

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO DE *Solanum lycopersicum* L.
(TOMATE) CON DISTINTAS CONCENTRACIONES DE POTASIO, BAJO EL
SISTEMA DE RIEGO POR MICROTUBOS EN TINGO MARÍA**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

RUYER SOTO TRUJILLO

Asesor:

CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS

Tingo María – Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Km 1.21 carretera Tingo María. Telf. (062) 561136 E.mail: fagro@unas.edu.pe.

"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Nº 027-2023-FA-UNAS

BACHILLER : RUYER SOTO TRUJILLO

TÍTULO : "RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO *solanum lycopersicum* L. (TOMATE) CON DISTINTAS CONCENTRACIONES DE POTASIO, BAJO EL SISTEMA DE RIEGO POR MICROTUBOS EN TINGO MARÍA"

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. GILBERTO MEDINA DIAZ
VOCAL : Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO
VOCAL : M.Sc. JORGE LUIS ADRIAZOLA DEL AGUILA

ASESOR : Ing. CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 13/09/2023

HORA DE SUSTENTACIÓN : 09:00 A.M.

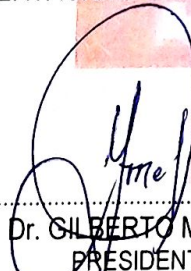
LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA AUDIVISUAL DE LA F.A

CALIFICATIVO : MUY BUENO

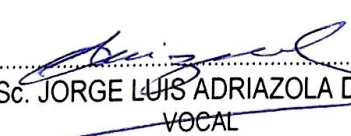
RESULTADO : APROBADO


OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 13 DE SETIEMBRE DE 2023


.....
Dr. GILBERTO MEDINA DIAZ
PRESIDENTE


.....
Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO
VOCAL


.....
M.Sc. JORGE LUIS ADRIAZOLA DEL AGUILA
VOCAL


.....
Ing. CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS
ASESOR



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 030 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Agronomía

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional
-------	---	------------------------------------

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO DE <i>Solanum lycopersicum</i> L. (TOMATE) CON DISTINTAS CONCENTRACIONES DE POTASIO, BAJO EL SISTEMA DE RIEGO POR MICROTUBOS EN TINGO MARÍA	RUYER SOTO TRUJILLO	20 % Veinte

Tingo Maria, 23 de enero de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN
Dr. Tomás Menacho Mallqui
DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO DE *Solanum lycopersicum* L.
(TOMATE) CON DISTINTAS CONCENTRACIONES DE POTASIO, BAJO EL
SISTEMA DE RIEGO POR MICROTUBOS EN TINGO MARÍA.**

Autor	: Bach. Ruyer Soto Trujillo.
Asesor	: Ing. Carlos Miranda Armas
Área de investigación	: Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos.
Grupo de investigación	: Recuperación y manejo de suelos degradados y contaminados - RYMSDYC.
Línea de investigación	: Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos..
Lugar de ejecución	: Fundo Ccoyca - Afilador- Tingo.
Duración	: 06 meses.
Financiamiento	: Propio.

Tingo María – Perú. 2024

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISISTA

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos Generales de Pregrado

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Facultad : Facultad de Agronomía.
Título de tesis : Rendimiento y calidad del cultivo de *Solanum lycopersicum* L. (tomate) con distintas concentraciones de potasio, bajo el sistema de riego por microtubos en Tingo María.
Autor : Bach. Ruyer Soto Trujillo.
Asesor de tesis : Ing. Carlos Miranda Armas.
Escuela Profesional : Agronomía.
Programa de investigación : Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos.
Línea(s) de investigación : Recuperación y manejo de suelos degradados y contaminados - RYMSDYC.
Eje Temático : Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos.
Lugar de ejecución : Fundo Ccoyca - Afilador- Tingo.
Duración : Inicio : Marzo 2015
Término : Setiembre 2015
Financiamiento : FEDU : S/0.00
Propio : S/5830.00
Otros : S/.0.00

Tingo María, Perú, agosto 2024.

Bach. Ruyer Soto Trujillo

Tesista

Ing. Carlos Miguel Miranda Armas

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Km 1.21 carretera Tingo María. Telf. (062) 561136 E.mail: fagro@unas.edu.pe.

"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Nº 027-2023-FA-UNAS

BACHILLER : RUYER SOTO TRUJILLO

TÍTULO : "RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO *solanum lycopersicum* L. (TOMATE) CON DISTINTAS CONCENTRACIONES DE POTASIO, BAJO EL SISTEMA DE RIEGO POR MICROTUBOS EN TINGO MARÍA"

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. GILBERTO MEDINA DIAZ
VOCAL : Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO
VOCAL : M.Sc. JORGE LUIS ADRIAZOLA DEL AGUILA

ASESOR : Ing. CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 13/09/2023

HORA DE SUSTENTACIÓN : 09:00 A.M.

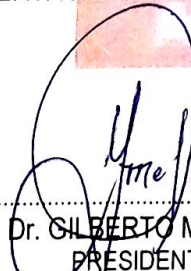
LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA AUDIVISUAL DE LA F.A

CALIFICATIVO : MUY BUENO

RESULTADO : APROBADO


OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 13 DE SETIEMBRE DE 2023


.....
Dr. GILBERTO MEDINA DIAZ
PRESIDENTE


.....
Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO
VOCAL


.....
M.Sc. JORGE LUIS ADRIAZOLA DEL AGUILA
VOCAL


.....
Ing. CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios:

sobre todas las cosas, por iluminarme y darme sus bendiciones durante todo el proceso de mi formación profesional.

A mis queridos padres:

Grover Janie Soto Santiago y Juana Trujillo Alejo, mi más profundo agradecimiento y eterna gratitud por sus consejos y esfuerzo para la culminación de mi carrera profesional.

A mi querida hija:

Dhara Izel, mi motivación infinita para concluir con el presente trabajo de investigación

A mis hermanos:

Edmer Ricardo, Luz Milagros, Marcos Pablo, Grover Noé, Esther Elizabeth, Samuel Anthony por su apoyo incondicional.

A mis primos:

A mis Primos: Liz judy y Juan Carlos por su apoyo y comprensión en el presente trabajo con mucho cariño.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Agronomía que contribuyeron a mi formación profesional.
- Al Ing. Carlos Miranda Armas, por su valiosa orientación y supervisión de la tesis como patrocinador.
- A mis jurados de tesis: presidente Dr. Gilberto Medina Díaz, y vocales Ing. M. Sc. Jorge Luis Adriazola del Águila e Ing. Dr José Wilfredo Zavala Solórzano, por la colaboración, asesoramiento y revisión académica del presente trabajo de investigación.
- Al Ing. Juan Mártires Ccoycca Fernández por su orientación, colaboración y supervisión de la tesis como coasesor en el trabajo de investigación.
- A Wilmer Gulcochia Sánchez, Kenedy Zelada Solignac y Rodney Argüire Ponte, por su valiosa colaboración en el presente trabajo de investigación.
- Al Ing. Erick C. Romero Carrion, por su valiosa colaboración en la culminación y publicación del presente trabajo de investigación.
- A todas aquellas personas que directa o indirectamente hicieron posible la culminación del presente trabajo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general:	2
1.2. Objetivos específicos:.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Generalidades del cultivo de tomate	3
2.1.1. Importancia económica en el Perú.....	3
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	3
2.1.3. Descripción botánica.....	3
2.1.4. Fenología.....	4
2.1.5. Clima.....	4
2.1.6. Suelo	4
2.1.7. Producción en invernadero	5
2.1.7.1. Preparación del terreno	5
2.1.7.2. Trasplante	5
2.1.7.3. Tutorado.....	6
2.1.7.4. Poda	6
2.1.7.5. Control de malezas	6
2.1.7.6. Riego.....	6
2.1.7.7. Cosecha y almacenamiento.....	6
2.2. Sistema de riego	7
2.2.1. Concepto general	7
2.2.2. Eficiencia de aplicación de los métodos de riego (Ea)	7
2.2.3. Tiempo de aplicación (Ta).....	8
2.2.4. Riego localizado.....	8
2.2.4.1. Sistema de riego por microtubos	8
2.3. Fertirriego.....	9
2.3.1. Sustratos.....	10
2.3.2. Solución nutritiva.....	10
2.3.2.1. pH del agua	11
2.3.2.2. Temperatura.....	11
2.3.2.3. Conductividad eléctrica	11
2.3.3. Preparación de soluciones nutritivas concentradas.....	11

2.3.4. Modificaciones, duración y renovación de la solución nutritiva	12
2.3.5. Soluciones nutritivas para el cultivo de tomate	12
2.3.5.1. Demanda nutricional del tomate	12
2.3.5.2. Consumo de agua.....	12
2.3.5.3. Manejo de la soluciones nutritivas	13
2.4. El potasio en el cultivo de tomate	13
2.5. Estudios realizados sobre la variedad Dominique.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Lugar del campo experimental	16
3.1.1. Ubicación	16
3.1.1.1. Ubicación política.....	16
3.1.1.2. Ubicación geográfica	16
3.1.2. Zona de vida.....	16
3.1.3. Datos meteorológicos.....	16
3.2. Diseño estadístico.....	17
3.2.1. Componentes en estudio	17
3.2.1.1. Variable dependiente	17
3.2.1.2. Variable independiente	17
3.2.2. Tratamiento en estudio.....	17
3.2.3. Diseño experimental	18
3.2.4. Análisis estadístico.....	18
3.2.5. Características del campo experimental.....	18
3.2.5.1. De las parcelas	18
3.2.5.2. De las repeticiones	19
3.2.5.3. Del campo experimental	19
3.3. Metodología de la ejecución del experimento.....	19
3.3.1. Del almácigo	19
3.3.2. Del invernadero.....	19
3.3.2.1. Limpieza y demarcación del área experimental	20
3.3.2.2. Construcción del invernadero	20
3.3.2.3. Instalación de los componentes del fertirriego	20
3.3.2.4. Preparación del sustrato.....	20
3.3.2.5. Llenado del sustrato a las bolsas.....	21
3.3.2.6. Trasplante a las bolsas	21

3.3.2.7. Preparación de las soluciones nutritivas	21
3.3.2.8. Fertirriego	22
3.3.2.9. Frecuencia del fertirriego.....	22
3.3.3. Otras actividades de manejo	23
3.3.3.1. Control de malezas	23
3.3.3.2. Control de plagas y enfermedades.....	23
3.3.3.3. Poda	23
3.3.3.4. Tutorado.....	24
3.3.3.5. Cosecha.....	24
3.4. Características evaluadas.....	24
3.4.1. Biometría de la planta de tomate	24
3.4.1.1. Altura de planta.....	24
3.4.2. Biometría del fruto de tomate	24
3.4.2.1. Diámetro polar y ecuatorial del fruto.....	24
3.4.2.2. Peso del fruto	24
3.4.3. Calidad del fruto de tomate.....	24
3.4.3.1. pH del fruto.....	24
3.4.3.2. Grados Brix del fruto (°Bx)	25
3.4.3.3. Firmeza del fruto (kg/cm ²).....	25
3.4.4. Rendimiento.....	25
3.4.4.1. Peso de los frutos cosechados por planta.....	25
3.4.4.2. Producción de frutos (t/ha)	25
3.4.5. Análisis de beneficio y costo (B/C)	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Biometría de la planta.....	26
4.1.1. Altura de la planta.....	26
4.1.2. Biometría del fruto.....	28
4.1.2.1. Diámetro polar y ecuatorial	28
4.1.2.2. Peso del fruto	30
4.2. Calidad del fruto.....	33
4.2.1. pH del fruto	33
4.2.2. Grados Brix del fruto	35
4.2.3. Firmeza del fruto.....	37
4.2.4. Proporcionalidad entre variables de calidad	39

4.3. Rendimiento	40
4.3.1. Peso de los frutos por planta	41
4.3.2. Rendimiento del tomate	42
4.4. Análisis de beneficio y costo (B/C).....	48
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. PROPUESTAS A FUTURO	52
VII. REFERENCIA	53
ANEXOS.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Eficiencia de aplicación de los diferentes sistemas de riego.	7
2. Necesidades nutricionales del tomate por tonelada de cosecha.	12
3. Datos de clima en el período de marzo a septiembre del año 2015.	16
4. Descripción de cinco tratamientos con distintas concentraciones de potasio.	17
5. Modelo del análisis de variancia.	18
6 .Dosis de fertilización para 200 L de agua (tanque).	21
7. Frecuencia de riego.	23
8. Análisis de variancia para la altura de planta.	26
9. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para la longitud de planta.	27
10. Análisis de variancia para los diámetros polar y ecuatorial del fruto.	28
11. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para el diámetro polar y ecuatorial del fruto de tomate.	29
12. Análisis de variancia para el peso del fruto.	30
13. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para el peso del fruto de tomate.	31
14. Análisis de variancia para el pH, grados Brix y firmeza del fruto.	33
15. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para el pH del fruto de tomate.	34
16. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para el grado Brix del fruto de tomate.	35
17. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para la firmeza del fruto de tomate.	37
18. Análisis de variancia para el peso del total de los frutos por planta y rendimiento de tomate.	40
19. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) del peso de los frutos por planta.	41
20. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) del rendimiento de tomate.	43
21. Rendimiento de tomate en diferentes investigaciones.	46
22. Análisis de beneficio y costo (B/C) de los tratamientos en estudio.	49
23. Presupuesto del experimento.	62
24. Resultados del peso del fruto (g).	66
25. Resultados del número de frutos por planta (g).	67
26. Resultados de la altura de planta (cm).	68
27. Resultados del peso del fruto (g).	68
28. Resultados del diámetro polar del fruto (cm).	68
29. Resultados del diámetro ecuatorial del fruto (cm).	69
30. Resultados del pH del fruto.	69

31. Resultados de los grados Brix ($^{\circ}$ Bx) del fruto.	69
32. Resultados de la firmeza del fruto (kg/cm ²).	70
33. Resultados del peso de los frutos por planta (kg/planta).	70
34. Resultados del rendimiento (t/ha).	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. a. Diagrama de barras de la altura (m) de planta de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio (ppm) con la altura de planta (m).....	27
2. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con el: a. Diámetro polar del fruto, b. Diámetro ecuatorial del fruto.	30
3. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con: a. Peso del fruto, b. Diámetro polar del fruto, c. Diámetro ecuatorial del fruto.	32
4. a. Diagrama del pH de los frutos de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con el pH.	34
5. a. Diagrama de los grados Brix (°Bx) de los frutos de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con los grados Brix (°Bx).	36
6. a. Diagrama de la firmeza (kg/cm ²) de los frutos de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con los grados Brix (kg/cm ²).	38
7. Proporcionalidad de dos variables estadísticas del fruto de tomate: a. pH y grados Brix, b. pH y firmeza, c. Firmeza y peso.	40
8. a. Diagrama del peso de los frutos por planta de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre concentración de potasio con el peso de los frutos por planta.....	42
9. a. Diagrama del rendimiento del tomate obtenido por los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con el rendimiento del tomate, c. Proporcionalidad entre peso total de frutos por planta con el rendimiento del tomate.....	44
10. Rendimiento de tomate (t/ha) obtenido en diferentes investigaciones.....	47
11.a. Diagrama del beneficio y costo de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre el rendimiento con B/C, c. Proporcionalidad entre concentración de potasio con B/C.....	50
12. a. Limpieza del invernadero, b. Paquete de la malla Raschel 50 %, c. Plantas de tomate a los cuatro meses después de la siembra, d. Visita del jurado, e. Tanques de soluciones nutritivas, f. Cosecha de los frutos.	71

13. a. Cartel del título de tesis, b. Producción de frutos a los cuatro meses, c. Problemas con virosis, d. Problemas con deficiencia de magnesio, e. Fruto con Alternaria solani, f. Algunas malezas.	72
14. Tanques de soluciones nutritivas para el fertirriego.	73
15. a. Frutos cosechados, b. Longitud del fruto, c. Peso del fruto, d. Peso de los frutos cosechados, e. Determinación del pH del fruto, f. Determinación del grado Brix.	74
16. a. Croquis del campo experimental, b. Parcela neta experimental.....	75
17. Mapa de ubicación de la investigación.	76

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se hizo en el Fundo Ccoyca - Afilador- Tingo María, ubicado en distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, que consistió en la evaluación del rendimiento y calidad del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Dominique, mediante cinco concentraciones de potasio (80, 120, 160, 200 y 240 ppm), bajo el sistema de riego por microtubos en invernadero. Los resultados obtenidos favorecieron a las concentraciones más altas de potasio, porque a medida que la concentración de potasio se incrementó, el rendimiento y la calidad del fruto fue significativamente mejor, porque la altura de planta pasó de 1,78 a 1,84 m; asimismo, los frutos pesaron de 155,03 a 172,60 g, con diámetro polar y ecuatorial de 48,35 a 51,67 g, y de 60,52 a 62,36 respectivamente; también calidad del fruto en términos de pH pasó de 3,53 a 4,47; los grados Brix de 4,37 a 6,17 °Bx; y la firmeza del fruto de 3,51 a 5,71 kg/cm² y por último el rendimiento pasó de 94,24 a 120,18 t/ha. Además, la mejor concentración de potasio en la solución nutritiva, fue 240 ppm, porque obtuvo los mejores resultados en biometría de planta y fruto, calidad y rendimiento que las demás concentraciones de potasio; también obtuvo la mejor utilidad en beneficios con un índice de rentabilidad de 1,01 soles; mientras que los demás tratamientos en estudio obtuvieron un índice de rentabilidad de 0,72 a 0,90 soles.

Palabras clave: dosis, biometría, microtubos, crecimiento, rendimiento.

ABSTRACT

The present research work was done in the Fundo Ccoyca - Tilator-Tingo María, located in Rupa Rupa district, Leoncio Prado province, Huánuco region, which consisted of the evaluation of the yield and quality of tomato cultivation (*Solanum lycopersicum* L.) Dominique variety through five concentrations of potassium (80, 120, 160, 200 and 240 ppm), under the greenhouse microtube irrigation system. The results obtained favored higher concentrations of potassium, because as the potassium concentration increased, the yield and fruit quality was significantly better, because the plant height went from 1,78 to 1,84 m; likewise, the fruits weighed from 155,03 to 172,60 g, with polar and equatorial diameter from 48,35 to 51,67 g, and from 60,52 to 62,36 respectively; also fruit quality in terms of pH went from 3,53 to 4,47; Brix grades from 4,37 to 6,17 °Bx; and the firmness of the fruit from 3,51 to 5,71 kg/cm² and finally the yield went from 94,24 to 120,18 t/ha. In addition, the best concentration of potassium in the nutrient solution was 240 ppm, because it obtained the best results in plant and fruit biometrics, quality and yield than the other concentrations of potassium; it also obtained the best profit with a profitability index of 1,01 soles; while the other treatments under study obtained a profitability index of 0,72 to 0,90 soles.

Keywords: dose, biometrics, microtubes, growth, performance.

I. INTRODUCCIÓN

La producción del cultivo de *Solanum lycopersicum L.* (tomate) llevada a una realidad de escasez superficial cultivable, climas desfavorables y escasez del recurso agua como en Tingo María; implica pérdidas para el agricultor, porque eleva los costos y reduce los beneficios de la producción de este cultivo. Por eso, urge la necesidad de frenar estos problemas, considerando también incrementar la productividad bajo una opción tecnológica en invernaderos; porque la probabilidad de cultivar en períodos con condiciones meteorológicas poco favorables, llega a justificar la trascendental inversión que sería la elaboración y ejecución de los proyectos de esta clase bajo un ambiente controlado.

Asimismo, una buena administración en la nutrición mineral es muy importante, pues determinaría el aseguramiento de incrementar las capacidades productivas de este cultivo, porque son muy demandantes de nutrientes. Por eso, el uso de la técnica de un sistema de riego por microtubos, llega a garantizar un abastecimiento de nutrientes que van de manera directa al bulbo de humedecimiento, lugar en el que se puede encontrar el mayor volumen de raíces absorbentes de la planta de tomate; lo que permitiría el consumo único de sólo agua y nutrientes primordiales, reduciendo todos los tipos de desgastes y brindando sólo la cantidad que las plantas de manera estricta necesitan; además, que permite tener inspeccionadas las distintas variables de cultivo y en consecuencia la obtención de una mayor calidad del tomate.

