. Resumen de las principales deficiencias de acuerdo al elemento en plantas de chirimoya*

Elemento	Deficiencias
Nitrógeno	<p>Presentan una reducción en el tamaño total de planta con -5 cm. mostraron. La altura total de la planta comprende el largo de la raíz y del tallo. Valores menores de clorofila.</p> <p>Encartuchamiento, Defoliación, Necrosis entre nervadura, amarillamiento total, puntos negros, necrosis marginal, poca vegetación, manchas rojizas</p> <p>La absorción de calcio, magnesio y boro se ve afectada cuando existe deficiencia de nitrógeno y boro.</p>
Fósforo	<p>Necrosis marginal, Engrosamiento de hojas, necrosis en el ápice</p> <p>La absorción de hierro es afectada cuando existe deficiencia de boro y de fósforo</p> <p>La absorción de nitrógeno es afectada cuando existe deficiencia de fósforo.</p>
Potasio	<p>Tallos con menor diámetro, más frágiles. Reducción del tamaño de hojas con el doblamiento de estas. Menor porcentaje de materia seca.</p> <p>Encartuchamiento, Defoliación, amarillamiento total, puntos negros, Engrosamiento de hojas</p> <p>Problemas radiculares</p>
Calcio	<p>Tallos con menor diámetro, más frágiles. Reducción del tamaño de hojas con el doblamiento de estas. No permite la elongación de los entrenudos.</p> <p>Defoliación, Necrosis entre nervadura, amarillamiento total, hinchazón entre-nervadura, puntos negros, Engrosamiento de hojas, manchas rojizas</p> <p>Problemas radiculares</p> <p>La absorción de potasio se ve afectada o es más baja, cuando existe deficiencia de calcio, magnesio, azufre y boro</p>
Magnesio	<p>Pérdida de clorofila. Menor área foliar</p>



	<p>Encartuchamiento, Defoliación, amarillamiento total, puntos negros, necrosis en el ápice, manchas rojizas</p> <p>Problemas radiculares</p> <p>La absorción de potasio se ve afectada o es más baja, cuando existe deficiencia de calcio, magnesio, azufre y boro</p>
Azufre	<p>La elongación del tallo se volvió más lenta y aumentó 5,4 cm comparado al tratamiento completo.</p> <p>Necrosis marginal</p> <p>Problemas radiculares</p> <p>La absorción de potasio y fósforo se ve afectada o es más baja, cuando existe deficiencia de calcio, magnesio, azufre y boro</p>
Boro	<p>Presentan un menor tamaño con 20,7 cm comparado al tratamiento completo. Menor porcentaje de materia seca.</p> <p>Necrosis entre nervadura, Encartuchamiento, necrosis marginal, poca vegetación, necrosis en el ápice</p> <p>Problemas radiculares</p> <p>La absorción de potasio, calcio, magnesio, manganeso, zinc y hierro se ve afectada o es más baja, cuando existe deficiencia de calcio, magnesio, azufre y boro</p>
Hierro	<p>Encartuchamiento, Necrosis entre nervadura, amarillamiento total, poca vegetación, necrosis en el ápice</p> <p>La absorción de fósforo es afectada ante la deficiencia de azufre y hierro</p> <p>La absorción de manganeso y de zinc es baja cuando existe deficiencia de boro y de hierro</p>
Manganeso	<p>Engrosamiento de hojas, necrosis en el ápice</p> <p>Problemas radiculares</p>
Zinc	<p>Presentan un menor tamaño 18,7 cm comparado al tratamiento completo y además tiene el crecimiento del tallo es menor con 7,5</p>



cm. Tallos con menor diámetro, más frágiles. No permite la elongación de los entrenudos. Menor área foliar

Necrosis entre nervadura, orificios marginales, necrosis marginal

La absorción de boro es afectada cuando existe deficiencia de nitrógeno y de zinc

Agua

Empezó a detenerse el crecimiento del tallo

Necrosis entre nervadura, amarillamiento total, necrosis en el ápice, clorosis en el ápice



5. CONCLUSIONES

La capacidad de campo del sustrato fue determinada correctamente, aludiendo de esta manera, las deficiencias a la solución aplicada.

La omisión de nutrientes como Mg, B, P, Mn, K y N ocasionaron que los niveles de clorofila sean inferiores, y la omisión de Ca y Fe se encuentren cercanos al valor de clorofila del tratamiento con solución completa.

Para las variables evaluadas y cuantificadas en plantas de chirimoya, el déficit de Zn es el elemento inmerso en la mayoría de deficiencias a excepción de las variables clorofila, biomasa y tamaño de hojas. Por su parte, la omisión de Fe, P y Mn no tuvieron influencia en ninguna de las variables estudiadas.

Las deficiencias visuales son similares en casi todos los tratamientos, sin embargo, el déficit de elementos como Zn y P, y especialmente S y Mn presentan deficiencias que requieren de más tiempo para poder ser identificadas.

El déficit de elementos como el K, Ca, Mg, S, B y Mn afectan negativamente el desarrollo radicular de las plantas de chirimoya, así, las raíces en estos tratamientos se mostraron poco abundantes, la producción de pelos radiculares fue mínima y su expansión es casi nula.

Las raíces del tratamiento con solución completa son raíces con pelos absorbentes abundantes y aparentemente bien desarrolladas, sin embargo, los valores de la variable altura del tallo y de la raíz son valores medios entre el extremo alto y el bajo, es decir, el crecimiento fue pausado y no acelerado como es el caso de los tratamientos en los que hubo omisión de manganeso, nitrógeno, calcio y hierro.

Para la variable altura del tallo, el manganeso es el elemento cuyo déficit provocó una aceleración en la elongación del mismo. Así mismo, para la variable altura raíz, el déficit de calcio, hierro, fósforo, azufre y manganeso tuvieron un crecimiento 5 veces superior al del completo, por lo que se puede sugerir que estas plantas tuvieron una aceleración de su ciclo biológico.

En plantas de chirimoya es importante un fertilizante con contenido de boro, ya que el déficit provoca la no absorción de otros elementos; además de este nutriente es importante el contenido de Zn, K, Ca, N para el desarrollo de las plantas.



La variable biomasa es un valor que no da mucha información acerca de las deficiencias, debido a que, en esta investigación, la biomasa tomó valores aproximados entre todos los tratamientos.

El desarrollo radicular y clorofila son las variables en que mejor se acentuaban las deficiencias nutricionales.

La técnica del elemento faltante es útil debido a que se puede visualizar las deficiencias en hojas y especialmente en raíces. El déficit de algunos elementos se manifiesta más tempranamente, con un aspecto igual que para otros elementos, pero que tardan más en manifestarlo.



6. RECOMENDACIONES

Crear una curva de retención de humedad del sustrato con la finalidad de conocer la cantidad de agua de riego a utilizar.

Incrementar las unidades experimentales con el objeto de realizar una curva de producción de biomasa a lo largo del experimento y con lo cual, además, se podrán realizar los respectivos análisis foliares, obteniendo los valores de la cantidad de nutriente absorbido por las plantas.

Ampliar el número de plantas en la primera etapa en la cual reciban solución completa y sean tratadas como el resto de unidades, con el objeto de poder reemplazar aquellas unidades que por alguna razón inherente al proyecto no se desarrollaron y puedan continuar cuando se les aplique en tratamiento específico.

El tiempo de evaluación, dentro de la investigación, debe alargarse en plantas cuyos ciclos son más lentos, debido a que pueden aparecer deficiencias más puntuales en el transcurso del tiempo.

Complementar la investigación realizando análisis de suelo mensuales a fin de conocer los macro y micro elementos presentes y así realizar un balance de los elementos presentes en el suelo y los que absorbió la planta.