Sin embargo, como el 39 y 57 % de la composición elemental de la planta y del fruto de tomate respectivamente, corresponde al potasio (Haifa, 2015); es decir, el potasio es el nutrimento más relevante que influiría en la calidad del tomate, pues alrededor de 60 al 66 % del potasio que absorbe la planta, se localiza en el fruto (Tjalling, 2006). Razón por el cual, uno de los problemas que se presenta en el instante de la preparación de la solución nutritiva, es la concentración correcta de potasio, que eleva la producción y mejora la eficacia del cultivo de los frutos de tomate, porque son pocas los estudios que destaquen la relevancia de la dosis de potasio y su efecto en las características de calidad del tomate fresco para el mercado; lo que incentiva una investigación cuya hipótesis es que al menos una concentración de potasio bajo un sistema de riego por microtubos, destaque significativamente en la obtención de un mejor beneficio y mayor eficacia del cultivo de los frutos de tomate.

Por lo manifestado anteriormente, planteamos los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general:

- Evaluar el rendimiento y calidad de cultivo de tomate variedad Dominique mediante la fertilización potásica bajo un sistema de riego por microtubos.

1.2. Objetivos específicos:

- Cuantificar la acción de las distintas concentraciones de potasio sobre las características biométricas, calidad y rendimiento del fruto de tomate.

- Determinar la concentración de potasio óptima en el crecimiento, calidad y rendimiento del tomate, bajo sistema de riego por microtubos.

- Determinar el análisis de rentabilidad y relación de beneficio/costo de los tratamientos en estudio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cultivo de tomate

2.1.1. Importancia económica en el Perú

El tomate está ocupando uno de los más importantes lugares dentro de las hortalizas en el mundo; siendo uno de los alimentos más deseados y es materia prima muy utilizada en la industria de transformación. El tomate es importante porque es usado para el consumo fresco; es usado como ingrediente primordial en jugos, pastas, bebidas y otros concentrados; su sabor es mundialmente querido, ya que en el ámbito culinario existen más de 120 recetas con este fruto; por su elevada valía nutritiva por contener altos niveles de vitamina A y C; también tiene licopeno, el pigmento rojo que es un poderoso antioxidante y por su elevado valor comercial (Merino, 2017).

En el 2014, el Perú contaba con 6 053 ha sembradas (teniendo en Lima, Ica y Arequipa las más amplias superficies cultivadas de tomate) con una superficie cosechada anual de 6 004 ha. Su productividad anual fue de 265 948 t con una ganancia promedio mensual 43,90 de 44,60 t/ha, siendo la región Ica el de mayor ganancia promedio con 104,90 t/ha y cuyo precio promedio mensual de chacra en el mismo año fue de 997 soles por tonelada, siendo Cuzco con mayor precio promedio mensual de chacra con 1 579 soles por tonelada (Sistema Integrado de Estadística Agraria, 2014; citado por Gonzales, 2016).

2.1.2. Clasificación taxonómica

De acuerdo al Integrated Taxonomic Information System of North América (ITIS, 2018), el tomate se clasifica taxonómicamente:

Reino	:	Plantae.
Subreino	:	Viridiplantae.
División	:	Tracheophyta.
Clase	:	Magnoliopsida.
Orden	:	Solanales.
Familia	:	Solanaceae.
Género	:	Solanum L.
Especie	:	<i>Solanum lycopersicum L.</i>

2.1.3. Descripción botánica

El sistema radicular del tomate se constituye por la raíz principal, raíces secundarias y adventicias, y se extiende superficialmente en un diámetro de 1,50 m y, alcanzando más de 0,50 m de profundidad; sin embargo, el 70 % de las raíces se encuentra por

debajo de los 0,20 m de la superficie. Su tallo es anguloso, cubierto de pelos glandulares, se ramifican a medida que crecen y emiten tallos secundarios en las axilas de las hojas. Las hojas son alternas e imparipinnadas, contienen de siete a nueve folios que están cubiertas de pelos glandulares. La inflorescencia tiene forma de racimos simples o ramificados, que en la mayoría de las variedades contienen de tres a diez flores. Los frutos son bayas globosas o periformes, acostillado o liso, que maduran rojas en la mayoría de las variedades. El diámetro del fruto varía de 2 a 16 cm, conteniendo en su interior semillas en forma de disco, de color gris y con vellosidades (Maroto, 2000).

2.1.4. Fenología

Arteaga (2017), menciona que la fenología del tomate se divide en tres fases: a) Fase inicial: Que empieza con la germinación de la semilla desde el primero hasta los 21 días; esta fase se determina por la rapidez en el incremento de la materia seca, la planta dispone su energía en la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis., b) Fase vegetativa: es la continuidad de la fase inicial, pero el incremento en materia seca se efectúa de manera lenta; esta etapa finaliza con la floración y dura entre 22 a 40 días; requiriendo una de mayor cantidad de nutrimentos para cubrir los requerimientos de las hojas y de las ramas en crecimiento y expansión. La planta empezaría su florecimiento entre 51 a 80 días, desde la fase inicial., c) Fase reproductiva: se inicia a partir del fructificación, que duraría entre 30 a 40 días.

2.1.5. Clima

El tomate se desarrolla en climas cálidos, tolera el calor y las sequías, pero presenta sensibilidad a las heladas; aunque, también se desarrolla en una extensa gama de condiciones de climáticas y de suelos, pero da una mejor productividad en climas secos con temperaturas moderadas (Monzón, 2016). La temperatura ideal para el crecimiento del cultivo es de 21 a 27 °C, y para el cuajado de frutos durante el día es de 23 a 26 °C, mientras que en la noche es de 14 a 17 °C. Para el adecuado desarrollo de tomate, la humedad relativa perfecta debe ser de 65 a 75 %. La correcta luminosidad es significativa para lograr colores intensos, pared delgada y elevado contenido de sólidos. Las áreas de cultivo productoras deben tener de 1000 a 1500 horas luz al año (Ausay, 2015).

2.1.6. Suelo

El tomate se adapta a una amplia gama de condiciones de suelos para producirse; sin embargo, los más altos rendimientos se logran en suelos con una profundidad de 1 m a más, de textura media, sin obstáculos físicos y permeables en el perfil. Asimismo, para favorecer óptimos resultados de este cultivo después del trasplante, se debe tener suelos con temperaturas entre 15 a 25 °C y respecto a la humedad del suelo, este cultivo ha demostrado ser

resistente a altos porcentajes de humedad, y tolera ligera acidez y salinidad. Es recomendable, tener suelos con pH entre 5,50 a 6,80, con suelos sueltos, bien drenados y ricos en materia orgánica; en especial suelos francos y franco-arenosos (Baltazar, 2018).

2.1.7. Producción en invernadero

Según Yara (2019a), a diferencia de cultivos al aire libre, los cultivos de tomate de invernadero logran conservarse incluso once meses. Los tomates de invernadero son cosechados por lo general verdes y maduran durante el tiempo de transporte y dentro del supermercado. Las producciones de invernadero en su maduración estas plantas, suelen tener un tiempo de vida de anaquel más larga, superior sabor y mayor valor en el mercado comparándolos con aquellos cultivados en suelo al aire libre. Las plantas son atadas a un alambre y los brotes secundarios son removidos para conservar un único tallo. Se deben podar los racimos de flores/frutos para obtener el tamaño, número de frutos o peso deseables.

Asimismo, el mismo autor sostiene que se conservan elevados niveles de concentración de CO₂ (desde 600 hasta 1 000 ppm) con el fin de aumentar la fotosíntesis, la tasa de crecimiento y la producción. Esta es una práctica aplicada en regiones de inferior rendimiento e inferior sistema de producción intensiva. Los cultivos de producción más intensa en invernadero son producidos ahora en sustratos, como lana de roca, perlita o fibra de coco, no obstante cultivos plantados en el suelo son además cultivados en túneles de plástico. La fertirrigación asegura una nutrición eficaz, haciendo una eliminación de muchos de los constituyentes del suelo que suelen ser dificultosos para ser controlados mediante otros métodos de cultivo. La Producción en invernadero requiere gran volumen de agua y los agricultores consideran mucho a las sustancias suspendidas y disueltas al fabricar los programas de fertilización. Algunos elementos encontrados en el agua de riego pueden afectar de manera negativa el desarrollo de las plantas y hay que considerar esto a la hora de hacer los cálculos. El calcio y magnesio favorecen bastante a satisfacer una parte de las exigencias nutricionales.

2.1.7.1. Preparación del terreno

Se hace un barbecho a 30 cm de profundidad, y luego un rastreo cruzado para conseguir un suelo mullido y poroso sin agregados grandes, para que sea fácil el acolchado y trasplante. Las camas son elaboradas de un ancho de 1,2 m y una altura de 15 a 20 cm; la longitud dependería del largo del invernadero. Las cintillas de riego, se hacen en la superficie de las camas en dos hileras centrales separadas 60 cm entre sí (Durán et al., 2013).

2.1.7.2. Trasplante

El trasplante hacia las camas es realizado a una distancia de 50 cm entre plantas, cuando éstas presentan una altura de 10 a 15 cm y de cuatro a seis hojas

verdaderas (Durán et al., 2013). Se recomienda trasplantar en un suelo muy húmedo y hacer un mantenimiento del suelo a capacidad de campo, también es importante emplear plaguicidas porque ésta es la etapa de mas pérdida debido a su sensibilidad a las hileras (Ausay, 2015).

2.1.7.3. Tutorado

El tutorado es una práctica enfocada a almacenar a la planta en posición erecta y buscan impedir que los productos lleguen a tocar el suelo; se usa paja de plástico que es sujetado a un alambre galvanizado de al menos 2,5 m de altura, el tutorado también facilita otras labores de manejo como el deschuponado, desmalezado, y un mejor control de plagas y enfermedades. Asimismo, con el tutorado es facilitada la cosecha debido a que las plantas están de manera dispuesta al estar erguidas, permitiéndose así recoger a los frutos maduros sin ningún problema (Ausay, 2015).

2.1.7.4. Poda

Es recomendable cortar las plantas en mal estado con una cuchilla bien cortante; en este proceso son cortadas las ramas que se encuentran en los laterales de la planta, denominadas popularmente como “chupones”, y las hojas viejas que se encuentran por debajo del primer ramo de frutos, esto se da debido a que le quitan energía a la planta, y no se recomienda dejar que crezcan ; también, se beneficia el desarrollo vertical de la planta, para que los productos se desarrollen del segundo tercio hacia arriba del tallo de la planta (Durán et al., 2013).

2.1.7.5. Control de malezas

Se efectúa de manera manual o también de manera química. La cantidad de deshieras depende de la cantidad y el tipo de malezas que se consigan hallar. El primer control de maleza se efectúa a las tres semanas del trasplante, la segunda a los tres meses cuando los frutos empiezan a cuajar y otra en el momento de la producción (Ausay, 2015).

2.1.7.6. Riego

El establecer un sistema de riego, dependería de la condición del suelo, de la disponibilidad de agua, del clima, de la economía y de la preferencia personal de uno. Los tomates necesitan un aproximado de 630 mm de agua por cosecha y debe rechazarse para el regadío las aguas con probable contenido de sales (Durán et al., 2013).

2.1.7.7. Cosecha y almacenamiento

Por lo general, el tiempo de productividad comprende de los 118 a los 183 días posteriores a la siembra; no obstante, una cosecha significativa es obtenida a partir del tercer corte. Conviene recoger los frutos de color verde que tienen una raya de tonalidad roja, asimismo de cierta brillantez y firmeza. Por lo general se puede cortar entre cinco y diez

frutos por planta (Durán et al., 2013). La temperatura para que la fruta mantenga un estado ideal por un extenso curso de tiempo dependería del estado en que se haya colectado, las condiciones de temperatura varían de 13 °C para la fruta verde por 30 días de almacenamiento y 5 °C para fruta madura por tres semanas. La humedad respectiva de almacenamiento se encuentra entre 85 y 90 %. La cantidad de oxígeno de la cámara debe examinarse habitualmente, se recomienda que esté cerca del 5 % (Ausay, 2015).

2.2. Sistema de riego

2.2.1. Concepto general

El riego ayuda a satisfacer los requerimientos de agua de los cultivos que no obtienen suficiente agua de las lluvias. El propósito del riego es abastecer el agua que necesitan los cultivos, para que no exista ninguna pérdida de producción, también puede generar efectos que resulten muy beneficiosos al establecer un ambiente propicio para el desarrollo del cultivo (Alania, 2013). Al emplear agua en la superficie de las raíces se va originando un microclima favorecedor en el desarrollo de las plantas, esto se da porque se enfría el suelo y el aire en torno a la planta. Además, se acostumbra que esa porción se establezca como un tercio del agua útil, esto quiere decir que es aplicado el regadío cuando es consumida la tercera parte del agua acumulada y quedando dos tercios de la misma agua (Vásquez et al., 2008).

2.2.2. Eficiencia de aplicación de los métodos de riego (Ea)

En el uso de cualquier sistema de riego, suceden pérdidas de agua tanto en el sistema de almacenamiento, conducción, distribución y en la parcela misma. Sin embargo, el agua es considerada como un recurso importante y muy escaso. Por ello, su administración debería ser eficaz para poder resguardar y mantener este recurso, para establecer su sostenibilidad en el tiempo y en el espacio (Vásquez et al., 2008). Para realizar el diseño del sistema de riego se tienen que considerar las pérdidas que suceden, de esta manera se asegura el abastecimiento conveniente y pertinente de agua para el regadío de los cultivos. Los valores detallados en la Tabla 1, son usados para sistemas de riego por goteo, microaspersión, aspersión y superficie (Carrazón, 2007).

Tabla 1. Eficiencia de aplicación de los diferentes sistemas de riego.

Sistema de riego	Eficiencia de aplicación (Ea %)
Goteo	95,00
Microaspersión	90,00
Aspersión	75,00
Superficie	50,00

Fuente: Carrazón (2007).

2.2.3. Tiempo de aplicación (Ta)

Según Carrazón (2007), se considera tiempo de aplicación al tiempo que estará irrigando cada sistema de riego este tiempo esta influenciado por dos factores: a) La tasa de infiltración básica del suelo: la dosis bruta de riego (el volumen de agua) se debe aplicar en un periodo lo bastante extenso para evitar una inundación. b) La pendiente del terreno: en aspersión o microaspersión (sucede sólo en estos métodos de riego), si la pendiente del terreno es muy acentuada, puede producirse escorrentía si el caudal que lanzan los aspersores es demasiado alto, incluso si ese caudal es menor a la tasa de infiltración básica (Ib).

2.2.4. Riego localizado

El riego localizado presenta la característica de no mojar todo el suelo, aplicando el agua sobre o bajo su superficie; se manejan también pequeños caudales a presión baja; se aplica el agua lo más próximo a las plantas por medio de un dígito voluble de puntos de emisión; al ser reducido el volumen de suelo mojado y, por esto su capacidad de almacenar agua, se opera con la frecuencia necesaria para conservar elevada humedad en el suelo. Los sistemas de riego cambian la manera en que se aplica el agua. Esta tecnología garantizaría el abastecimiento encaminado hacia las raíces de las plantas de chiquitas cantidades de agua mezcladas con fertilizantes, usando dispositivos específicos denominados dosificadores o goteros (Alania, 2013).

La rapidez de difusión que tiene el regadío localizado en el planeta es debido a las grandiosas superioridades que tiene en comparación con otras técnicas; como son el ahorro de agua y su capacidad de mantener la aireación del suelo también su facilidad para aplicar en terrenos no nivelados y topográficamente anormales. También, una característica de estos sistemas es la forma y dimensión de la zona humedecida por un emisor, llamado bulbo húmedo que dependería de muchos elementos como el suelo, estratificación del suelo, caudal del emisor y el volumen de agua aplicado por el emisor. Así también la humedad que se localiza dentro del mismo, por lo general genera la adaptación de las raíces a la humedad que se concentra en el bulbo húmedo, que llegaría a presentar una densidad de raíces tres o cuatro veces superior a la de un suelo con riego no localizado (Carrazón, 2007).

2.2.4.1. Sistema de riego por microtubos

Según Ticona (2013), este sistema se caracterizaría por el uso de tubos emisores colocados sobre el suelo originando una banda continua de suelo húmedo muy diferente al riego por goteo que utiliza puntos localizados. Se usa más frecuentemente en cultivos en línea con muy poco trayecto entre plantas. Las tuberías que más se usan son las gateadores y las tuberías exudantes. Por su parte, (Pizarro, 1996) sostiene que en el riego por

microtubos usa soluciones con cuidadosa dosificación para ser utilizadas en cultivos hidropónicos domésticos y comerciales. La fricción que se desarrolla por el líquido dentro del tubo submilimétrico regulariza la repartición del riego. Los empates son realizados a presión sin accesorios. Con una tubería de una pulgada se logra regular un sistema para una cama de 14 m de longitud por 1,62 m de ancho, con unos 100 puntos de distribución de agua o solución nutritiva; ejecutándose dos a cuatro riegos diarios de 10 L en una cama de 14 m. Asimismo, el mismo autor describe que las partes de un sistema de riego por micro túbulos son:

- Microtúbulo: es una manguera delgada de 0,60 a 0,80 mm de diámetro interior y 2,20 a 2,70 mm de diámetro exterior.
- Punzón y guía: es un instrumento metálico de diámetro parecido al microtúbulo, que vale para perforar la tubería de conducción para permitir así la instalación del micro túbulo.
- Tanques: Es un recipiente que contiene la solución nutriente de un riego, con una elevación de por lo menos 2,50 m sobre la superficie de la siembra.

Según Ticona (2013), las ventajas que ofrece es que genera una correcta distribución del agua a los bulbos de humedad o a cada planta; sin llegar a mojarse las hojas, evitando así el desarrollo de hongos; se puede hacer un correcta nutrición y abonamiento general a través de este sistema; la inversión es baja y ya no se necesita realizar el deshierbo; también incrementa bastante la productividad. Pero la desventaja es que necesita agua limpia o filtrada al pasar a través de un paño para impedir que se genere un tapamiento en los microtubos; cuando la manguera que conduce está por encima de la siembra en cualquier punto, se generan bolsas de aire que perjudican el correcto riego; también algunos nutrientes y aguas duras generan depósitos que perjudican el sistema.

2.3. Fertirriego

El fertirriego asegura el abastecimiento de nutrimentos directamente al bulbo de humedecimiento, lugar en el que se encuentra el mayor volumen de las raíces absorbentes (Quesada y Bertsch, 2012). Esto beneficia la eficacia en el uso del agua y fertilizantes, mejorando así su distribución y localización, con el aporte de nutrientes que la planta requiere tanto en tiempo como en cantidad para cada etapa fenológica; la mejoría en la utilidad y calidad de la fruta (tamaño, firmeza, sanidad y sólidos solubles) es evidente (Alcántar y Trejo, 2007) y para la producción de 1 t de fruto de tomate; la extracción de nutrientes es igual a 2,20 kg N, 0,50 kg P₂O₅, 3,90 K₂O y 1,60 CaO (Quesada y Bertsch, 2012). Es una técnica exitosa; pero requiere de ciertas dosis de fertilizantes y de ciertos momentos de aplicación (Bulgarin et al., 2002). Es importante que las plantas tomen toda el agua que necesitan y en el tiempo exacto.

El programar los horarios de los riegos no es en el presente un método admitido, por más ajustados que éstos sean, un día nublado puede generar que se de en exceso la cantidad de agua y un día extraordinariamente caluroso ocasionaría una escasez hídrica de temporada para la plantación (Fonseca, 2013).

2.3.1. Sustratos

Según Llerena (2007), el sustrato es un medio sólido inerte con una doble función: el primer anclar y generar una raíz firme que pueda protegerlos de la influencia de la luz y permitirles respirar; El segundo se incluye en contener el agua y los nutrientes necesarios para las plantas. Por lo tanto, el punto de anclaje del sistema de raíz de la planta le brinda la oportunidad de jugar como apoyo. De acuerdo a Rodríguez (2017), no hay un sustrato perfecto; cada uno tiene varias ventajas y desventajas, y la elección depende de las características del cultivo, así como de las variables ambientales y de instalación.

Llerena (2007), creía que los sustratos se pueden dividir en orgánicos e inorgánicos o minerales. Entonces tenemos la arena, que es un sustrato inorgánico, y la arena de río es el mejor sustrato para los cultivos. El tamaño de partícula debe ser de 0,5 a 2 mm. Cabe señalar que tienen el contenido de arcilla más bajo (casi cero), lo que causa problemas con la fijación de iones. La aplicación de esta arena a menudo resulta en una severa deficiencia de fósforo porque la arena atrapa o fija el fósforo en la solución nutritiva, haciendo que las plantas no lo tengan a disposición.