7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIA

- Aguirre, A. (2009). EL MANEJO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN FERTIRRIEGO [Investigación, Centro de Investigación en Química Aplicada-CIQA]. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/344/1/Alberto%20Aguirre%20Hernandez.pdf>
- Alarcón, A. (s. f.). EL BORO COMO NUTRIENTE ESENCIAL. 12.
- Alfonso, G. (2017). EVALUACIÓN DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN QUINUA HIDROPÓNICA (*Chenopodium quinoa* Willd.), MEDIANTE LA TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE EN INVERNADERO [Universidad Central del Ecuador]. <http://repositorio.iniap.gov.ec/bitstream/41000/4552/1/iniapsctA388e.pdf>
- Álvarez, E., & Sáyago, S. (2018). Alimentos-vegetales-autoctonos.utf8. <http://alimentos-autoctonos.fabro.com.mx/chirimoya.html>
- Amezcuca, J., & Lara, M. (2017). El zinc en las plantas. 63(3). https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf
- Andrade, R. (2009). CARACTERIZACION MORFOAGRONOMICA Y MOLECULAR DE LA COLECCIÓN DE CHIRIMOYA ANNONA CHERIMOLA MILL EN LA GRANJA EXPERIMENTAL TUMBACO INIAP-ECUADOR: OQTE-KAF-7RUJ. INIAP Archivo Historico. https://books.google.com.ec/books?id=n2ogAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (s. f.). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Recuperado 8 de enero de 2020, de https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf
- Barbazán, M. (1998). Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes (Universidad de la República de Montevideo-Facultad de Agronomía). https://www.researchgate.net/profile/Monica_Barbazan/publication/267702791_AGRO_NOMIA_ANALISIS_DE_PLANTAS_Y_SINTOMAS_VISUALES_DE_DEFICIENCIA_DE_NUTRIENTES/links/56f123d608aea9fd53a881b5.pdf
- Barreca, D., Laganà, G., Ficarra, S., Tellone, E., Leuzzi, U., Galtieri, A., & Bellocco, E. (2011). Evaluation of the antioxidant and cytoprotective properties of the exotic fruit *Annona cherimola* Mill. (Annonaceae). *Food Research International*, 44(7), 2302-2310. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.031>
- Beltrano, J., & Giménez, D. O. (2015). Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46752>
- Calderon, F., & Cevallos, F. (2001). LOS SUSTRATOS. http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm
- Castro, J. (2007). Cultivo de la Anona (*Annona cherimola*, Mill). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-9412.pdf>
- Ceme, R. (2019). TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA. 55.



- Chávez, M., Acurio, S., & Paredes, M. (2000). Alimentos_9_1_2000.pdf. http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24473/2/Alimentos_9_1_2000.pdf#page=17
- Dobermann, A., & Fairhurst, T. (2000). Manejo del Azufre en arroz. 58, 3.
- El Magnesio: Nutriente esencial en la producción de frutales y cultivos. (2013). https://www.compo-expert.com/fileadmin/user_upload/compo_expert/cl/documents/Art%C3%ADculo_Compo_RA58_final.pdf
- Finck, A. (1988). Fertilizantes y fertilización. Reverte.
- Flores, R. C. (2012). El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. Editorial Paraninfo.
- García, W., Guzmán, B., Lino, V., Rojas, J., Hermoso, J., Guirado, E., González, J., Scheldeman, J., & Hormaza, I. (2010). Manual de manejo integrado del cultivo de Chirimoyo. <https://www.proinpa.org/tic/pdf/Frutales/Varios%20Frutales/pdf56.pdf>
- Gayoso Bazán, G. (2017). Annona cherimola Mill. “Chirimoya” (Annonaceae), una fruta utilizada como alimento en el Perú prehispánico. *Arnaldoa*, 24(2), 619-634. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24213>
- Gil-Albert, F. (2019). UF0019—Preparación del medio de cultivo. Ediciones Paraninfo, S.A. <https://books.google.com.ec/books?id=-geXDwAAQBAJ>
- Gilsanz, J. (2007). *Hidroponía* (INIA). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>
- González, M. (2013). Chirimoya (*Annona cherimola* Miller), frutal tropical y sub-tropical de valores promisorios. *Cultivos Tropicales*, 34(3), 52-63.
- Guerrero, M. (2012). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCION, Y COMERCIALIZACION DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill), ECOTIPO T61 TUMBACO – PICHINCHA. [Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1822/1/104357.pdf>
- Haq, N. (2006). *Jackfruit: Artocarpus Heterophyllus*. International Centre for Underutilised Crops. <https://books.google.com.ec/books?id=k4yc4F3nGwIC>
- IICA (Ed.). (1985). Compendio de agronomía tropical (Vol. 2). IICA. https://books.google.com.ec/books?id=B4sQgy22YpAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- INTAGRI. (2017). La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos | Intagri S.C. Intagri. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>
- Jones, J. W., Tsuji, G. Y., Hoogenboom, G., Hunt, L. A., Thornton, P. K., Wilkens, P. W., Imamura, D. T., Bowen, W. T., & Singh, U. (1998). Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. En G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, & P. K. Thornton (Eds.), *Understanding Options for Agricultural Production* (pp. 157-177). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3624-4_8



- Langlais, C., & Ryckewaert, P. (2001). Guía de los cultivos protegidos de hortalizas en zona tropical húmeda. Editions Quae.
- Leon, J., Viteri, P., & Mejía, A. (2004a). Guía para la determinación de deficiencias nutricionales en babaco.
- Leon, J., Viteri, P., & Mejía, A. (2004b). Guía para la determinación de deficiencias nutricionales en babaco. 118. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/448/3/iniapsbt118.pdf>
- Loizzo, M. R., Tundis, R., Bonesi, M., Menichini, F., Mastellone, V., Avallone, L., & Menichini, F. (2012). Radical scavenging, antioxidant and metal chelating activities of *Annona cherimola* Mill. (Cherimoya) peel and pulp in relation to their total phenolic and total flavonoid contents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 25(2), 179-184. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.09.002>
- Margulis, L., & Sagan, D. (s. f.). El proceso de nutrición en las plantas. Recuperado 17 de septiembre de 2019, de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448180895.pdf>
- Martínez, F. E., Sarmiento, J., & Fischer, G. (2009). Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). 10.
- Martínez-Corral, L., Martínez-Rubín de Celis, E., Flores-García, F. G., Preciado-Rangel, P., Zermeno-González, H., & Valdez-Cepeda, R. D. (2009). Programa de cómputo para el cálculo de soluciones nutritivas. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2), 149-153.
- Mikkelsen, R. (2010). Fuentes de Magnesio. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/47833649504C3064852579A0006A1A38/\\$FILE/3.%20Fuentes%20de%20Magnesio.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/47833649504C3064852579A0006A1A38/$FILE/3.%20Fuentes%20de%20Magnesio.pdf)
- Molina, N., Guevara, D., & Ullivarri, J. (s. f.). Físico-Química del Suelo. Universidad de Tucumán.
- Mora, B. (2019). El Boro como elemento multifuncional en cultivos de ciclo corto [Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/6686/1/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000195.pdf>
- Pinto, A., Cordeiro, M., Andrade, S., Ferreira, F., Filgueiras, H., Alves, R., & Kinpara, D. (2005). *Annona* species. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/890581/1/pinto01.pdf>
- Preciado, P. (2016). Manual de preparación de soluciones nutritivas. Google Docs. https://drive.google.com/file/d/0B37hUU0ZxXAbRDZ1UIJ6clRRVjA/view?usp=sharing&usp=embed_facebook
- Principios básicos de los sustratos | PRO-MIX. (s. f.). Recuperado 7 de enero de 2020, de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/principios-basicos-de-los-sustratos/>
- Ramírez, R., Mora, F., Avila, J., Usbillaga, A., & Segnini, S. (2011). Composición química y actividad larvicida del aceite esencial de *Annona cherimola* Mill. De Los Andes venezolanos contra el mosquito *Aedes aegypti* (L.). *Revista de la Facultad de Farmacia*, 53. <https://link.galegroup.com/apps/doc/A304167208/IFME?sid=lms>