2.3.2. Solución nutritiva

Ramírez (2017), menciona que los elementos minerales nutrientes esenciales solo se aportan en la solución nutritiva mediante sales fertilizantes disueltas en el agua. Por lo tanto, la solución está formulada para proporcionar niveles suficientes de todos los nutrientes, lo que facilita su uso. Sin embargo, según Resh (2001), la pérdida de una o más formas de nutrientes iónicos a través de la precipitación puede provocar deficiencias en las plantas. Además, este problema provoca un desequilibrio en la correlación entre los iones. Con agua de buena calidad, el porcentaje de drenaje es menor (mejor aprovechamiento de los recursos hídricos), y el agua salobre permite el cultivo sólo de especies más o menos tolerantes a la sal (tomate, melón), pero no sensibles a la sal. Además, es necesario asegurar un mayor drenaje para evitar un aumento excesivo de la conductividad del sustrato y la acumulación de elementos fitotóxicos. Según Lara (2000), las esenciales propiedades que influirían en el progreso de los cultivos y sus productos económicamente importantes son: afinidad aniónica, afinidad catiónica, conductividad eléctrica, pH, relación NO_3^- ; NH_4 y temperatura de la solución nutritiva.

2.3.2.1. pH del agua

Conocer el pH es importante porque proporciona una comprensión de la medida en que los nutrientes minerales están disponibles en la solución nutritiva y, por consiguiente, su disponibilidad para la planta. El pH de la solución nutritiva debe mantenerse en el rango levemente ácido de 5,5 a 6,5 con un rango de 0 a 14. El pH varía con el cultivo, la etapa de crecimiento y las condiciones ambientales. El valor de pH óptimo de la solución nutritiva está entre 5,5 y 6,0, que puede regular el contenido de HCO_3^- y disolver el H_2PO_4^- .

2.3.2.2. Temperatura

Si la solución está demasiado fría, el metabolismo de las raíces disminuirá y la absorción de nutrientes también disminuirá. Esto comienza a inhibir las plantas que crecen por debajo del nivel deseado. También pueden ocurrir problemas si la temperatura es muy alta, lo que puede afectar la absorción de minerales. El rango de temperatura óptimo para la mayoría de los cultivos está entre 18 y 25 °C.

2.3.2.3. Conductividad eléctrica

La conductividad de una solución nutritiva es una disposición de la fuerza de la solución. Los niveles de conductividad que se recomienda para todos los cultivos han ido disminuyendo gradualmente en los actuales años. Unos ocho años atrás, la conductividad eléctrica que se recomendaba para algunos cultivos era de 3,00 mS/cm, ahora es de 1,80 mS/cm.

2.3.3. Preparación de soluciones nutritivas concentradas

Rodríguez (2017), menciona que diferentes sales fertilizantes que podemos usar para disolver nutrientes tienen diferentes solubilidades, y si la sal tiene poca solubilidad, solo una pequeña cantidad se disolverá en agua. Al hacer un fertilizante líquido, las sales deben ser altamente solubles, ya que deberían mantenerse en solución para que las plantas las puedan absorber. Por ejemplo, el calcio puede ser proporcionado por nitratos dobles de calcio y magnesio; el sulfato de calcio es económico, pero menos soluble; por lo que el primero debe ser lo que usamos para todas nuestras necesidades de calcio. Además, la preparación concentrada se divide en dos concentrados, llamados concentrado A y concentrado B. El propósito de dividir los fertilizantes en dos grupos es la reacción de algunas sales, que crean compuestos con muy baja solubilidad y por lo tanto precipitan. Por ejemplo, si mezcla nitrato de calcio y sulfato de magnesio en una solución concentrada, obtiene un precipitado de sulfato de calcio.

2.3.4. Modificaciones, duración y renovación de la solución nutritiva

Rodríguez (2017), sugirió que, en el desarrollo de la planta, la salinidad y el pH de la solución nutritiva cambian. Estos cambios ocurren por varias razones, como la tasa de absorción de elementos minerales dependiendo de las condiciones ambientales, el tipo de cultivo y la etapa de desarrollo de la planta; como producto metabólico, la eliminación de sustancias a través de las raíces; otros factores como: crecimiento de algas, salinidad del agua, residuos de contenedores, etc. Es posible mantener la solución nutritiva en circulación durante tres o cuatro meses con frecuentes correcciones de conductividad eléctrica y pH. La reposición de la solución nutritiva también permitirá una buena limpieza del tanque. Se recomienda la desinfección profiláctica y regular del canal de cultivo y las tuberías relacionadas con hipoclorito de sodio al 2 %. Después de cada cosecha, la solución que contiene lejía se recircula durante 30 minutos y se enjuaga.

2.3.5. Soluciones nutritivas para el cultivo de tomate

Intagri (2017), indicó que la composición química de las soluciones nutritivas depende de la relación de aniones (NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-}) y cationes (K, Ca_2 y Mg_2), así como de iones y pH.

2.3.5.1. Demanda nutricional del tomate

Castellanos (2009), indicó que los requerimientos y necesidades nutricionales de cada elemento difieren para los tomates (Tabla 2).

Tabla 2. Necesidades nutricionales del tomate por tonelada de cosecha.

Nutriente	Cantidad (kg/ha)
Nitrógeno (N)	2,10 a 3,80
Fósforo (P)	0,30 a 0,70
Potasio (K)	4,40 a 7,00
Calcio (Ca)	1,20 a 3,20
Magnesio (Mg)	0,30 a 1,10

Fuente: Castellanos (2009).

2.3.5.2. Consumo de agua

Castellanos (2009), indica que la demanda hídrica del tomate se debería a factores como la radiación y el estado fenológico de la planta, así como la variedad. Asimismo, la administración adecuada del agua es trascendental y se debe conservar tanto al agua como a los fertilizantes en la zona radicular del cultivo, y se debe determinar la capacidad de retención de agua del sustrato.

2.3.5.3. Manejo de las soluciones nutritivas

Según Intagri (2017), la clave para manejar adecuadamente un programa de nutrientes es asegurar que los nutrientes estén en concentraciones adecuadas en todo el ciclo del cultivo. Una concentración inferior a la que necesitan las plantas puede tener un efecto negativo en el rendimiento, una concentración superior de nutrientes puede causar pérdida de rendimiento, lo que asimismo significaría desperdicio de fertilizantes, contaminación ambiental, al tiempo que afecta los ingresos del productor. La dieta es diferente a lo largo del ciclo cultural, ya que se necesita una pequeña cantidad de nutrientes en las primeras etapas del crecimiento de las plantas y aumenta gradualmente con su crecimiento del crecimiento. Además, está claro que la nutrición de la planta se adapta a una variedad de variables, como: cultivos, tipos de espera y clima.

2.4. El potasio en el cultivo de tomate

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2013), la absorción de nitrógeno y potasio en los tomates es inicialmente lenta y la tasa de absorción aumenta durante la floración. El potasio tiene una absorción máxima durante el desarrollo del fruto, mientras que la absorción de nitrógeno ocurre después de que se forma el primer fruto; del mismo modo, el nutriente dominante en el desarrollo de las plantas y del fruto del tomate es el potasio, seguido del nitrógeno y el calcio; responsable del transporte de azúcar, control de estomas, cofactor de muchas enzimas, reduce la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades. Según Yara (2019b), el potasio conserva el equilibrio iónico y el estado del agua en las plantas y es obligatorio para la síntesis de pigmentos, especialmente licopeno. Según Sánchez (1999), el potasio tiene el mayor efecto sobre la fruta porque actúa sobre la materia sólida que la compone, dándole mejor color, peso y sabor.

Según Haifa (2015), la importancia del potasio en las plantas de tomate se daría de la siguiente manera: a) Balance de carga negativa en las plantas: K es un catión grande que equilibra las cargas negativas de los aniones minerales y orgánicos. Por esto, para este propósito se necesita una elevada concentración de potasio en las células. b) Regula los procesos metabólicos en las células: activa las enzimas para la síntesis de proteínas, azúcares, etc., estabiliza el pH celular entre 7 y 8 y mantiene el equilibrio de protones durante la fotosíntesis. c) regulación de la presión osmótica: en el floema, ayuda a la presión osmótica y al transporte de metabolitos del medio gaseoso a la planta (permite la transferencia de metabolitos de las hojas a los frutos y de nutrientes a las raíces).

Según la FAO (2013), es preferible aplicar potasio antes de trasplantar o plantar en el cultivo de tomate. Por otro lado, Haifa (2015), afirma que el potasio aumenta el peso seco

y el contenido de azúcar de las frutas, además de controlar la sequedad de las frutas y, por lo tanto, la vida útil de las frutas; mejora la resistencia al marchitamiento y la resistencia a enfermedades causadas por patógenos bacterianos, virus, hongos o nematodos; también reduce las alteraciones del color y la pudrición de las flores; aumenta el contenido de materia seca de la fruta y mejora el sabor. FAO (2013), por otro lado, afirma que la deficiencia de potasio se revela en un inicio en las hojas más viejas, con decoloración y posterior necrosis en el borde del primer foliolo a medida que avanza hacia adentro desde el borde, moviéndose de arriba hacia abajo. en la planta de abajo hacia arriba. La falta del elemento en las plantas causa enanismo; también afecta el color de la fruta, aparecen áreas verdes, que luego se vuelven amarillas en lugar de rojas.

2.5. Estudios realizados sobre la variedad Dominique

En Tingo María, Fonseca (2013), evaluó la relación amonio/nitrato en la producción de cultivos de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en un sistema de riego por goteo. Se extrajeron las siguientes conclusiones: la mejor relación $\text{NH}_4/\text{NO}_3^-$ en el crecimiento del tomate se obtuvo a 20 % $\text{NH}_4/180$ % NO_3^- y 189,39 cm, aunque no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. Para frutos de tomate con 20 % $\text{NH}_4/180$ % NO_3^- , la mejor relación $\text{NH}_4/\text{NO}_3^-$ fue de 105,84 g, y para frutos de tomate con 0 % $\text{NH}_4/100$ % NO_3^- , la menor relación fue de 79,90 g. 5 % $\text{NH}_4/95$ % NO_3^- A razón de 112,63 t/ha, el rendimiento de frutos de tomate fue el más alto. Relación 0 % $\text{NH}_4/100$ % NO_3^- reportó un rendimiento menor de 101,71 t/ha. La mejor calidad de frutos se logró con la relación 20 % $\text{NH}_4/180$ % NO_3^- ya que se produjeron frutos de mayor tamaño y con un diámetro ecuatorial de 66,32 mm, pero no fue significativamente diferente a los demás tratamientos. La relación 5 % $\text{NH}_4/95$ % NO_3^- de S/136 260 logró el mayor resultado neto y la mejor relación costo-beneficio fue de 246.83 %.

En Cañete, Gonzales (2016), evaluó *Solanum lycopersicum* L. cv. Katja utilizando cuatro placas de riego, concluyó que el rendimiento de frutos con pudrición terminal de la floración fue mayor (3,74 t/ha) utilizando el número mínimo de placas de riego, que fue significativamente mayor que los demás tratamientos. Este problema disminuye a medida que aumenta el número de placas de riego. Asimismo, los tratamientos con distintas capas de agua afectaron significativamente los parámetros de calidad del fruto, como el peso del fruto, el diámetro polar y ecuatorial, el porcentaje de sólidos solubles y el porcentaje de ácido cítrico, mientras que las capas de agua evaluadas no afectaron las variables de firmeza del fruto.

En Lima; Baltazar (2018), *Solanum lycopersicum* L. cv. Toroty F1 utilizó cuatro placas de riego; su investigación lo llevó a concluir que el programa de riego estimado afecta significativamente el rendimiento del tomate. La lámina regada con 125 % de

evapotranspiración del cultivo fue de manera estadística superior a la de los demás tratamientos en cuanto a rendimiento total y rendimiento comercial. El uso de una capa de agua más grande da como resultado un mayor rendimiento de fruta de primera calidad. El rendimiento de la pudrición de la cola de la flor disminuyó a medida que aumentó el número de discos de riego. La proporción de materia seca se vio afectada por la profundidad del agua y disminuyó al aumentar la profundidad de riego. El área foliar se ve afectada por el agua; por lo tanto, el área foliar aumenta a medida que aumenta el número de manchas regadas. El peso promedio de la fruta y el diámetro polar aumentaron con el aumento del área regada. El porcentaje de sólidos solubles disminuyó al aumentar la profundidad de riego. El riego de las placas no tuvo efecto sobre el diámetro ecuatorial, la resistencia o el porcentaje de citrato.

Amaguaña (2015), afirman que el cultivar Dominique es una planta vigorosa con abundancia de frutos de primera, contribuyendo a su posicionamiento y valor en el mercado. Posee un rico sistema radicular y buena cobertura foliar. Fruta de excelente calidad y uniformidad de calibre. El fruto es redondo y longevo, con un peso promedio de 220 g, se puede recolectar 75-90 días después de la siembra, dependiendo de las condiciones ambientales.

Según Hernández y Galindo (2011), los frutos de Dominique pesan entre 130 y 180 gramos, son alargados, duros y de cuello verde. En Ecuador, Jarrín (2014) reportó un rendimiento de 117,70 ton/ha para el cultivar Dominique usando fertilizante.

Ausay (2015), la variedad Dominique es la variedad de tomate a granel más vendida; tiene una longevidad excepcional y resisten a los nematodos y se adaptan fácilmente a una variedad de condiciones de cultivo. También señaló que los frutos tienen una forma redonda característica con un peso promedio de 160 a 220 gramos y un potencial genético de 8 a 12 kg por fruto/planta.

En Ecuador, Amaguaña (2009), manifestó que se aplicaron tres tipos de biofertilizantes al cultivo de tomate riñón con un rendimiento promedio de 52,24 t/ha para el primer tipo, 111,70 t/ha para el segundo tipo y un rendimiento promedio para el tercer tipo con 13,59 t/ha, nuevamente el peso promedio osciló entre 179 y 190 gramos.

Lamiña (2012), manifestó que en su estudio obtuvo un rendimiento de 234,86 t/ha utilizando una solución nutritiva en el cultivar Dominique.

En un estudio en Ecuador, Ausay (2015), reportó diferencias significativas en altura y número de frutos racimo/planta para la variedad Dominique cuando se utilizaron dos soluciones nutritivas con proporciones de nitrato de amonio de 90/10 y 85/15. Diferencias, desempeño Clase I y II y desempeño general; nuevamente, se encontró que la aplicación de la relación nitrato-amonio 90/10 logró el mejor rendimiento, alcanzando un valor de 275,42 t/ha.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar del campo experimental

3.1.1. Ubicación

Entre marzo a septiembre del año 2015, se realizó este trabajo de investigación en el Fundo Ccoyca - Afilador- Tingo María; ubicado en:

3.1.1.1. Ubicación política

Distrito : Rupa Rupa.
Provincia : Leoncio Prado.
Región : Huánuco.

3.1.1.2. Ubicación geográfica

Las coordenadas UTM del campo experimental fueron determinadas mediante GPS navegador, siendo las siguientes:

Longitud : 390444,98 m E
Latitud : 8969115,81 m N
Altitud : 640,00 msnm

3.1.2. Zona de vida

De acuerdo a la clasificación de las zonas de vida y el diagrama bioclimático propuesto por Holdridge (1987), citado por Flores (2013), la zona de Tingo María se encuentra en la formación vegetal de bosque muy húmedo Premontano Sub Tropical (bmh – PST).

3.1.3. Datos meteorológicos

Tabla 3. Datos de clima en el período de marzo a septiembre del año 2015.

Meses	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	Horas sol
	Máxima	Mínima	Media			
Marzo	30,50	21,20	25,85	85,00	373,20	127,70
Abril	31,20	21,00	26,10	83,00	151,10	166,80
Mayo	30,70	20,30	25,50	85,00	79,80	194,10
Junio	30,20	20,10	25,15	84,00	127,10	187,70
Julio	30,10	19,70	24,90	84,00	173,10	192,30
Agosto	31,10	19,80	25,40	83,00	50,80	217,00
Septiembre	32,40	20,10	26,20	80,00	43,50	197,00
Promedio	30,89	20,31	25,59	83,43	142,66	183,23

Fuente: Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones de Tingo María – 2015.

En el período experimental que fue de marzo a septiembre de 2015, la temperatura promedio registrada fue de 25,59 °C (Tabla 3), la humedad promedio fue de 83,43 %, la precipitación mensual fue de 142,66 mm y las horas de sol mensuales fueron de 183,23 horas. Estos datos de registro corresponden a los mencionados por Pérez (2014), quienes indicaron que el tomate crece bien en climas con temperatura promedio de 18.5 a 26.5 °C; sin embargo, la humedad registrada durante este período pudo haber sido alta.

3.2. Diseño estadístico

3.2.1. Componentes en estudio

3.2.1.1. Variable dependiente

Tomate cultivar Dominique.

3.2.1.2. Variable independiente

Dosis de potasio (K).

- 80 ppm.
- 120 ppm.
- 160 ppm.
- 200 ppm.
- 240 ppm.

3.2.2. Tratamiento en estudio

Los tratamientos en estudio (Tabla 4), son en base a los diferentes niveles de potasio en la fórmula de la solución nutritiva. No se evaluó un tratamiento testigo, debido a que la tesis se realiza bajo condiciones de un sistema de riego por microtubos y donde se evalúa el efecto de las distintas dosis de potasio. Asimismo, a dosis más baja es 80 ppm K y las demás dosis de los demás elementos son estandarizados para todos los tratamientos.

Tabla 4. Descripción de cinco tratamientos con distintas concentraciones de potasio.

Tratamientos		Descripción del tratamiento
Clave	Fórmula de la solución nutritiva (ppm)	
T ₁	214 N - 60 P - 80 K - 160 Ca - 57 Mg - 75 S	80 ppm K
T ₂	214 N - 60 P - 120 K - 160 Ca - 57 Mg - 75 S	120 ppm K
T ₃	214 N - 60 P - 160 K - 160 Ca - 57 Mg - 75 S	160 ppm K
T ₄	214 N - 60 P - 200 K - 160 Ca - 57 Mg - 75 S	200 ppm K
T ₅	214 N - 60 P - 240 K - 160 Ca - 57 Mg - 75 S	240 ppm K

3.2.3. Diseño experimental

Para este trabajo, se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) para cinco tratamientos y cada tratamiento contó con tres repeticiones. El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \sigma_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Respuesta del i-ésimo tratamiento de la j-ésima repetición.

μ = Efecto de la media general.

σ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

ϵ_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental.

Para:

i = 1, 2, ..., 5 tratamientos.

j = 1, 2, ..., 3 repeticiones.

3.2.4. Análisis estadístico

Para hallar el análisis de variancia (F. tab. = 0,01 y 0,05) y diferencias entre las medias obtenidas por los tratamientos en estudio, mediante la prueba de Duncan ($\alpha=0,05$); se usó el software Microsoft Office Excel 2016 (Tabla 5).

Tabla 5. Modelo del análisis de variancia.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F Cal.	F Tab.
Tratamientos	t-1	SC _{trat}	SC _{trat} /gl _{trat} = CM _{trat}	CM _{trat} /CM _{ee}	F $_{\alpha}(gl_{trat}, gl_{ee})$
Error experimental	(t)*(b-1)	SC _{ee}	SC _{ee} /gl _{ee} = CM _{ee}		
Total	(t*b) - 1	SC _{total}			

t: tratamientos., r: repeticiones.

3.2.5. Características del campo experimental

En la Figura 16 (Anexo), se grafica el diseño del campo experimental cuya descripción y medidas fueron las siguientes:

3.2.5.1. De las parcelas

Parcelas por repetición	= 5.
Distancia entre parcelas	= 1,50 m.
Ancho de la parcela	= 1,00 m.
Largo de la parcela	= 3,60 m.

Área de la repetición	= 3,60 m ² .
Plantas por parcela	= 20.
Plantas por parcela neta	= 12.

3.2.5.2. De las repeticiones

Número de repeticiones	= 3.
Distancia entre repeticiones	= 1,00 m.
Ancho de la repetición	= 3,60 m
Largo de la repetición	= 11,00 m.
Área de la repetición	= 39,60 m ² .
Plantas por repetición	= 100.

3.2.5.3. Del campo experimental

Ancho	= 11,00 m.
Largo	= 13,00 m.
Área total	= 143,00 m ² .
Total de plantas	= 300.

3.3. Metodología de la ejecución del experimento

Las labores agrícolas realizados, inició el 23 de febrero del 2015. Se eligió la variedad Dominique y una dosis de 120 ppm K por sus buenos rendimientos alcanzado en el trabajo de investigación por (Fonseca, 2013).

3.3.1. Del almácigo

El 10 de marzo de 2015; Se compraron semillas de tomate variedad dominique o Semiagro - Tingo María. La germinación de las semillas se realizó en tres charolas de polipropileno con sustrato de tierra de bosque esterilizada (mantillo de monte); estas bandejas se colocaron sobre mesas de madera a 1 m del suelo, en un lugar cubierto con un techo de malla raschell de sombra al 50 %. Las semillas germinadas se dejaron en bandejas durante diez días hasta que desarrollaron tres pares de hojas, después de lo cual se trasplantaron a los cartuchos de periódico.

3.3.2. Del vivero

El 16 de marzo del 2015, se hicieron cartuchos de papel periódico (vasos) con el objetivo de controlar la humedad. A estos cartuchos se le adicionó un sustrato a base a aserrín esterilizado, en los que se sembraron las plántulas con cinco a seis hojas sacados del almacigo y permaneciendo bajo techo de altura de 3.0 m con cobertura de malla Raschell al 50 % de sombra.

3.3.2.1. Limpieza y demarcación del área experimental

El 23 de febrero del 2015, manualmente se hizo la limpieza del área del invernadero (143,00 m²) eliminando malezas y, retirando piedras, restos de madera y otros. Luego se demarcó toda el área con una rafia, separando las parcelas, los tratamientos y las calles para el tránsito de las personas.

3.3.2.2. Construcción del invernadero

El 25 de febrero del 2015 se hizo la construcción del invernadero, colocando tres postes de madera (diámetro de 0,20 m) en cada lado; es decir un total de doces postes alrededor del área experimental y tres postes en el medio del área experimental que sostenían el techo de 4 m de altura cubierto por una malla Raschell con una sombra al 50 %. Afuera y al centro de 1 m del invernadero se hizo la construcción de una tarima de madera de 1,50 m de altura a nivel del suelo; esta tarima sostenía a los cinco tanques de solución nutritiva (200 L por tanque); esta tarima tenía una escalera de madera que servía como paso para subir y bajar los galones que contenían los nutrientes de las soluciones, cuando estos se agregaban a los tanques (Figura 11).

3.3.2.3. Instalación de los componentes del fertirriego

Una vez construido el invernadero; el 28 de febrero del 2015 se hizo la instalación de los componentes del fertirriego en el área experimental. En primer lugar; se colocaron tubos de policloruro de vinilo de una pulgada de grosor y 2,50 m de largo (un tubo por tanque) con el objetivo de conducto de la solución nutritiva para las plantas en toda el área experimental. Cada conducto contaba con una llave de paso que servía para controlar el paso de la solución nutritiva. En segundo lugar; se pegaron cinco mangueras de polietileno de una pulgada de grosor y 20 m de largo (una manguera por tubo) a los tubos que conectaban con los tanques, y estos se colocaron sobre la superficie del área experimental entre dos filas de plantas de tomate. En tercer lugar; con un punzón metálico de diámetro similar al microtubo (2,00 mm) se perforó las mangueras de polietileno de conducción con el fin de instalar dos microtubos por planta de tomate y en base a la distancia por planta; además la distancia entre los dos microtubos era paralela y alrededor de la manguera, usándose un total de 600 microtubos en toda el área experimental (Anexo, Figura 12).

3.3.2.4. Preparación del sustrato

El sustrato fue preparado el 23 de febrero del 2015; para la preparación se utilizó aserrín blanco descompuesto obtenido del aserradero Mapresa del distrito de Naranjillo y se mezcló con microorganismos eficientes en fase líquida a razón con de 100 L/500 kg de aserrín por semana durante un mes; es decir, en total se gastó 400 L de

microorganismos eficientes en fase líquida. La mezcla del sustrato se conservó bajo sombra y el volteo para la oxigenación del sustrato, se hacía cada vez que se aplicaba los microorganismos eficientes.

3.3.2.5. Llenado del sustrato a las bolsas

El 30 de marzo del 2015; se hizo el llenado del sustrato preparado a 300 bolsas, cada bolsa tenía una dimensión de 40 x 40 cm. El llenado se hizo de forma manual y una vez que las bolsas fueran llenadas, estas se colocaron en el invernadero de acuerdo al croquis a una distancia de 0,40 m entre bolsas (Figura 13) para la siembra de las plántulas de tomate.

3.3.2.6. Trasplante a las bolsas

Antes del trasplante de las plántulas de tomate a las bolsas; el 01 de abril del 2015 se aplicó el fungicida Ridomil (Metalaxyl + Mancozeb) a una dosis de 30 g/mochila de 20 L más el insecticida Pynex (Clorpirifos) a una dosis de 40 ml/mochila de 20 L, con el objetivo de evitar un posterior posible daño en las plantas, ya sea por plagas o enfermedades. Ese mismo día, con una estaca de madera (10 cm de largo y 1 cm de ancho) se cavó un hoyo en cada bolsa y se realizó el trasplante de las plántulas de tomate con un mínimo de cinco pares de hojas, posteriormente se cubrió el hoyo con el mismo sustrato y que la planta quede erguida.

3.3.2.7. Preparación de las soluciones nutritivas

Tabla 6 .Dosis de fertilización para 200 L de agua (tanque).

Fertilizantes	g/200 L de agua				
	80 ppm	120 ppm	160 ppm	200 ppm	240 ppm
Nitrato de potasio	137,50	206,25	275,00	343,75	412,50
Nitrato de calcio	162,50	162,50	162,50	162,50	162,50
Úrea	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Fosfato monoamónico	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Ácido fosfórico	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
Sulfato de magnesio	144,00	144,00	144,00	144,00	144,00
Total	546,50	615,25	684,00	752,75	821,50

Las cinco soluciones nutritivas (Tabla 6) aplicadas a las plantas de tomate de forma independiente; se renovaba a diario 200 L de cada solución nutritiva (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) se agregaba a un tanque de 200 L; asimismo, la preparación se hacía por la mañana y durante los 120 días que duró el experimento. Además, a la solución nutritiva se le agregó fertilizante Fetrilon® Combi (hierro, manganeso)

3.3.2.8. Fertirriego

A los tres días después de la germinación de las plántulas; se hizo la aplicación de una solución nutritiva a base de (214 ppm N – 60 ppm P - 160 ppm K - 160 ppm Ca - 57 ppm Mg - 75 ppm S) con una regadera a 300 plántulas de forma homogénea. Este fertirriego se hizo por 25 días de las plántulas entre la permanencia en las bandejas germinadoras y cartuchos de periódico.

Una vez trasplantadas las plántulas de tomate a las bolsas en el invernadero, se inició el fertirriego de forma tecnificada en un sistema de riego localizado por microtubos. La cantidad de solución nutritiva que se aplicó por día fue aproximadamente de 1,00 a 2.00 L por planta de acuerdo a la etapa fenológica en la que se hallaba el cultivo de tomate, haciendo énfasis en la época de floración y de fructificación por la demanda de agua que se requería en estas etapas de desarrollo.

Para el uso de la solución de nutriente, se usó una solución de ácido clorhídrico para generar un equilibrio en el pH de cada tratamiento, para mantener el pH de 5,50 a 6,50, y asegurar que las plantas de tomate absorban los nutrientes durante su desarrollo.

3.3.2.9. Frecuencia del fertirriego

El fertirriego se hacía hasta tres veces por día en los horarios 6 a.m., 12 p.m. y 6 p.m. El mecanismo consistía en abrir las llaves de paso de cada tratamiento en estudio, y por medio de las cinco mangueras de polietileno de color negro (2,50 cm de diámetro) y los microtubos (0,60 mm de diámetro) a las plantas en todo el invernadero, recorría la solución nutritiva de cada tratamiento para cada planta según la distribución de las plantas en el área experimental.

El tiempo de aplicación de cada riego fue de un minuto. La frecuencia de riego que se aplicó fue en base a la frecuencia de riego realizada por (Fonseca, 2013), en la producción de tomate en un sistema de riego por microtubos (Tabla 7).

Tabla 7. Frecuencia de riego.

Época del cultivo	Frecuencia de riego (veces) por días:		
	Soleados	Nublados	Lluviosos
Vegetativa	6	2	1
Floración	5	3	2
Fructificación	5	3	3
Maduración	3	3	1

Fuente: Fonseca (2013).

3.3.3. Otras actividades de manejo

3.3.3.1. Control de malezas

El desmalezado en las bolsas se hizo manualmente, con un machete, se quitaron las malezas de las calles y alrededor de las parcelas del invernadero. Esta actividad se hizo cada 15 días desde la siembra de las plantas a las bolsas. Asimismo, las malezas más comunes que se presenciaron fueron: *Cyperus rotundus* (coquito), *Amaranthus quitensis* (yuyo) y *Rottboellia exaltata* (arrocillo).

3.3.3.2. Control de plagas y enfermedades

El 20 de abril y 20 de mayo del 2015, se aplicó de forma preventiva el insecticida Pynex (Clorpirifos) a una dosis de 40ml/mochila de 20 L para el control de plagas. Para el control preventivo de enfermedades, el 21 de abril del 2015 se aplicó Ridomil (Metalaxyl + Mancozeb) 30 g/20 L y Protexin (Carbendazim) 30 ml/20L, cada 15 días, con una mochila fumigadora de 20 L.

3.3.3.3. Poda

Con una tijera de podar se hizo la primera poda a los 25 días del trasplante, se podó tallos laterales y hojas viejas; se eliminó los brotes axilares para corregir el desarrollo del tallo principal; se eliminó las hojas viejas (senescentes) para optimizar el color de los frutos y se eliminaron, hojas que podrían ser una fuente de inóculo de posibles enfermedades. También se podó algunas inflorescencias mediante la actividad de despunte. Asimismo, después de cada poda se desinfectó la tijera de podar con una solución del fungicida Ridomil 2 % con el fin de prevenir las diseminaciones de enfermedades. Esta actividad se realizó cada 20 días después de la primera poda, hasta un mes antes de la primera cosecha. La poda también, nos permitió homogenizar el tamaño de fruto.

3.3.3.4. Tutorado

Fue un sistema de colgado de la planta de tomate a partir de los 45 días después de la germinación. La distancia del tutorado fue 1,80 m de altura y consistió en coger a las plantas desde la parte basal, realizando anillas de tres a cuatro vueltas con rafia, llevando hasta el alambre que se encuentra a cierta altura de la planta; de acuerdo a como crecía la planta, se fue sujetando el hilo tutor con los anillos hasta que alcance el alambre.

3.3.3.5. Cosecha

Las cosechas se realizaron hasta el 30 de septiembre del 2015 respectivamente. La cosecha del tomate se inició cuando los frutos llegaron a obtener una coloración de madures comercial. La recolección de los tomates se hizo de forma manual en un periodo de 2 meses, siendo una frecuencia de cosecha de cada 7 días; los frutos cosechados fueron puestos en bandejas de 20 kg para realizar las evaluaciones con respecto al fruto.

3.4. Características evaluadas

3.4.1. Biometría de la planta de tomate

3.4.1.1. Altura de planta

Para evaluar esta característica, se tomaron 10 plantas de tomate por repetición/tratamiento en estudio; es decir, se evaluaron 30 plantas por cada tratamiento. La altura de planta fue medida con una cinta métrica en metros al final del experimento; midiendo la altura desde la intersección del tallo de la planta con el sustrato de la bolsa.

3.4.2. Biometría del fruto de tomate

Las evaluaciones se hicieron cada 7 días conjuntamente con la cosecha, se seleccionaron 10 frutos al azar por repetición/tratamiento para las evaluaciones:

3.4.2.1. Diámetro polar y ecuatorial del fruto

Con un vernier electrónico marca AutoTec® se midió el diámetro polar y ecuatorial de cada fruto de tomate en cm.

3.4.2.2. Peso del fruto

Se pesó cada fruto de forma individual en una balanza gramera digital marca Henkel de 500 g.

3.4.3. Calidad del fruto de tomate

Las evaluaciones se hicieron cada 7 días conjuntamente con la cosecha, seleccionándose 10 frutos al azar por repetición/tratamiento para evaluar:

3.4.3.1. pH del fruto

Se extrajo el jugo de los tomates en un vaso y se introdujo un peachimetro digital de líquidos portátil marca Hanna® para determinar el pH.

3.4.3.2. Grados Brix del fruto (°Bx)

Se machacó al fruto para luego aplicar tres gotas de jugo dentro del refractómetro marca Sper Scientific® con el fin de determinar la cantidad de sólidos solubles del fruto.

3.4.3.3. Firmeza del fruto (kg/cm²)

Para la determinación de firmeza del fruto de tomate, se usó un penetrómetro marca McCormick® digital con punta de 6 mm de diámetro. Esta actividad se hizo perforando el penetrómetro en el fruto.

3.4.4. Rendimiento

3.4.4.1. Peso de los frutos cosechados por planta

Se contabilizó el número de frutos cosechados por planta en cada cosecha realizada. Los frutos cosechados fueron pesados en una balanza digital marca Henkel de 50 kg para determinar la producción de kg/planta. Al final del experimento se sumó todos los pesos de los frutos cuantificados por planta en cada cosecha realizada.

3.4.4.2. Producción de frutos (t/ha)

Para cuantificar la producción de frutos por t/ha se hizo en base a la densidad de 20,000 plantas/ha mediante la siguiente fórmula:

$$PF \text{ (t/ha)} = \frac{PFP \times 20,000}{1,000}$$

Leyenda:

PF = Producción de frutos (t/ha)

PFP = Peso de frutos producidos por planta (kg)

3.4.5. Análisis de beneficio y costo (B/C)

La evaluación del análisis de beneficio y costo (B/C) en soles de los tratamientos en estudio, se realizó por el método análisis comparativo de ingresos y costos de producción; que consistió en determinar el índice de rentabilidad de cada tratamiento en estudio, y se halló mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Relación (B/C)} = \frac{\text{Ingreso bruto}}{\text{Costo de producción}}$$

El ingreso bruto de los tratamientos, se determinó según el precio de un 1 kg de tomate al mercado local de Tingo María. Los costos de producción se determinaron y obedeciendo a la diferencia del gasto en la producción en 1 ha.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Biometría de la planta

4.1.1. Altura de la planta

De acuerdo al análisis de variancia de la altura de la planta a los 120 días después de la siembra, existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en estudio; es decir, al menos uno de los tratamientos es estadísticamente diferente a los demás respecto a la altura de planta. El coeficiente de variación es de 1,36 %, lo cual refleja la excelente variabilidad entre las unidades experimentales en respuesta a los tratamientos en estudio (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de variancia para la altura de planta.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Sig.
Tratamientos	4	0,006	0,002	S
Error experimental	10	0,006	0,001	
Total	14	0,012		
C.V. (%)	1,36			

C.V. : Coeficiente de variabilidad.

S : Existe diferencias significativas al 5 % de probabilidad.

Se observa que la altura de la planta de tomate variedad Dominique de los tratamientos en estudio bajo condiciones de invernadero en Tingo María a los 120 días después de la siembra, varió de 1,78 a 1,84 m (Tabla 9 y Figura 1); estas alturas coinciden con los resultados obtenidos por Amaguaña (2009), quién reportó alturas de planta de la variedad Dominique varió de 1,82 a 1,90 m a los 120 días después de la siembra bajo condiciones de invernadero. Aunque la variedad Dominique, según Amañagua (2015), puede llegar a alcanzar una altura promedio de 2,51 m; porque según AAIC (2003), esta variedad tiene un crecimiento indeterminado y puede alcanzar hasta los 3 m.

Asimismo, se observa que, estadísticamente, los tratamientos T₅ (240 ppm K) y T₄ (200 ppm K) obtuvieron plantas de tomate con superior altura que el tratamiento T₁ (80 ppm K); aunque entre los tratamientos T₅, T₄, T₃ (160 ppm K) y T₂ (120 ppm K) fueron estadísticamente iguales para esta variable (Tabla 9). Además, aritméticamente se observa que el incremento de la altura de la planta de tomate está directamente relacionado con el incremento de la concentración de potasio en la solución nutritiva (Figura 1), porque según Marschner

(2012), el potasio presente en la planta es responsable de elevar la tasa de división así como de la expansión de células meristemáticas; es decir y en este caso, a mayor dosis de potasio, la división y expansión de células meristemáticas es mayor y por ende el desarrollo vegetativo de la planta también.

Tabla 9. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para la longitud de planta.

Tratamientos		Altura de planta	
Clave	Descripción	(m)	Significancia
T ₅	240 ppm K	1,84	a
T ₄	200 ppm K	1,83	a
T ₃	160 ppm K	1,80	ab
T ₂	120 ppm K	1,80	ab
T ₁	80 ppm K	1,78	b

Tratamientos unidos por la misma letra muestra que no existe significación estadística.

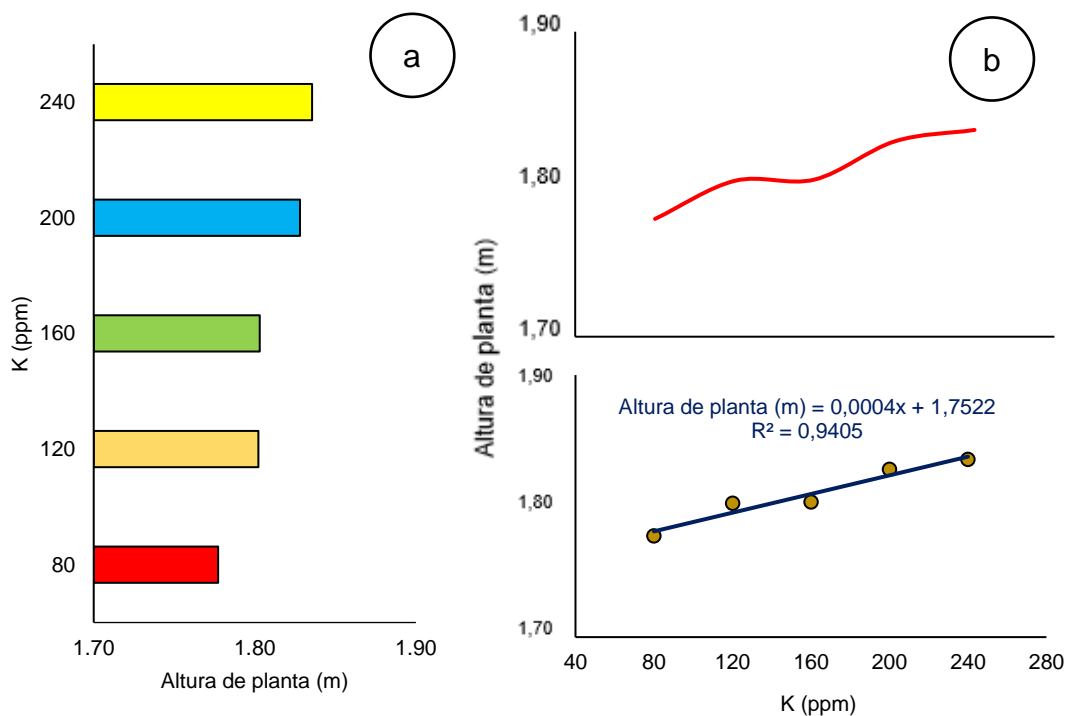


Figura 1. a. Diagrama de barras de la altura (m) de planta de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio (ppm) con la altura de planta (m).

4.1.2. Biometría del fruto

4.1.2.1. Diámetro polar y ecuatorial

Según el análisis de variancia para los diámetros polar y ecuatorial del fruto de tomate variedad Dominique a los 120 dds; hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en estudio para ambas características evaluadas, lo cual quiere decir que por lo menos uno de los tratamientos es estadísticamente diferente a los demás respecto al diámetro polar y ecuatorial del fruto de tomate. Asimismo, se determinó que el valor de los coeficientes de variación fueros iguales a 1,80 y 1,45 % respectivamente; estos valores reflejan la excelente variabilidad entre las unidades experimentales en respuesta a los tratamientos en estudio (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de variancia para los diámetros polar y ecuatorial del fruto.