- Restrepo, E. C. M., Arredondo, J. D. H., Muñoz, C. A. U., & Ramos, C. P. F. (2017). *ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR EN CAFÉ VARIEDAD CASTILLO® A LIBRE EXPOSICIÓN Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN*. 7.
- Rodríguez, I. A. (2013). QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES. 102.
- Rodríguez, M., & Floréz, V. (2004). ELEMENTOS ESENCIALES Y BENEFICIOSOS. <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3133/F13.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Sánchez, E., Soto, J., Ruiz, J., & Romero, L. (2006). ASIMILACIÓN DE NITRÓGENO EN RAÍCES Y HOJAS DE FRIJOL EJOTERO: DEFICIENCIA VS TOXICIDAD DE NITRÓGENO. 29, 10.
- Sanz, M. A., Blanco, A., Monge, E., & Val, J. (s. f.). CARACTERIZACIÓN DE LA DEFICIENCIA DE CALCIO EN PLANTAS DE TOMATE UTILIZANDO PARÁMETROS FISIOLÓGICOS. 13.
- SOLUCIÓN NUTRITIVA: Puntos a considerar para tener mejores resultados*. (2018, febrero 22). [Hidroponía.mx]. <https://hidroponia.mx/solucion-nutritiva-puntos-a-considerar-para-tener-mejores-resultados/>
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. max, & Murphy, A. (2017). Fisiología e Desenvolvimento Vegetal. En Artmed. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32304-1_19
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (1988). Los suelos y su fertilidad. Reverte.
- Valenzuela, O., Gallador, C., Carponi, M., Aranguren, M., Tabares, H., & Barrera, M. (2014). Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. 4, 19.
- Van Damme, P., & Scheldeman, X. (s. f.). El fomento del cultivo de la chirimoya en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado 24 de agosto de 2019, de <http://www.fao.org/3/X2450S/x2450s09.htm>
- Vanegas, E., Encalada, C., Feicán, C., Gómez, M., & Viera, W. (2016). CIANAMIDA HIDROGENADA Y NITRATO DE POTASIO PARA MANIPULAR ÉPOCAS DE COSECHA EN CHIRIMOYA (*Annona Cherimola* Mill.). 3. <http://www.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestabilidad/index.php/revista/article/view/28/56>
- Vargas, R. (2009). Guía para la descripción de suelos (Cuarta). <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Vega-Celedón, P., Canchignia, H., González, M., & Seeger, M. (2016). Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. *Cultivos Tropicales*, 37, 33-39.



Villanueva-Arce, R., Yáñez-Morales, M. de J., & Hernández-Anguiano, A. M. (2008). Especies de *Colletotrichum* en chirimoya (*Annona cherimola* Mill.). *Agrociencia*, 42(6), 689-701.

Yáñez, G. (2018). Mejoramiento del amarre y obtención de frutos partenocárpicos en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) mediante el uso de reguladores de crecimiento. [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15168/1/T-UCE-0004-A79-2018.pdf>

8. ANEXOS

8.1. Capacidad de campo del sustrato



Gráfico 21. Determinación de la capacidad de campo del sustrato

8.2. Trasplante



Gráfico 22. Trasplante de los injertos a los recipientes

8.3. Preparación de las soluciones



Gráfico 23. Preparación de las soluciones en el laboratorio de suelos y aguas de la EEA