Fuente de variación	G.L.	Diámetro polar		Diámetro ecuatorial	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Tratamientos	4	4,68	S	2,45	S
Error experimental	10	0,80		0,80	
Total	14				
C.V. (%)		1,80		1,45	

C.V. : Coeficiente de variabilidad.

S : Existe diferencias significativas al 5 % de probabilidad.

Estadísticamente, el diámetro promedio polar del fruto de tomate variedad Dominique del tratamiento T₅ (240 ppm K) a los 120 días después de la siembra, fue mayor respecto a los promedios obtenidos por los demás tratamientos; caso distinto para el diámetro ecuatorial del fruto del tomate, porque estadísticamente los tratamientos T₅ y T₄ (200 ppm decir, el tratamiento T₁ (80 ppm K) (Tabla 11). Es decir, los resultados para muestran que la concentración óptima para estas características del fruto de tomate variedad Dominique es la aplicación de 240 ppm K bajo condiciones de fertirriego por microtubos, porque por lo general según Yara (2019a), un exceso de potasio puede bloquear elementos tales como el hierro, zinc magnesio o manganeso; además, la deficiencia de estos microelementos se expresa en clorosis o en el necrosamiento de las hojas; es por esta razón, que la capacidad fotosintética y síntesis de clorofila se ve afectada, y según Agustí (2004), si la superficie foliar presenta una reducción severa, el desarrollo de los frutos y la cosecha pueden verse limitados a causa de una menor

fotosíntesis; por esta razón, el autor agrega que la importancia de la fotosíntesis en la determinación de la cosecha, es a través de su influencia sobre el número de frutos y sobre el tamaño de estos.

Por otro lado, el diámetro ecuatorial de fruto de los tratamientos oscila de 6,05 a 6,24 cm (Tabla 11 y Figura 2b), coincidiendo con Hernández y Galindo (2011), quienes sostienen que el diámetro ecuatorial del fruto de la variedad Dominique oscila entre 5,70 a 6,70 cm.

Tabla 11. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para el diámetro polar y ecuatorial del fruto de tomate.

Tratamientos		Diámetro polar		Diámetro ecuatorial	
Clave	Descripción	mm	Sig.	mm	Sig.
T ₅	240 ppm K	51,67	a	62,36	a
T ₄	200 ppm K	49,95	b	62,33	a
T ₃	160 ppm K	49,41	b	62,08	ab
T ₂	120 ppm K	49,05	b	60,72	ab
T ₁	80 ppm K	48,35	b	60,52	b

Tratamientos unidos por la misma letra muestra que no existe significación estadística.

Existe una relación directamente proporcional entre el incremento de la concentración de potasio en la solución con los diámetros polar y ecuatorial del fruto de tomate en un 90,62 y 85,57 % respectivamente (Figura 2); es decir, las probabilidades de que los niveles de potasio en ppm en una solución nutritiva, están relacionados con los incrementos de los diámetros del fruto de tomate, es alta y además porque el potasio según Haifa (2015), compone el 57 % del fruto de tomate.

Además, según Ramírez et al, (2009), la deficiencia de nitrógeno se relaciona con frutos de tomate de menor tamaño; sin embargo, las aplicaciones de distintas concentraciones de potasio no afectaron el tamaño del fruto, sino todo lo contrario y se debe, según Cakmak (2015), a que la absorción y transporte de nitrógeno probablemente es mejor en presencia del potasio; además, se ha observado que si los niveles de potasio son los adecuados, se tiene una respuesta positiva de la planta a las crecientes aportaciones de nitrógeno.

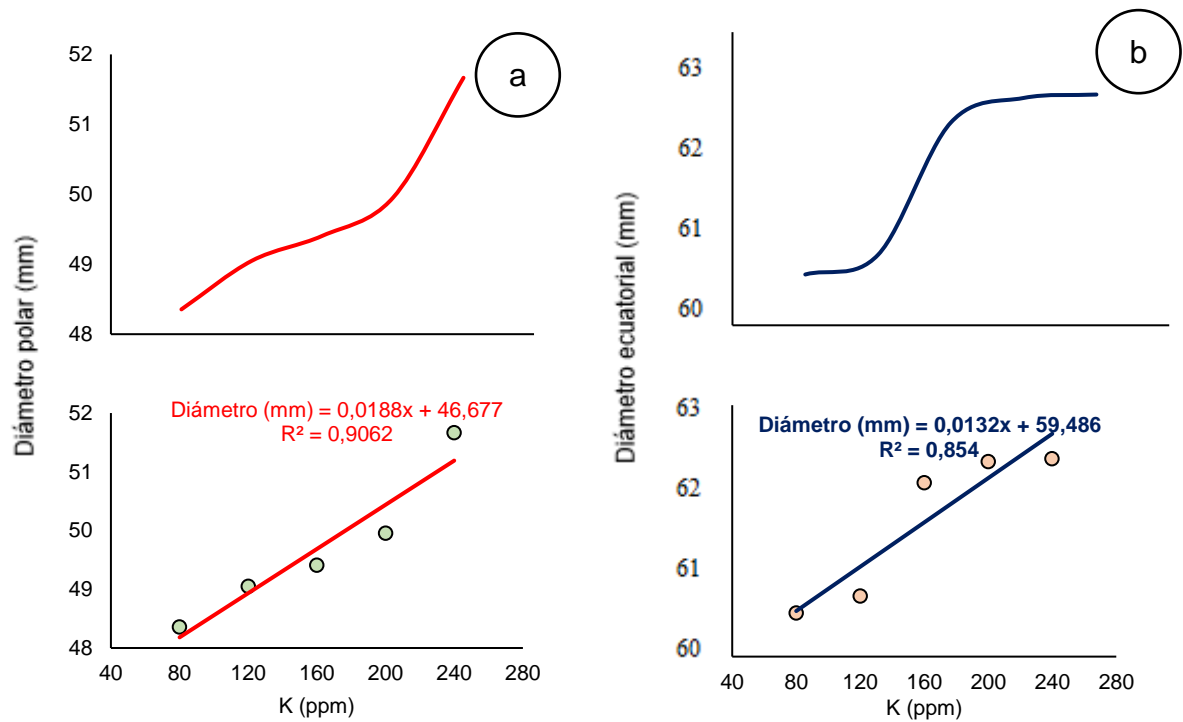


Figura 2. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con el: a. Diámetro polar del fruto, b. Diámetro ecuatorial del fruto.

4.1.2.2. Peso del fruto

Según el análisis de variancia realizado al peso del fruto cosechado, existen diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos; lo cual quiere decir al menos uno de estos presenta mejor respuesta estadística respecto a los demás en cuanto al peso del fruto del tomate. El coeficiente de variación es de 8,20 %, lo cual representa excelente variabilidad entre las unidades experimentales en respuesta a los tratamientos en estudio (Tabla 12).

Tabla 12 .Análisis de variancia para el peso del fruto.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Sig.
Tratamientos	4	547,68	136,92	AS
Error experimental	10	39,20	3,92	
Total	14	586,87		
C.V. (%)	8,20			

C.V. : Coeficiente de variabilidad.

AS : Existe diferencias significativas al 1 % de probabilidad.

Los tratamientos T₅ (240 ppm K) y T₄ (200 ppm K) presentan frutos de tomate variedad Dominique con un peso en promedio de 172,60 y 169,42 g respectivamente; siendo estadísticamente iguales, pero cuyos pesos promedios son estadísticamente mayores a los pesos promedios que presentan los demás tratamientos en estudio basados en concentraciones menores de potasio en las soluciones nutritivas; además, estas concentraciones altas en comparación a las otras (Tabla 13), se pueden denominar óptimas bajo condiciones de fertirriego para este cultivo, porque niveles óptimos de potasio, según AAIC (Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar) (2013), logran mejorar la calidad final del fruto, de manera que el consumidor lo encuentra más atractivo en aroma y olor, asimismo, incrementan el peso, tamaño y uniformidad.

Los resultados pueden atribuirse a los beneficios que el potasio aporta al desarrollo de los frutos de tomate, y estos beneficios se relacionan con las funciones clave del potasio en las plantas. El potasio es esencial en el transporte de nutrientes dentro de la planta (Ramírez et al., 2009). Según Ruiz (2008), concentraciones óptimas de potasio pueden mejorar la absorción y transporte de otros nutrientes, lo que contribuye a un crecimiento más saludable de la planta y, en última instancia, a la producción de frutos más grandes. De acuerdo a Hernández y Galindo (2011), el potasio regula la turgencia celular, que es la presión interna de las células vegetales. Un adecuado suministro de potasio ayuda a mantener la turgencia celular, lo que puede influir directamente en la firmeza y el peso de los frutos.

Tabla 13. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para el peso del fruto de tomate.

Tratamientos		Peso del fruto	
Clave	Descripción	(g)	Significancia
T ₅	240 ppm K	172,60	a
T ₄	200 ppm K	169,42	a
T ₃	160 ppm K	163,72	b
T ₂	120 ppm K	162,85	b
T ₁	80 ppm K	155,03	c

Tratamientos unidos por la misma letra muestra que no existe significación estadística.

El tratamiento T₁ (80 ppm K) presentó frutos con un promedio de 155,03 g; mientras los demás tratamientos en estudio presentaron pesos que van de 162,85 a 172,60 g (Tabla 13), peso que podrían considerarse fruto de primera según la categoría de peso por Ausay (2015), cuyo peso del fruto debe ser mayor a 160 g. Asimismo, los pesos

promedios de los frutos de la variedad Dominique que presentaron los tratamientos (Tabla 13) coinciden o está en el rango que Borja (2009), sustenta que el fruto de la variedad Dominique pesa entre 130 a 200 g; mientras que otros autores como Hernández y Galindo (2011), sustentan que el fruto de esta variedad, se caracteriza por tener un gran vigor, de forma oblonga y de buena firmeza con un peso entre 130 y 180 g.

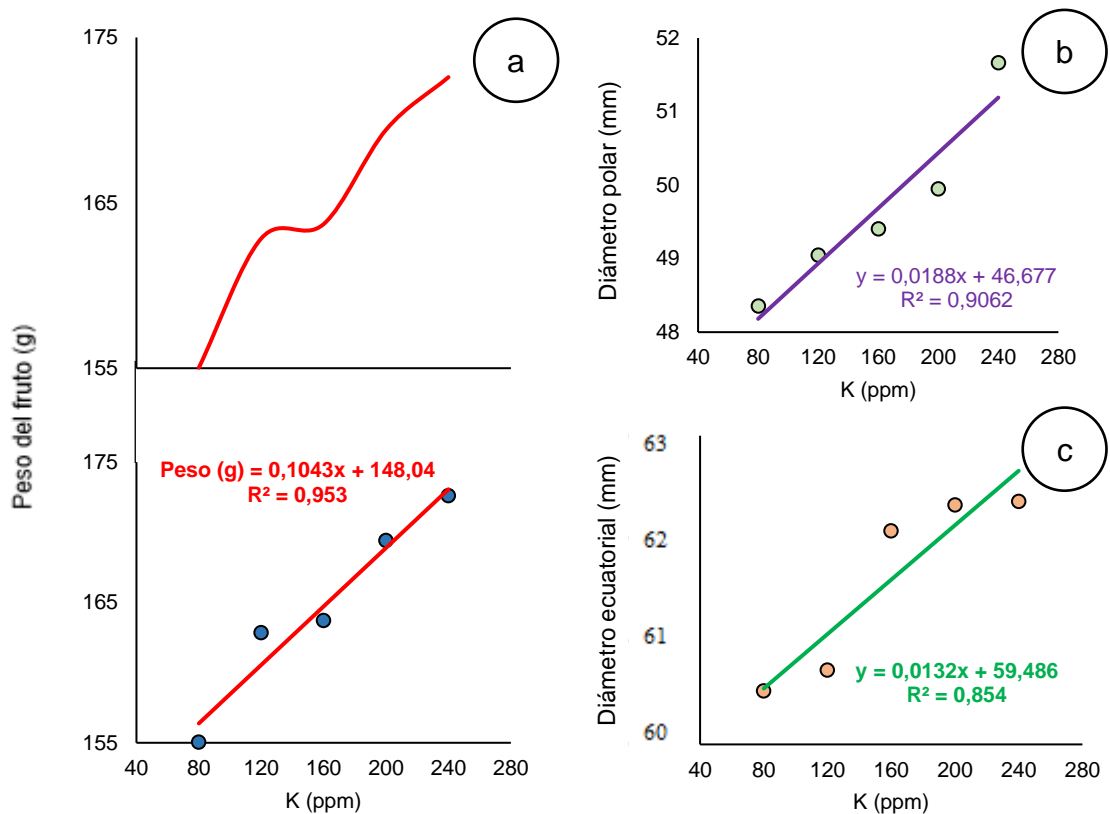


Figura 3. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con: a. Peso del fruto, b. Diámetro polar del fruto, c. Diámetro ecuatorial del fruto.

Se observa que hay una relación directamente proporcional entre el incremento de la concentración de potasio en la solución nutritiva con el peso del fruto de tomate en un 95,30 % (Figura 3), porque el peso del fruto es mayor a medida que se incrementa el nivel de potasio; y porque los tomates requieren cantidades comparativamente grandes de potasio porque es un componente esencial del fruto (Liu et al., 2008). Además, según Malvi (2011), demasiado potasio en este cultivo irá en detrimento de la absorción de los otros cationes; y la pudrición apical del fruto se asocia con deficiencia de calcio (Lazcano, 2000) que se presentó frutos del tratamiento T₁ (80 ppm K); algo que no se vio en frutos de los tratamientos con mayor concentración de potasio, que además presentó frutos con mayores pesos (Figura 3).

4.2. Calidad del fruto

Según el análisis de variancia realizado a las características pH, °Brix y firmeza del fruto de tomate variedad Dominique; hay diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos en estudio en cada característica evaluada; es decir, que al menos uno de los tratamientos estudiados es estadísticamente diferente a los demás en la evaluación del pH, grados Brix y firmeza del fruto del tomate. Asimismo, los valores de los coeficientes de variabilidad obtenidos en las características estuvieron debajo del 10 %; mostrando la excelente variabilidad entre las unidades experimentales en respuesta a los tratamientos en cada característica evaluada (Tabla 14).

Tabla 14. Análisis de variancia para el pH, grados Brix y firmeza del fruto.

Fuente de variación	G.L.	pH		Grados Brix		Firmeza	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Tratamientos	4	1,14	AS	1,51	AS	2,58	AS
Error experimental	10	0,08		0,09		0,16	
Total	14						
C.V. (%)		6,78		5,39		8,42	

C.V. : Coeficiente de variabilidad.

AS : Existe diferencias significativas al 1 % de probabilidad

4.2.1. pH del fruto

El pH del fruto obtenido por el tratamiento T₁ (80 ppm K) fue igual a 3,53 pH, estadísticamente menor a los valores de pH de los frutos obtenidos por los demás tratamientos, cuyos valores fueron 4,00 a 4,47 (Tabla 15 y Figura 4a), valores óptimos de pH según Cantwell (2006), quien menciona que el pH del tomate fresco oscila entre 4,17 a 4,59; y según (Diez, 1995), el pH del zumo normalmente debe situarse entre 4,20 a 4,40. Sin embargo, se recomienda para la industria que el fruto del tomate tenga un pH de 4,40 (Hidalgo et al., 1998), ya que el pH del fruto reduce su acidez durante el almacenamiento debido a, según (Benito et al., 2016), la síntesis y acumulación de ácidos orgánicos hasta el momento del corte y su pérdida por respiración.

Se observa que existe excelente proporcionalidad entre el aumento los niveles de potasio en la solución (ppm) con el aumento del pH en el fruto de tomate, porque el valor del R² es igual 0,9263 (Figura 4b) y según (Córdova 2003), mientras el valor de R² sea mayor, el ajuste será mejor y la recta de regresión será más útil como instrumento de predicción; lo que significa que 9,26 de cada 10 frutos de tomate incrementan su pH a media que incremento

el potasio (ppm) en la solución nutritiva, coincidiendo con (Ruiz, 2008), quien reportó que cuando las hojas contenían más del 6% de K y más del 5% de nitrógeno, la tasa de desórdenes en la maduración se reducía en un 10% y la acidez del fruto lograba niveles satisfactorios (4,2 - 4,4 pH), porque, el potasio influye de manera positiva sobre los contenidos de sólidos solubles totales como de azúcares totales y reductores de los frutos; asimismo, autores como (Díaz et al., 2018) y (Nguyen et al., 2010), encontraron una mejoría significativa en la capacidad antioxidante de los frutos si la solución nutritiva elevaba la concentración de potasio.

Tabla 15. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para el pH del fruto de tomate.

Tratamientos		pH del fruto	
Clave	Descripción	pH	Significancia
T ₅	240 ppm K	4,47	a
T ₄	200 ppm K	4,34	ab
T ₃	160 ppm K	4,02	b
T ₂	120 ppm K	4,00	b
T ₁	80 ppm K	3,53	c

Tratamientos unidos por la misma letra muestra que no existe significación estadística.

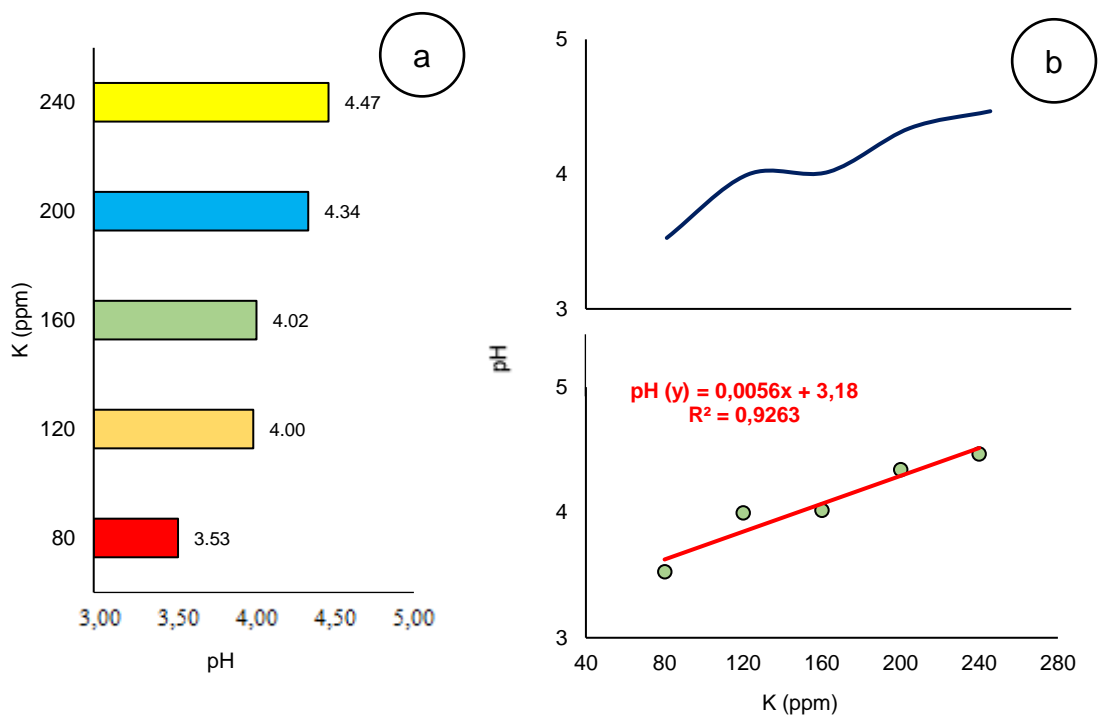


Figura 4. a. Diagrama del pH de los frutos de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con el pH.

4.2.2. Grados Brix del fruto

El grado Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) del fruto de tomate variedad Dominique obtenido por el tratamiento T1 (80 ppm K) fue igual a 4,37; que es estadísticamente menor a los demás tratamientos en estudio, cuyos valores varió de 5,50 a 6,17 (Tabla 16), coincidiendo con (Borja, 2009), quien reportó que el fruto de la variedad Dominique tiene de 5,20 a 6,20 $^{\circ}\text{Bx}$ y según (Castellanos, 2009), valores mayores a 4,5 $^{\circ}\text{Bx}$ corresponde a frutos de buen sabor y contenidos por debajo de 4,0 $^{\circ}\text{Bx}$ corresponde a frutos de calidad no aceptable; lo que significa haber obtenido tomates de buen sabor con aplicaciones entre 120 y 240 ppm K.

Asimismo, los valores obtenidos por el incremento del potasio por encima de 80 ppm (T₁), se encuentran en los valores óptimos de grado Brix o contenido de sólidos solubles porque según Cantwell (2004), normalmente se encuentra desde 3,5 hasta 7,0 $^{\circ}\text{Bx}$, según la variedad; por su parte, Arana et al. (2007) sostienen que los sólidos solubles pueden variar de 4 a 6 $^{\circ}\text{Bx}$; aunque Bartell et al. (2010), mencionan que este indicador varía desde 4,5 hasta 7,5 $^{\circ}\text{Bx}$ y factores como el clima, el riego, el estado de madurez de los frutos y otros, pueden influenciar sobre él.

Este hallazgo puede atribuirse a la influencia directa del potasio en el proceso de maduración y calidad del fruto, porque el potasio desempeña un papel crucial en la maduración de los frutos (Ruiz, 2008). Por lo tanto, concentraciones óptimas de potasio pueden acelerar y mejorar el proceso de maduración, contribuyendo así a un aumento en el contenido de sólidos solubles (Ramírez et al., 2009). Asimismo, es posible que la respuesta de las plantas a los nutrientes, como el potasio, puede ser afectada por diversos factores ambientales, prácticas agronómicas y características específicas de la variedad de tomate. Sin embargo, los resultados indican que, para la variedad Dominique, concentraciones altas de potasio (240 ppm) tuvieron un impacto positivo en la calidad del fruto, mejorando su sabor y contenido de sólidos solubles.

Tabla 16 Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para el grado Brix del fruto de tomate.

Tratamientos		Grados Brix	
Clave	Descripción	($^{\circ}\text{Bx}$)	Significancia
T ₅	240 ppm K	6,17	a
T ₄	200 ppm K	6,03	ab
T ₃	160 ppm K	5,53	b
T ₂	120 ppm K	5,50	b
T ₁	80 ppm K	4,37	c

Tratamientos unidos por la misma letra muestra que no existe significación estadística.

En la solución nutritiva (ppm) se observa que existe excelente proporcionalidad entre el aumento de los niveles de potasio y el aumento de los grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) en el fruto de tomate, porque el valor del R^2 es igual 0,8489 (Figura 5b) y según Córdova (2003), si el valor de R^2 es mayor, se tiene mejor ajuste y la recta de regresión es más útil como instrumento de predicción; lo que significa que 8,49 de cada 10 frutos de tomate aumentan su contenido de sólidos solubles totales a medida que incrementa los niveles de potasio en la solución nutritiva, coincidiendo con Ruiz (2008), quien reporta que en los frutos bien suplidos de potasio se pudieron registrar los valores más altos en sólidos solubles totales, azúcares, ácido, carotenos y licopenos, y porque según Young et al. (1993), un aumento de sólidos solubles en frutos de tomate se asocia con la primera aparición de carotenos y licopeno en el fruto, coincidiendo con Ramírez et al. (2009), quien sustenta que el contenido de potasio de una solución nutritiva mejora la calidad del fruto en los tomates, mejorando también la síntesis de carotenoides y estimulando el aumento de las concentraciones de licopeno y β -caroteno.

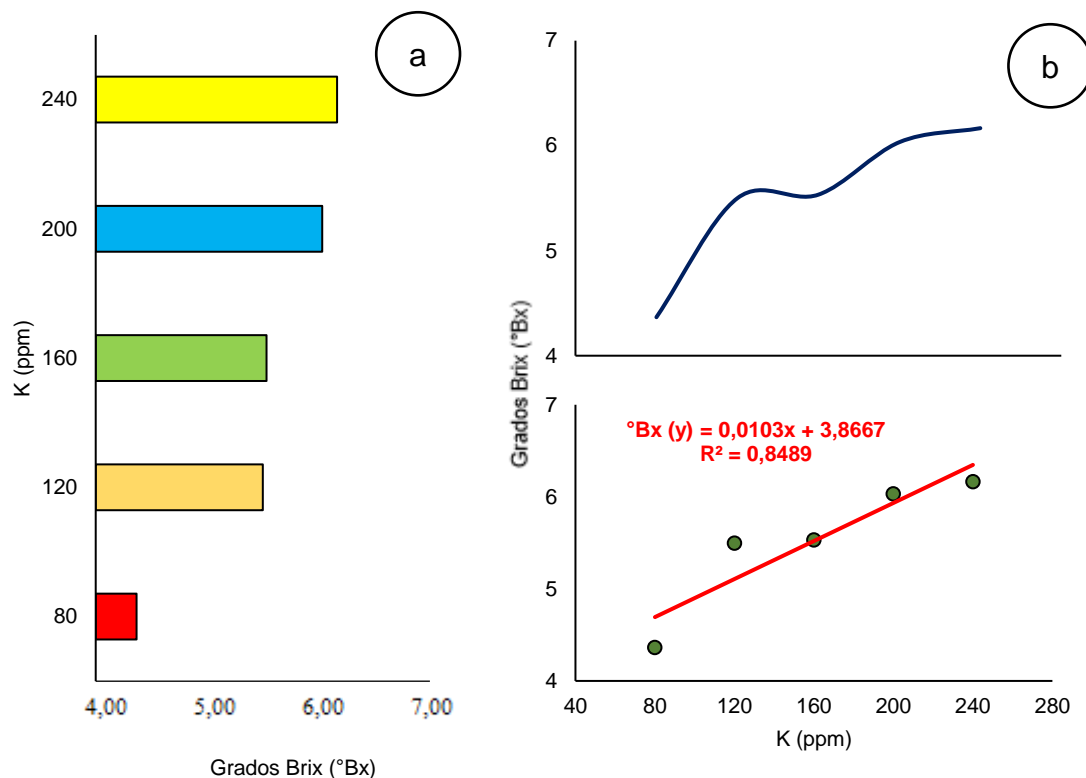


Figura 5. a. Diagrama de los grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) de los frutos de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con los grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$).

Otros autores como Taiz y Zeiger (2010), mencionan que, respecto a la maduración de los frutos, el aumento en los contenidos de azúcares es atribuido a la acumulación de sustancias orgánicas en la degradación enzimática del almidón, celulosa y

distintos componentes celulares del tejido vegetal. Sin embargo, la concentración de azúcares en el tomate puede verse afectada por la deficiencia del potasio, como el caso del tratamiento T1 (80 ppm K) que no sólo presentó baja concentración de azúcares, también presentó frutos con manchas, coincidiendo con Yara (2019b), quien sostiene que la insuficiencia de potasio se expresa en frutos con una maduración con manchas, también carecen de firmeza y bajos niveles grados Brix, porque como ya se mencionó anteriormente y según Alarcón (2009), y Neumann y George (2010), coinciden en que los altos niveles de carbohidratos solubles totales (TCS) en los tomates están asociados con una mayor absorción de fósforo y potasio.

4.2.3. Firmeza del fruto

La firmeza (kg/cm^2) del fruto de tomate variedad Dominique obtenido por el tratamiento T1 (80 ppm K) fue igual a $3,51 \text{ kg}/\text{cm}^2$; que es estadísticamente menor a los valores de firmeza de los frutos obtenidos de los demás tratamientos, los cuales tuvieron valores entre 4,26 y 5,71. Los frutos con mayor firmeza se dieron en los tratamientos T5 (240 ppm K) y T4 (200 ppm K), siendo estadísticamente superior ante los demás (Tabla 17 y Figura 6a); pero, los valores de los grados de firmeza de los frutos obtenidos por los tratamientos en estudio evaluados en campo, son mayores al grado de firmeza que recomienda Riquelme (2001), cuyo valor de firmeza del fruto del tomate en el campo debe tener como mínimo igual a $3 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

La firmeza varió de 34,44 a $56,05 \text{ N}/\text{m}^2$ (Anexo, Tabla 31), y según Cantwell (2004), los valores de firmeza entre 30-50 N, se califican como frutos muy firmes; aunque Domine y Segura (2014), consideran frutos muy firmes con valores mayores a 20 N. Al respecto, Arana et al. (2006) mencionan que los tomates de calidad sensorial “extra” presentan grado de firmeza de 18 N. Es decir, los frutos obtenidos (Tabla 17) son muy firmes coincidiendo con González y Cabot (2006), quienes clasificaron a los frutos de firme/muy firme y de buena conservación; mientras que Hernández y Galindo (2011), califican de frutos con buena firmeza.

Tabla 17. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para la firmeza del fruto de tomate.

Tratamientos		Firmeza del fruto	
Clave	Descripción	(kg/cm^2)	Significancia
T5	240 ppm K	5,71	a
T4	200 ppm K	5,56	a
T3	160 ppm K	4,46	b
T2	120 ppm K	4,26	b
T1	80 ppm K	3,51	c

Tratamientos unidos por la misma letra muestra que no existe significación estadística.

En la solución nutritiva (ppm) se observa que existe excelente proporcionalidad entre el aumento de los niveles de potasio y el aumento de la firmeza (kg/cm^2) en el fruto de tomate, porque el valor del R^2 es igual 0,9472 (Figura 6b) y según Córdova (2003), si el valor de R^2 es mayor, se tiene mejor ajuste y la recta de regresión es más útil como instrumento de predicción; lo que significa que 7,47 de 10 frutos de tomate aumentan su firmeza a medida que incrementa los niveles de potasio en la solución nutritiva, y esto porque según Suslow (2000), el potasio tiene un efecto directo sobre la calidad del fruto, ya que mejora el color y el sabor, promueve la maduración y aumenta la firmeza del fruto; sin embargo, según Cantwell (2004), la firmeza del fruto se relaciona con el estado de madurez, y a su vez puede verse influenciada por factores como la variedad, la región de producción y las condiciones de cultivo.

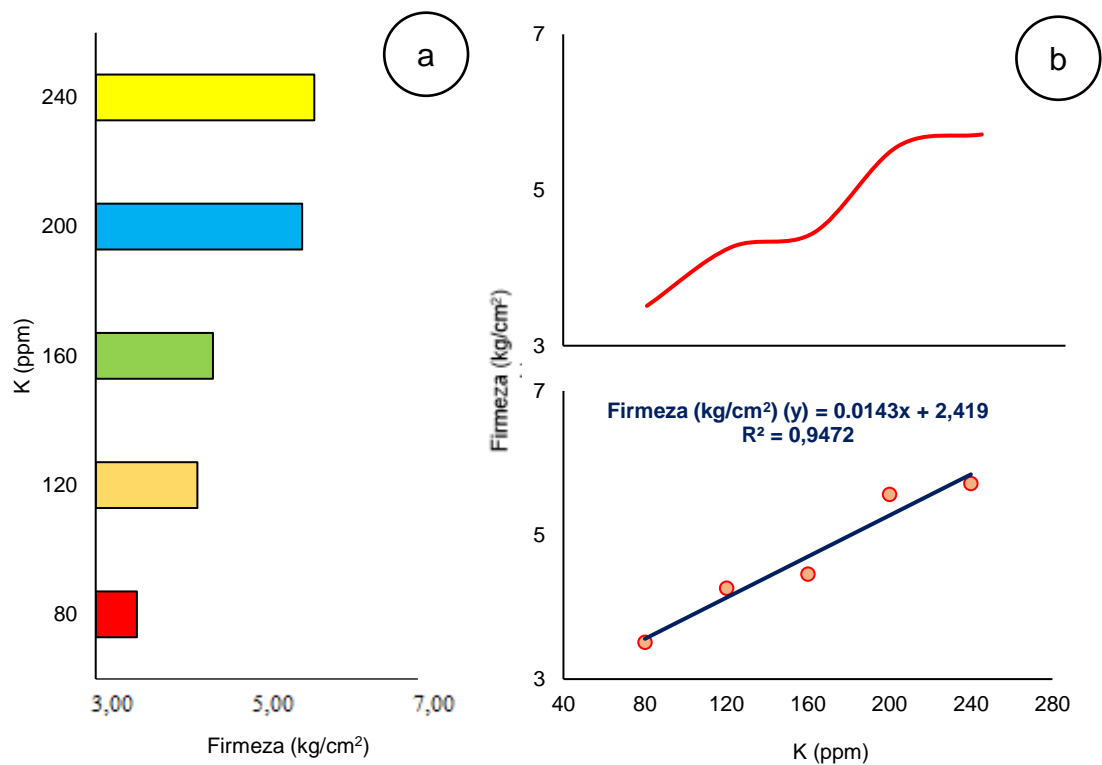


Figura 6. a. Diagrama de la firmeza (kg/cm^2) de los frutos de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con los grados Brix (kg/cm^2).

La resistencia mecánica de las paredes celulares, se traduce en firmeza de los frutos y mayor duración en la poscosecha de las frutas y hortalizas (Luna y Barret, 2000 y Lara et al., 2004), y la firmeza disminuye durante la maduración y el uso de calcio promueve tanto a reducir la descomposición de pectinas como a mantener la fortaleza de la pared celular

(Ausay, 2015), además la producción es muy sensible a déficit de calcio, manifestándose como pudrición apical (Ventura, 2016). Es decir, que niveles de potasio entre 80 y 240 ppm en la solución nutritiva no perjudicó la absorción de calcio por parte de la planta de tomate, porque niveles excesivos de potasio pueden generar antagonismos que llevan a deficiencias de otros nutrientes como el magnesio o el calcio (Pellegrini, 2017); sino todo lo contrario, el incremento de 80 a 240 ppm de potasio, incrementó la firmeza del fruto de tomate (Tabla 17) y redujo la susceptibilidad a presentar frutos con pudrición apical. Además, los niveles de potasio no fueron deficientes, porque según Cakmak (2015), la deficiencia de potasio genera alta concentración de nitratos y aminoácidos solubles en las raíces, y según Cabello et al. (2009), cantidades excesivas de nitrógeno pueden disminuir la firmeza y sólidos solubles totales del fruto.

4.2.4. Proporcionalidad entre variables de calidad

Los valores de R^2 obtenidos (Figura 7) fueron cercanos a 1, lo que indica una relación lineal positiva fuerte entre dos variables (Gutiérrez y de la Varra, 2012), y porque 9,75 y 9,58 de 10 frutos de tomate aumentarán sus grados Brix (Figura 7a) y grados de firmeza (Figura 7b) a medida que incremente su pH (3,51 a 5,71) respectivamente; coincidiendo con Fernández et al. (2004) quienes sostienen que una alta correlación entre dulzura y contenido de sólidos solubles, pH y azúcares reductores, porque según Arana et al. (2007), las cualidades organolépticas de los tomates están relacionadas con su composición química, y como señala Cantwell (2004), la firmeza del fruto de tomate depende de varios factores, como el estado de madurez y algunos de sus azúcares, ácidos (como la galactosa, manosa y ácido galacturónico) han sido identificados como principales componentes de la pared celular, y relacionados con el proceso de maduración y ablandamiento de los frutos. Además, entre los principales parámetros de calidad del tomate para la industria están: firmeza, los sólidos solubles y pH (Ventura, 2016), lo que implica que forzosamente estos parámetros de calidad se relacionan entre sí.

Se observa que la firmeza del fruto es directamente proporcional al peso del fruto, porque 9,67 de cada 10 frutos de tomate incrementarán sus grados de firmeza a medida que incrementen su peso (Figura 7c), coincidiendo con Causse et al. (2003), quienes mencionan que en Francia, se desarrolló un ensayo que dio como resultado que los tomates Cherry (13 g/fruto) tenían menor firmeza que los tomates más grandes (entre 129 y 151 g/fruto); por su parte, Li et al. (2011), sostienen que hay una relación estrecha entre disminución de peso y firmeza del fruto de tomate; asimismo, en la maduración de este fruto es característico una fase inicial, de lento crecimiento y alta división celular, luego, un período de marcado incremento en tamaño y peso (Jaramillo et al., 2007), y la firmeza de los frutos se relaciona con el grado de madurez (Carrari et al., 2007).

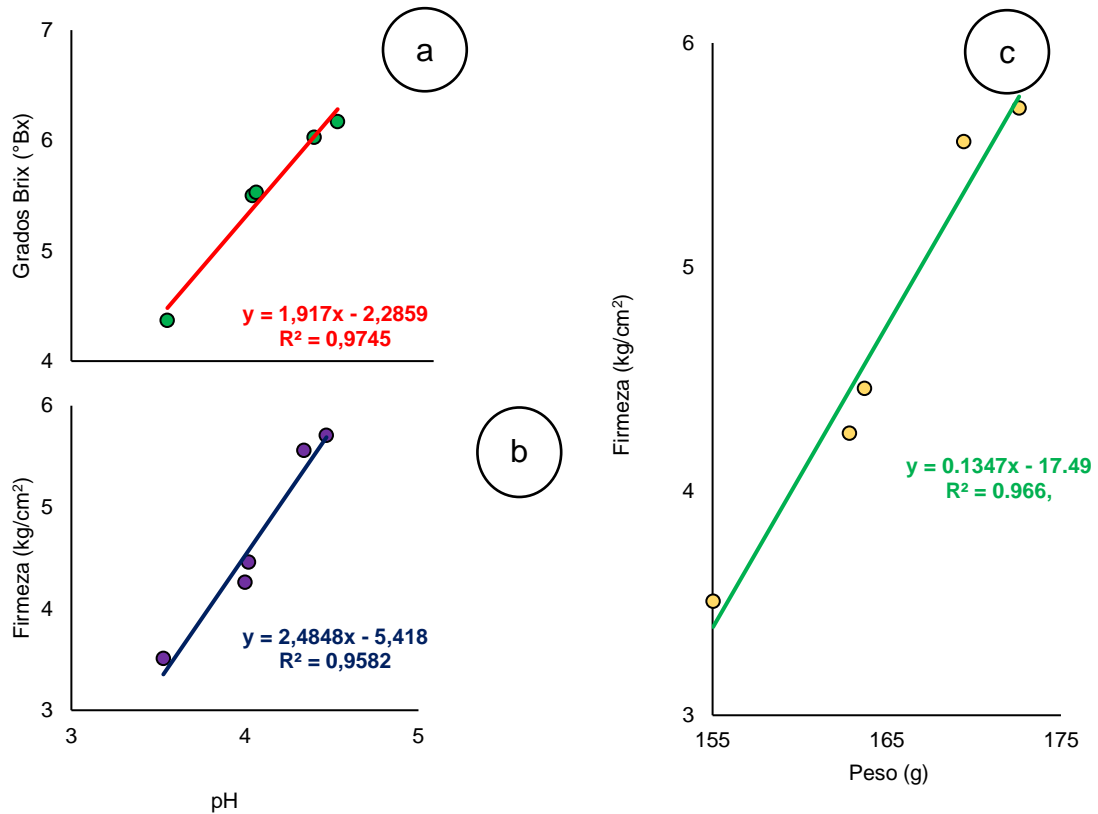


Figura 7. Proporcionalidad de dos variables estadísticas del fruto de tomate: a. pH y grados Brix, b. pH y firmeza, c. Firmeza y peso.

4.3. Rendimiento

Según el análisis de variancia realizado al peso de los frutos por planta y rendimiento de tomate de la variedad Dominique; hay diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos en estudio; lo cual quiere decir que al menos un tratamiento responde estadísticamente diferente a los demás en cuanto a estas dos variables. Asimismo, los valores de los coeficientes de variabilidad obtenidos en las características evaluadas están por debajo del 10 %, reflejando una excelente variabilidad entre las unidades experimentales en respuesta a los tratamientos en estudio en cada característica evaluada (Tabla 18).

Tabla 18 .Análisis de variancia para el peso del total de los frutos por planta y rendimiento de tomate.

Fuente de variación	G.L.	Peso de frutos/planta		Rendimiento	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Tratamientos	4	0,76	AS	304,27	AS
Error experimental	10	0,06		22,79	
Total	14				
C.V. (%)		4,51		4,51	

C.V. : Coeficiente de variabilidad.

AS: Existe diferencias significativas al 1 % de probabilidad.