8.4. Muestreo



Gráfico 24. Muestreo del sustrato para la determinación de pH y CE

8.5. Preparación de la muestra



Gráfico 25. Preparación del sustrato para la determinación de análisis químicos

8.6. Determinación de pH y conductividad eléctrica



Gráfico 26. Preparación de las muestras para el análisis de pH y CE

8.7. Aplicación de Dormex a la yema de las plantas



Gráfico 27. Aplicación de Dormex al 5 % en todos los tratamientos

8.8. Plantas con deficiencia de potasio



Gráfico 28. Hojas del tratamiento carente de potasio

8.9. Plantas con deficiencia de magnesio



Gráfico 29. Hojas del tratamiento carente de magnesio

8.10. Plantas con deficiencia de fósforo



Gráfico 30. Hojas del tratamiento carente de fósforo

8.11. Plantas con deficiencias de nitrógeno

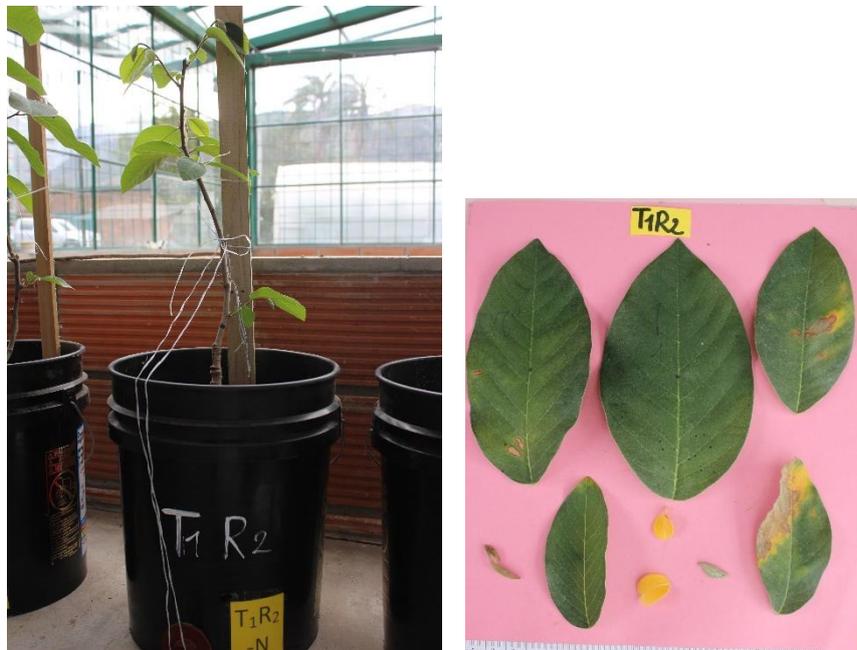


Gráfico 31. Hojas del tratamiento carente de magnesio

8.12. Preparación de soluciones

SOLUCIONES MADRE MACRO

Se utilizaron 10 diferentes compuestos químicos, a partir de los cuales se prepararon las soluciones macro en una concentración igual a 0,5 M y luego fueron transvasadas en sus respectivos envases.

Realizar los cálculos



La Molaridad tiene la siguiente fórmula

$$M = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{litro de solución}} = \text{mol/litro}$$

Datos:

Volumen total: 1 litros

Molaridad deseada: 0,5 M

$$\text{moles de soluto} = \text{Molaridad} \times \text{litro de solución}$$

$$\text{mol } [KH_2PO_4] = [KH_2PO_4] \times \text{litro de solución}$$

$$= 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{litro}} \times 1 \text{ litros}$$

$$= 0,5 \text{ mol } KH_2PO_4$$

Conversión de moles a gramos

$$\text{masa de } KH_2PO_4 = 0,5 \text{ mol} \times \frac{136,09 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 68,045 \text{ g } KH_2PO_4$$

De acuerdo a esto se procede de la siguiente manera:

Pesar la cantidad necesaria, 68,045 g KH_2PO_4 (Tabla 61-62)

Disolver con agua destilada

Trasvasar a un balón de aforo, limpio y seco, de 1 litros de capacidad, realizando lavados del vaso con agua destilada

Aforar a 1 litro

Transvasar a un envase respectivamente etiquetado

NOTA: el mismo procedimiento se seguirá para el resto de compuestos.