4.3.1. Peso de los frutos por planta

El peso de los frutos cosechados por planta de tomate variedad Dominique obtenido por el tratamiento T₁ (80 ppm K) fue igual a 4,71 kg/planta; siendo estadísticamente menor los demás tratamientos en estudio, cuyos pesos fueron de 5,00 a 6,01 kg/planta (Tabla 19 y Figura 15a) y a pesar de ser frutos de primera según la categoría de peso (Ausay, 2015); fueron menores a lo que reporta AAIC (2003), quienes sostienen que los frutos de la variedad Dominique en promedio alcanza 9 kg/planta; mientras Borja (2009), encontró pesos de 6,39 a 7,52 kg/planta; también fueron inferiores a lo que reporta Amaguaña (2015), quien sostiene que esta variedad alcanza una producción promedio de 6,0 kg/planta. Sin embargo, los pesos obtenidos coinciden con González y Cabot (2006), quienes encontraron que los frutos de esta variedad alcanzaron un promedio de 5,10 kg/planta; y superan a Ausay (2015), quien encontró que los frutos de esta variedad bajo condiciones invernadero mediante fertirriego por goteo, alcanzaron de 2,63 y 3,30 kg/planta. Estas diferencias aritméticas de los pesos de los frutos por planta, puede deberse a diferentes factores externos como el clima, forma de producción, fertilización, manejo, entre otros.

Tabla 19 .Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) del peso de los frutos por planta.

Tratamientos		Peso de los frutos por planta	
Clave	Descripción	(kg)	Significancia
T ₅	240 ppm K	6,01	a
T ₄	200 ppm K	5,56	b
T ₃	160 ppm K	5,20	b
T ₂	120 ppm K	5,00	b
T ₁	80 ppm K	4,71	c

Tratamientos unidos por la misma letra muestra que no existe significación estadística.

El tratamiento T₅ (240 ppm K) estadísticamente obtuvo mayor peso de frutos por planta ante los demás tratamientos en estudio (Tabla 19 y Figura 8a), y además se observa cómo el incremento de potasio (ppm) en la solución nutritiva aumenta el peso de los frutos por planta, porque el R² es igual 0,9799 (Figura 8b), porque 9,79 de cada 10 plantas incrementan el peso de sus frutos si se incrementa la concentración de potasio en la solución, debido a que este elemento (K) constituye el 1 - 4 % del peso seco de la planta de tomate; mejora el peso y la calidad del fruto, brindándole color y mejor aroma para el consumidor, además de incrementar el tamaño y la uniformidad y de reducir las marcas y grietas (AAIC,

2003). En el fruto se encuentra alrededor de un 60 a 66% de potasio que absorbe la planta (Tjalling, 2006).

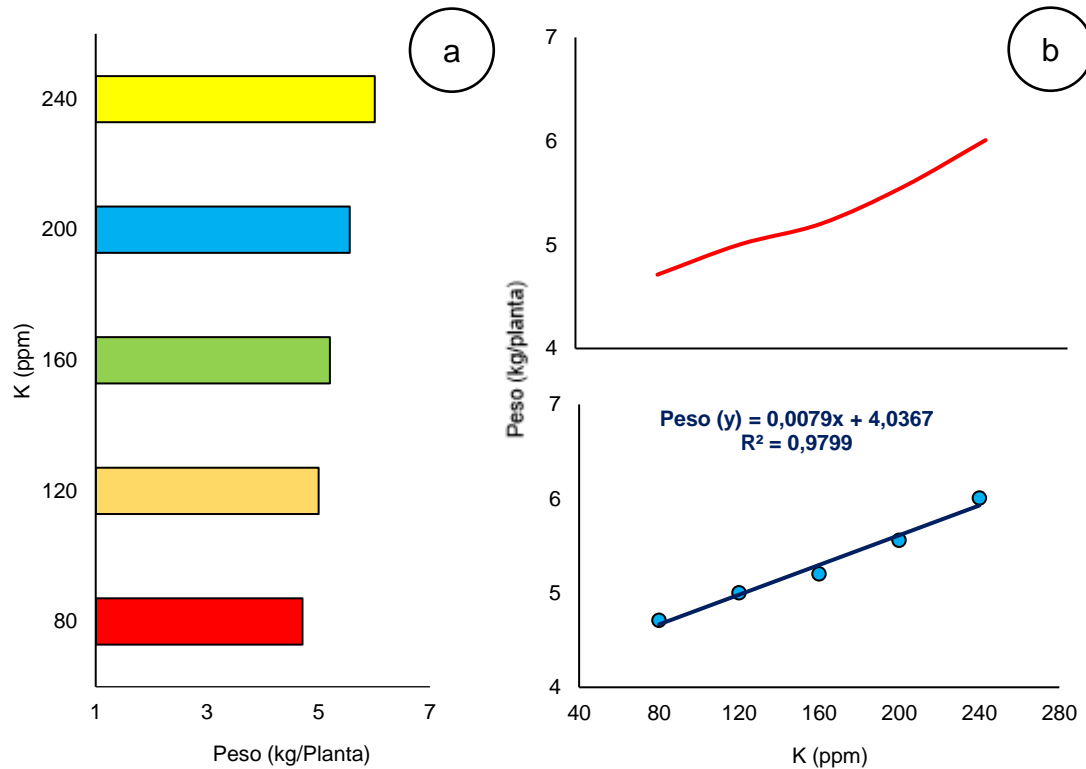


Figura 8. a. Diagrama del peso de los frutos por planta de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con el peso de los frutos por planta.

4.3.2. Rendimiento del tomate

El rendimiento de tomate de la variedad Dominique extrapolado a una densidad de 20 000 plantas/ha bajo un sistema de riego por microtubos del tratamiento T₁ (80 ppm K) fue igual a 94,24 t/ha; siendo estadísticamente menor los demás tratamientos en estudio, cuyos rendimientos en promedio variaron de 100,05 a 120,18 t/ha (Tabla 20 y Figura 9a); sin embargo, estos rendimientos son menores a rendimientos reportados de esta variedad, porque AAIC (2003), sostiene que la variedad Dominique bajo fertirriego alcanza rendimientos de 236 t/ha; mientras que Ausay (2015), reportó que bajo aplicaciones de soluciones nutritivas con una relación nitrato/amonio se alcanza rendimientos de 230 y 275 t/ha; por su parte, Lamiña (2012), en su investigación por aplicación de cuatro soluciones de N-P-K bajo fertirriego encontró un rendimiento de 205 t/ha.

Por otro lado, el tratamiento T₅ (240 ppm K) alcanzó un rendimiento de 120,18 t/ha, superior a lo reportado por Jarrín (2014), quien evaluó el efecto de la aplicación

foliar complementaria y profundidad de aplicación del fertirriego a la variedad Dominique, alcanzó 117,70 t/ha; asimismo, se reporta rendimientos menores de esta variedad a lo obtenido en este estudio porque González y Cabot (2006), encontró un rendimiento promedio de 94,93 t/ha. Es posible que estas diferencias de los rendimientos pueden estar influenciado por diferentes factores externos como altas dosis de fertilización, tipos de fertirriego, clima, suelo, manejo y entre otros, modificando la expresión del genotipo.

Tabla 20. Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) del rendimiento de tomate.

Tratamientos		Rendimiento	
Clave	Descripción	(T/ha)	Significancia
T ₅	240 ppm K	120,18	a
T ₄	200 ppm K	111,21	b
T ₃	160 ppm K	104,09	c
T ₂	120 ppm K	100,05	c
T ₁	80 ppm K	94,24	d

Tratamientos unidos por la misma letra muestra que no existe significación estadística.

El tratamiento T₅ (240 ppm K) extrapolado a una densidad de 20 000 plantas/ha bajo un sistema de riego por microtubos, estadísticamente alcanzó un mayor rendimiento de frutos por planta en comparación a los demás tratamientos (Tabla 19 y Figura 9a), y además se observa cómo el incremento de potasio (ppm) en la solución nutritiva incrementa el rendimiento de los frutos y porque el R² es igual 0,9799 (Figura 9b), lo que significa que 9,79 de cada 10 plantas incrementan su producción a medida que incrementan la concentración de potasio en la solución nutritiva, porque según Tjalling (2006), desde el punto de vista nutritivo de la planta del tomate, es necesario aplicar potasio suficiente, pues las cantidades de potasio requeridas para producir fruta uniformemente madura, sobrepasa lo requerido para el rendimiento máximo del cultivo, porque además, según Yara (2019b), un escaso suministro de potasio conlleva a una maduración desigual.

El rendimiento del tratamiento T₄ (200 ppm K) estadísticamente fue menor al tratamiento T₅ (240 ppm K); pero mayor a los demás tratamientos; asimismo, el rendimiento de los tratamientos T₃ (160 ppm K) y T₂ (120 ppm K) fueron iguales, pero mayor al rendimiento obtenido por el tratamiento T₁ (80 ppm K) (Tabla 20 y Figura 9a); es decir, el incremento del potasio en ppm en la solución nutritiva significativamente incrementó la producción de tomate

bajo este sistema de riego por microtubos, esto principalmente porque el 39 % de la composición elemental de la planta de tomate es de K_2O , mientras que el 57 % de la composición elemental del fruto de tomate es de K_2O (Haifa, 2015), coincidiendo con Yara (2019b), quien menciona que ensayos en tomate en el Reino Unido, muestran que altos niveles de potasio producen altos rendimientos en el cultivo, ya que los tomates necesitan grandes cantidades de este elemento (k).

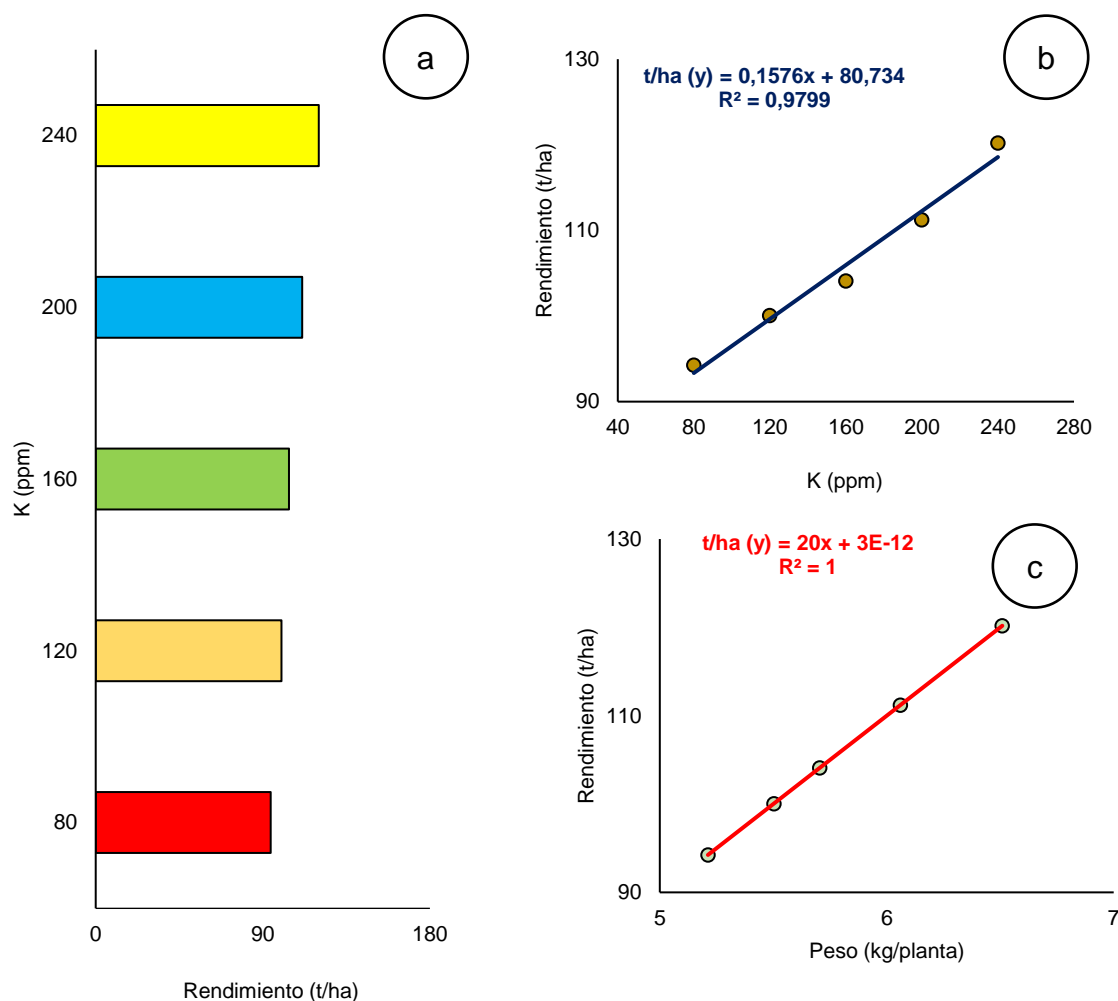


Figura 9. a. Diagrama del rendimiento del tomate obtenido por los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con el rendimiento del tomate, c. Proporcionalidad entre el peso total de los frutos por planta con el rendimiento del tomate.

Asimismo, se observa una correlación perfecta entre las variables peso de frutos por planta con el rendimiento del tomate (Figura 9c); es decir, a medida que el rendimiento del tomate por planta se incrementa, el rendimiento de t/ha también se incrementa, coincidiendo con AAIC (2003), quien menciona que el rendimiento de la variedad Dominique que fue igual a 9 kg/planta, equivale al rendimiento extrapolado de 236 t/ha. Aunque para nuestro caso, la

correlación entre peso de los frutos por planta y rendimiento, también existe correlaciones similares a otras correlaciones como el peso del fruto y características de calidad (Figura 7), porque un eficiente suministro de potasio respaldará la función de la hoja en el desarrollo de la fruta desde el principio y promoverá los efectos del potasio en el rendimiento y en los altos niveles de sólidos solubles (más azúcares) al momento de la cosecha (Tjalling, 2006), así como en la activación de enzimas y síntesis de proteínas. Asimismo, el cultivo requiere potasio para la síntesis de pigmentos, principalmente de licopeno (Delgado et al., 2004).

Finalmente se puede concluir que la variedad Dominique presentó alta productividad (Tabla 20) y alta firmeza del fruto (Tabla 17) en un sistema de riego por microtubos; es decir, los frutos presentan, según Arazuri et al. (2010), prolongado periodo de conservación y buena capacidad para soportar largas distancias de transporte. Aunque también se muestra que los resultados de rendimiento y otras características evaluadas, son diferentes en resultados bajo otras condiciones, esto porque la variabilidad genética del cultivo de tomate es relativamente amplia, y según Moya et al. (2009), el genoma no solo determina cuantitativa y cualitativamente los parámetros de calidad sensorial y nutricional del tomate, sino también en su capacidad de conservación.

En la Tabla 21 se muestran los resultados obtenidos en el presente estudio, junto a dos investigaciones adicionales en la que se describen las principales variables relacionadas con el rendimiento. Estudiando la variedad Dominique, Fonseca (2013) ha logrado rendimientos entre 101,79 y 112,50 t/ha, con tratamientos en los cuales variaron la concentración de la fuente de nitrógeno (NH_4/NO_3), donde el mejor resultado lo tuvo con una concentración de (10/90); sin embargo, con una concentración de (0/200) obtuvo los resultados más bajos. En el siguiente caso, Ccoycca (2014) ha evaluado diferentes variedades de tomate bajo una concentración de 200N-90P-240K-200Ca-50Mg-90S, logrando resultados entre 68,40 y 121,57 t/ha; el mayor rendimiento promedio resultó con la variedad Jabot, mientras que el menor rendimiento promedio se dio en la variedad Marglobe.

En la presente investigación, se ha encontrado una relación directamente proporcional entre el nivel de potasio y el rendimiento obtenido; es decir, mientras mayor fue el nivel de potasio, mayor fue el rendimiento del tomate. Este es un elemento que el cultivo de tomate requiere en cantidades altas y de manera constante para incrementar las características morfológicas, como mayor crecimiento y vigor de plantas, desarrollo de flores, frutos y semillas (Jiménez y García, 2017). Sin embargo, en el estudio de Jiménez y García (2017), se obtuvo mejores resultados con la dosis de potasio de 250 kg/ha con un valor de 17,77 t/ha en relación al testigo referencial (200 kg/ha), que logró un rendimiento de 13,20 t/ha; asimismo, con la

dosis más alta (350 kg/ha) reporta un rendimiento de 6,49 t/ha. El potasio afecta de manera directa la producción y calidad del tomate (Tjalling, 2006). Thompson y Troeh, (1990) sostienen que el potasio participa en la absorción de otros nutrientes y su desplazamiento dentro de planta, lo que influye en el proceso de fotosíntesis y favorece la producción de sustancias orgánicas y por lo tanto las características del fruto. De este modo, se confirma que adecuadas dosis de potasio mejoran el rendimiento y la calidad del fruto del tomate, mientras que al haber un exceso estos parámetros se ven afectados negativamente. Sin embargo, se necesita más investigación para determinar otras características morfológicas y de nutraceuticas que influyen en las características del fruto (número de lóculos, de semillas, diámetro y peso de semillas, color, contenido de licopeno y vitaminas).

Tabla 21. Rendimiento de tomate en diferentes investigaciones.

Resultados de la investigación	Tratamiento	Variedad	Fertilización (ppm) de N, P, K, Ca, Mg, S/ppm	T/ha
	T ₅	Dominique	214-60-240-160-57-75	120,18
T ₄	Dominique	214-60-200-160-57-75	111,21	
T ₃	Dominique	214-60-160-160-57-75	104,09	
T ₂	Dominique	214-60-120-160-57-75	100,05	
T ₁	Dominique	214-60-80-160-57-75	94,24	
Fonseca (2013)	Tratamiento	Variedad	Concentración N (NH₄/NO₃), P, K, Ca, Mg, S/ppm	T/ha
	T ₄	Dominique	200 (10/190)-40-265-150-53-70	112,50
	T ₃	Dominique	200 (20/180)-40-265-150-53-70	110,36
	T ₁	Dominique	200 (40/160)-40-265-150-53-70	109,93
	T ₂	Dominique	200(30/170)-40-265-150-53-70	107,14
	T ₅	Dominique	200 (0/200)-40-265-150-53-70	101,79
Ccoycca (2014)	Tratamiento	Variedad	Concentración N, P, K, Ca , Mg, S/ppm	T/ha
	T ₄	Jabot	200-90-240-200-50-90	121,57
	T ₁	Duke	200-90-240-200-50-90	116,98
	T ₂	PR	200-90-240-200-50-90	107,29
	T ₃	PX	200-90-240-200-50-90	96,41
	T ₅	MarglobeImprovot	200-90-240-200-50-90	71,50
	T ₆	Marglobe	200-90-240-200-50-90	68,40

Respecto al nitrógeno, este es un elemento necesario para las plantas; no obstante, sólo un bajo porcentaje es asimilado debido a la ineficacia de estas para absorberlo, de manera que el restante es liberado al ambiente. Las principales formas en que las plantas aprovechan este nutrimento son el nitrato (NO_3) y el amonio (NH_4) (Owen y Jones, 2001). El NH_4 puede resultar tóxico para las plantas y más si son la única fuente de N y se encuentra en altas concentraciones, ya sea por la disminución del pH, por el desbalance anión/catión o por el consumo de energía que resulta de la salida de iones. Además del tomate, entre las especies más susceptibles se encuentran la fresa, remolacha, cebada, entre otras. Producto de esta toxicidad se genera clorosis de hojas, marchitamiento, disminución del crecimiento y del rendimiento. Por otro lado, el NO_3 , por lo general, puede contrarrestar los efectos negativos del NH_4 en el crecimiento de las plantas (Houdusse et al., 2008).