Tabla 61. Peso de cada compuesto para la preparación de la solución madre para macronutrientes

Compuesto	Fórmula	Peso molecular (g/mol)	Conc. (M)	Volumen (Lt)	Peso (g)
Fosfato diácido de potasio	KH_2PO_4	136,09	0,5	1	68,045
Nitrato de potasio	KNO_3	101,11			50,555
Nitrato de Calcio tetra-hidratado	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	235,15			235,15
Sulfato de magnesio hepta-hidratado	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246,47			123,235
Cloruro de potasio	KCl	74,55			37,275
Cloruro de calcio	CaCl_2	110,99			55,495
Fosfato diácido de amonio	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115,03			57,515
Nitrato de amonio	NH_4NO_3	80,04			40,02
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	132,13			66,065
Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	256,41			128,205

SOLUCIONES MADRE MICRO

Para preparar las soluciones madre de microelementos, se partió de 4 diferentes compuestos. Se siguió el procedimiento anterior, con la diferencia que las soluciones eran de mayor concentración, siendo 1M, a excepción del EDTA que fue preparado a una concentración igual de 0,5M.

La Molaridad tiene la siguiente fórmula

$$M = \frac{\text{moles de soluto}(n)}{\text{litro de solución}}$$

M es igual a mol/litro

Datos:



Volumen total: 1 litros

Molaridad deseada: 1 M

$$\text{moles de soluto} = \text{Molaridad} \times \text{litro de solución}$$

$$\text{mol } [H_3BO_3] = [H_3BO_3] \times \text{litro de solución}$$

$$= 1 \frac{\text{mol}}{\text{litro}} \times 1 \text{ litros}$$

$$= 1 \text{ mol } H_3BO_3$$

Conversión de moles a gramos

$$\text{masa de } H_3BO_3 = 1 \text{ mol} \times \frac{61,83 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 61,83 \text{ g } H_3BO_3$$

Tabla 62. Peso de cada compuesto para la preparación de la solución madre para micronutrientes

Compuesto	Fórmula	Peso molecular (g/mol)	Conc. (M)	Volumen (Lt)	Peso (g)
EDTA, Sal disódica, dihidrato, cristal	$C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$	372,24	0,5	1	372,24
Ácido bórico	H_3BO_3	61,83	1		61,83
Cloruro de manganeso tetrahidratado	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	197,91			197,91
Cloruro de Zinc	$ZnCl_2$	136,29			136,29

EDTA

Disolver 26,1g de EDTA en 286 ml de NaOH 1N, mezclar con 24,9g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Dejar en reposo por una noche y aforar a 1 litro.

En la siguiente tabla se muestran los mg L^{-1} de aporte de cada elemento en la solución nutritiva.

Tabla 63. mg L⁻¹ aportados por cada elemento para cada una de las soluciones

	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	B
mg L ⁻¹	105.4	15.4	117.3	100.2	24.4	32.2	0.4	4.9	0.5	0.5

8.13. Medición de las variables



Gráfico 32. Medición del diámetro del tallo a 3 cm del patrón con un calibrador en las plantas de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA.



Gráfico 33. Medición de color en las hojas con un comparador de colores IRRI en las plantas de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA.



Gráfico 34. Medición de clorofila en las hojas con un medidor de clorofila SPAD en las plantas de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA.



Gráfico 35. Medición del tamaño de las hojas en las plantas de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA.



Gráfico 36. Medición del tamaño de la altura desde el injerto de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA



Gráfico 37. Medición de la distancia de entrenudos en las plantas de chirimoya en la evaluación de las deficiencias de macro y microelementos en la EEA

8.14. Invernadero



Gráfico 38. Invernadero de la EEA