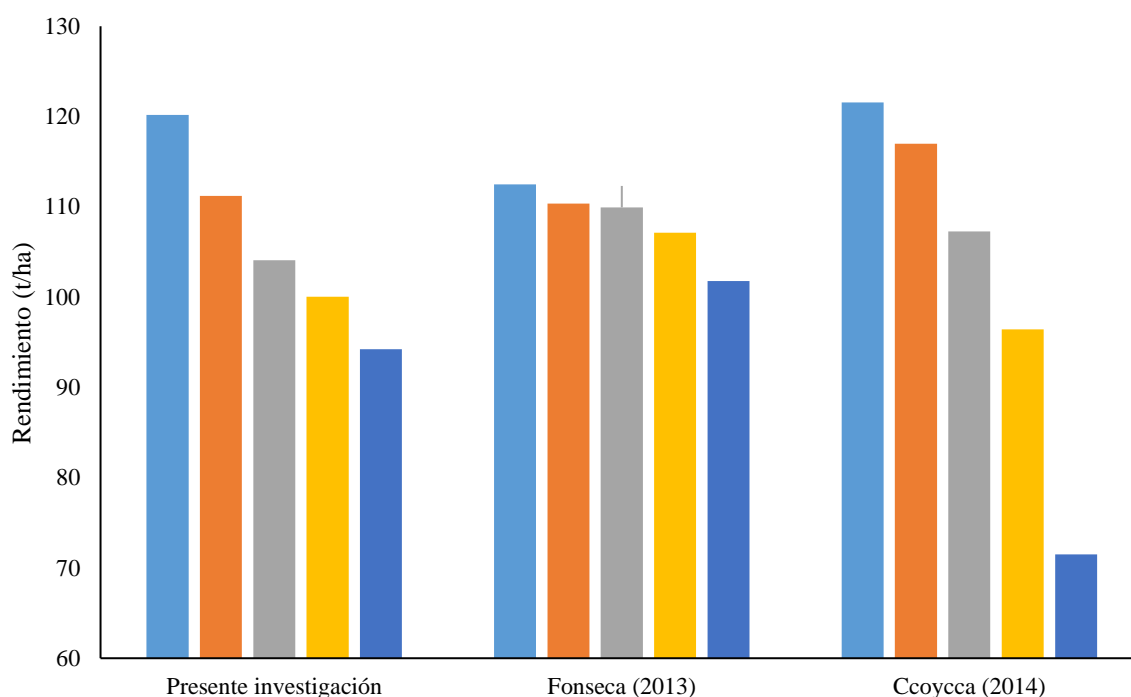


Figura 10. Rendimiento de tomate (t/ha) obtenido en diferentes investigaciones.

Diversas investigaciones han demostrado que resulta beneficioso para las plantas una mezcla de NO_3 y NH_4 (Britto y Kronzucker, 2002); sin embargo, se ha visto que, según la especie y la edad de la planta, la relación óptima y la concentración de N varían; también el pH del medio de crecimiento influye en esto. Según la revisión de Britto y Kronzucker (2002), es posible que la disposición de NO_3 y NH_4 maximicen la síntesis de citocinina, o que la alcalinización de la rizósfera que resulta cuando las plantas absorben NO_3 , limite la acidificación asociada con la nutrición de NH_4 . Sin embargo, este efecto puede ser parcial o

requerir una mayor proporción de $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ en la solución nutritiva, pues, a menudo, el NH_4 puede inhibir la absorción de NO_3 en más del 50 %, mientras que NO_3 puede estimular la absorción de NH_4 moderadamente. La principal respuesta sinérgica en el suministro de NO_3 y NH_4 probablemente esté relacionada con el transporte de más N a la parte aérea, lo cual es un tema agrónomicamente importante, pues el N acumulado en los tejidos de la parte aérea se pueden remover durante los periodos críticos de llenado del grano y desarrollo del fruto, cuando casi no hay N repartido vía raíces debido al inicio de la senescencia.

Es necesario conocer el nivel de nitrógeno asimilado por la planta con el fin de reducir la aplicación de fertilizantes nitrogenados y utilizar racionalmente el suministro de nutrientes que necesitan los cultivos de tomate, para reducir el impacto en el medio ambiente y optimizar el uso de los recursos.

4.4. Análisis de beneficio - costo (B/C)

El análisis de beneficio - costo (B/C) de los tratamientos en estudio en la producción de tomate variedad Dominique mediante la fertilización potásica a una densidad de 20,000 plantas/ha bajo un sistema de riego por microtubos en invernadero, se realizó mediante la extrapolación del costo de producción para 1 ha, teniendo en cuenta que en el mercado local el precio de 1 kg de tomate es de 2,50 soles (Tabla 22), considerando también el costo de construcción del invernadero (143,00 m²), materiales y equipos, insumos, manejo del cultivo, fertirriego, entre otros que se produjeron durante la ejecución de este trabajo (Tabla 23).

El mayor costo y beneficio (S/) se obtuvo con el tratamiento T₅ (240 ppm K), con una utilidad de 151 149 soles; mientras que el menor costo y beneficio se obtuvo con el tratamiento T₁ (80 ppm K), con una utilidad de 98 293 soles. Así mismo, los valores de beneficio y costo de los tratamientos T₁ (80 ppm K), T₂ (120 ppm K), T₃ (160 ppm K), T₄ (200 ppm K) y T₅ (240 ppm K) fueron S/ 1,72, 1,78, 1,82, 1,90 y 2,01 soles respectivamente (Tabla 22 y Figura 11a). Esto quiere decir que por cada 1 sol invertido en la producción de tomate variedad Dominique bajo un sistema de riego por microtubos en invernadero en Tingo María, se estima recobrar el 1 sol invertido más un retorno adicional de S/ 0,72, 0,78, 0,82, 0,90 y 1,01 soles respectivamente (Tabla 22).

Los valores de costo y beneficio obtenidos por los tratamientos T₄ (200 ppm K) y T₅ (240 ppm K) (Figura 11a), es similar a lo obtenido por Ausay (2015), que bajo aplicaciones de soluciones nutritivas con una relación nitrato/amonio a la variedad Dominique, que por cada dólar invertido en la producción encontró un retorno adicional de \$ 0,99. Por otro lado, se observa la correlación positiva entre el rendimiento del tomate y los valores de costo/beneficio (Figura 11b), porque el valor de R² fue igual 0,9981, lo que indica que hay una probabilidad de

Tabla 22. Análisis de beneficio y costo (B/C) de los tratamientos en estudio.

Clave	A							B	C	D	E	F	G
	CI	ME	Se.	In.	GA	SMCP	Fert.	CT (S/)	R (kg/ha)	IB (S/)	U (S/)	IR	B/C
T ₁ (80 ppm K)	40000	4000	200	3000	41333	21600	27177	137310	94241	235603	98293	0,72	1,72
T ₂ (120 ppm K)	40000	4000	200	3000	41333	21600	30177	140310	100046	250116	109806	0,78	1,78
T ₃ (160 ppm K)	40000	4000	200	3000	41333	21600	33177	143310	104090	260224	116914	0,82	1,82
T ₄ (200 ppm K)	40000	4000	200	3000	41333	21600	36177	146310	111212	278031	131721	0,90	1,90
T ₅ (240 ppm K)	40000	4000	200	3000	41333	21600	39177	149310	120184	300459	151149	1,01	2,01

Costo del 1 kg de tomate = S/ 2,50

Leyenda:

PI = Construcción del invernadero.

ME = Materiales y equipos de campo

Se. = Semillas

In. = Insumos

GA = Gasto de agua

SMCP = Siembra, manejo, cosecha y poscosecha

Fert. = Fertirriego (fertilización)

CT = Costo total

R = Rendimiento

F. = Fertilización

A = Abonamiento

IB = Ingreso bruto

U = Utilidad

IR = Índice de rentabilidad

B/C = Beneficio/Costo

B = A

D = C x S/ 2,50

E = D - B

F = E/B

G = D/B

acuerdo de 99,81 % que a medida que incremente el rendimiento, haya un incremento en las utilidades por ganancia. Asimismo, como hay una correlación muy buena entre la concentración de potasio en la solución nutritiva con el rendimiento del tomate (Figura 11); también hay correlación positiva entre la concentración del potasio en la solución nutritiva con los valores de costo/beneficio (Figura 11b), porque el valor de R^2 es igual a 0,9661 (Figura 11c).

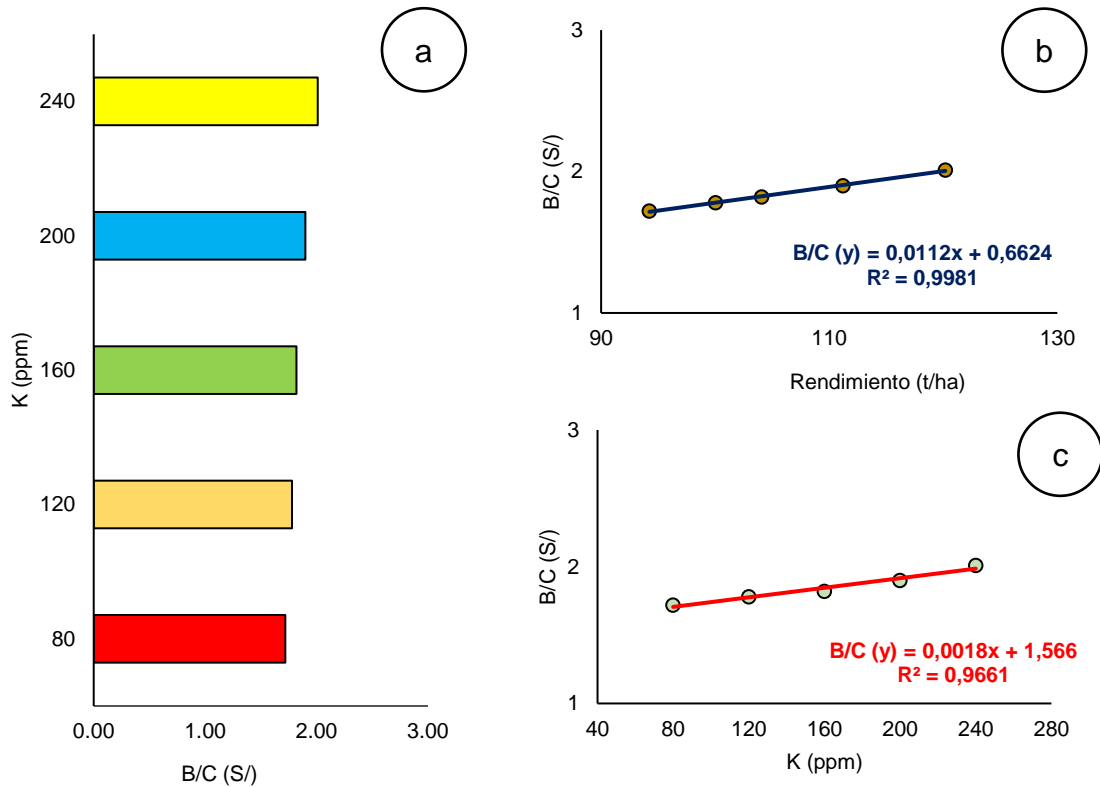


Figura 11. a. Diagrama del beneficio y costo de los tratamientos en estudio, b. Proporcionalidad entre el rendimiento con B/C, c. Proporcionalidad entre la concentración de potasio con B/C.

V. CONCLUSIONES

1. El rendimiento y calidad del cultivo de tomate variedad Dominique bajo un sistema de riego por microtubos, mejora significativamente a medida que la concentración de potasio de 80 ppm aumenta a 120, 160, 200 y 240 ppm respectivamente en la solución nutritiva, obteniendo rendimiento óptimos y frutos de primera categoría con buenas características sensoriales.
2. Los frutos obtenidos de las concentraciones de potasio, alcanzaron pesos de 155,03 a 172,60 g, con diámetro polar y ecuatorial de 48,35 a 51,67 mm, y de 60,52 a 62,36 mm respectivamente; el pH del fruto varió de 3,53 a 4,47; los grados Brix varió de 4,37 a 6,17 °Bx; y la firmeza del fruto varió de 3,51 a 5,71 kg/cm². El peso de los frutos cosechados por planta varió de 4,71 a 6,01 kg/planta; y el rendimiento varió de 94,24 a 120,18 t/ha.
3. La mejor concentración de potasio en la solución nutritiva bajo un sistema de riego por microtubos, fue 240 ppm de potasio; porque significativamente obtuvo frutos con una excelente calidad en cuanto peso, pH, grados Brix, y firmeza, y mayor rendimiento (120,18 t/ha) que las demás concentraciones de potasio en estudio.
4. El tratamiento T₅ (240 ppm K) obtuvo una utilidad de 151,149 soles, siendo la mayor utilidad que los demás tratamientos en estudio; mientras que el tratamiento T₁ (80 ppm K), obtuvo la menor utilidad. Así mismo, los valores de beneficio y costo de los tratamientos T₁ (80 ppm K), T₂ (120 ppm K), T₃ (160 ppm K), T₄ (200 ppm K) y T₅ (240 ppm K) fueron S/ 1,72, 1,78, 1,82, 1,90 y 2,01 soles respectivamente.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Recomendable la fórmula de la solución nutritiva (ppm) de 214 N - 60 P - 240 K - 160 Ca - 57 Mg - 75 S bajo un sistema de riego por microtubos en invernadero en la obtención de un alto rendimiento y alta calidad del tomate variedad Dominique; lo que permite obtener mejores utilidades, debido al elevado beneficio por encima de los costos.
2. Se recomienda la producción de tomate en Tingo María bajo un sistema de riego por microtubos en invernadero, porque es un ambiente protegido que permite controlar de forma eficaz cambios bruscos del ambiente y ayuda optimizar recursos como el agua y fertilizantes en la producción de tomate, porque por cada sol invertido, puede esperar recobrar 1 sol invertido más un retorno adicional de S/ 0,72 a 1,01 soles.

VII. REFERENCIA

- Agustí, M. 2004. Fruticultura. Editorial Mundi Prensa. Barcelona, España. 493 p.
- Alarcón, A. 2009. Evaluación de la aplicación de micorrizas arbusculares y *Azotobacter* sobre el crecimiento y el rendimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis para optar por el título académico de Máster en Ciencias Agrícolas. Universidad de Granma. Bayamo, Granma, Cuba. 81 p.
- Alania, F. 2013. Diseño, construcción y evaluación de un sistema de riego por microaspersión para el vivero de la Facultad de Agronomía.- UNAS. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 89 p.
- Alcántar, G., y Trejo, L. 2007. Nutrición de cultivos. Ediciones Mundi Prensa. Colegio de Postgraduados. México DF, México. 438 p.
- Amaguaña, L. 2009. Evaluación de tres biofertilizantes frente a tres dosis de aplicación en el tomate riñón bajo invernadero en Quichinche – Otavalo. Tesis para optar el título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. 129 p.
- Amaguaña, C. 2015. Cuantificación y logística de la biomasa disponible del cultivo de tomate riñón (*Lycopersicum esculentum*). Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. 102 p.
- Arana, I.; Jarén, C.; Arazuri, S.; García, M.; Ursua, A.; Bergera, G., y Riga, P. 2006. Calidad del tomate fresco: técnica de cultivo y variedad. Revista Terralia, 59: 22 – 34.
- Arazuri, S.; Jarén, C.; Arana, J.; Arias, N.; Macua, J., y Lahoz, I. 2010. Development of a calibration model for lycopene analysis based on nir Spectroscopy. International Conference on Agricultural Engineering “AgEng-2010”. Environmental Technology, Clermont-Ferrand, France. 6-8 September, 2010. 208 p.
- Arteaga, M. 2017. Control químico de *Prodiplolis longifila* Gagne en *Solanum lycopersicum* L. en el híbrido Kattia en consultora Costa Verde S.A.C. - Chepen - La Libertad. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. 39 p.
- Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar (AAIC) 2003. El cultivo de tomate riñón en invernadero. Editorial Abya Yala. Quito, Ecuador. 59 p.
- Ausay, E. 2015. Respuesta de tomate riñón (*Lycopersicum esculentum* Mill) cultivar Dominic bajo invernadero a dos relaciones nitrato/amonio mediante fertirriego por goteo. Tesis

- para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 80 p.
- Baltazar, B. 2018. Rendimiento y calidad en tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Toroty F1) empleando cuatro láminas de riego. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 120 p.
- Bartell, D.; Beaulieu, J., y Shewfelt, R. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Crit. Rev. Food Sci.*, 50: 369-389.
- Benito, P.; Arellanes, N., y Pérez, M. 2016. Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara. *Agronomía Mesoamérica*, 27 (1):115-130.
- Britto, D.; Kronzucker, J. 2002. NH₄ toxicity in higher plants a critical review. *Journal of Plant Physiology* 159(6):567-584. doi: 10.1078/0176-1617-0774
- Borja, N. 2009. Evaluación de parámetros productivos y sensoriales de cuatro variedades indeterminadas de tomate de mesa. Tesis para optar el título de Ingeniero en Agroempresas. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador. 72 p.
- Bulgarin, R.; Galvis, A.; Sánchez, P., y García, D. 2002. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. *Terra*, 20 (4): 401-409.
- Cabello, M.; Castellanos, M.; Romojaro, E.; Martínez, C., y Ribas, F. 2009. Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates. *Agricultural Water Management*, 96 (5): 866-874.
- Cakmak, I. 2015. Sinergismos y antagonismos entre nutrientes minerales durante la absorción y transporte en las plantas. En: Intagri. 2015. Primer Curso Internacional sobre Nutrición de Cultivos. Guadalajara, México. 2 p.
- Cantwell, M. 2004. Fresh market tomato. Statewide Uniform Variety Trial Report Field and Postharvest Evaluations. University of California. South San Joaquin Valley, USA. 70 p.
- Cantwell, M. 2006. Report to the California tomato commission tomato variety trials: Postharvest evaluation for 2005. Ucce Fresh market tomato statewide report. California, USA. Pp. 9-13.
- Carrari, F.; ASIS, R., y Fernie, A. 2007. The metabolic shifts underlying tomato fruit development. *Plant Biotechnology Journal*, 24: 45-55.
- Carrazón, A. J. 2007. Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA). Honduras. Pp. 50 - 115.

- Castellanos, J. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Editorial Intagri. México. 369 p.
- Causse, M.; Buret, M.; Robini, K., y Verschave, P. 2003. Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science*, 68(7): 2342 – 2350.
- Ccoycca, J. 2014. Comparativo de rendimiento de dos variedades y tres híbridos de tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* mill) bajo sistema de riego por goteo en Tingo María. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo Tingo María – Perú 2014. 74p.
- Compo Expert. 2015. Fetrilon® Combi 2: Uso foliar y fertirriego. Compo Expert. [En línea]: (<https://tinyurl.com/y4s4nxeg>, documento en PDF revisado el 20 de abril del 2019).
- Córdova, M. 2003. Estadística descriptiva e inferencial. Editorial Moshera. Quinta edición. Lima, Perú. 487 p.
- Delgado, R.; Martín, P.; Álamo, M., y González, M. 2004. Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation to vineyard nitrogen and potassium fertilization rates. *J. Sci. Food Agr.*, 84: 623-630.
- Díaz, H.; Preciado, P.; Sánchez, E.; Esparza, J.; Fortis, M., y Álvarez, V. 2018. El potasio en la calidad nutracéutica de frutos de pepino hidropónico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, volumen especial (20): 4245 – 4250.
- Diez, M. 1995. Tipos varietales. In: Nuez, F. ed. *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 93-129.
- Durán, A.; Vásquez, A.; Meneses, I., y Zetina, R. 2013. Tecnología para la producción de tomate de invernadero con biofertilizantes microbianos en el centro de Veracruz. *Campo Experimental Cotaxtla - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)*. Boletín técnico. México. 2 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 2013. *El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana*. Editado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Paraguay. 72 p.
- Fernández, V.; Sánchez, M.; Cámara, M.; Torija, M.; Chaya, C.; Galiana, L.; Roselló, S., y Nuez, F. 2004. Internal quality characterization of fresh tomato fruits. *Hortscience*, 39 (2): 339-345.
- Flores, J. 2013. Ciclo biológico del gusano cabrito del plátano (*Caligo teucer semicaerulea* Joicey & Kaye, 1917) en Tingo María, Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. Pp. 35 – 36.

- Fonseca, A. 2013. Relación amonio/nitrato en la producción del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* mill.) en un sistema de riego por goteo en Tingo María. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. 78 p.
- González, M., y Cabot, M. 2006. Evaluación de cultivares de tomate de mesa en invernadero para la región sur, ciclo primavera-verano 2005-2006. En: Reunión técnica: resultados experimentales en tomate de mesa. Programa Nacional de Horticultura. Serie de Actividades de Difusión N° 454. Editado por Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Uruguay. 43 p.
- Gonzales, J. 2016. Rendimiento y calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Katya) empleando cuatro láminas de riego bajo condiciones de Cañete. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 117 p.
- Gutiérrez, H. y De la Vara, R. 2012. Análisis y diseño de experimentos. Tercera edición. Editorial MC Graw Hill. México. 489 p.
- Haifa. 2015. Recomendaciones nutricionales para tomate en campo abierto, acolchado o túnel e invernadero. Haifa Pioneering the Future. 40 p. [En línea]: (<https://tinyurl.com/yyqalzaj>, artículo en PDF publicado el 20 de enero del 2015; revisado el 20 de mayo del 2019).
- Hernández, M., y Galindo. P. 2011. Estudio de la variación estacional del sabor del tomate. Trabajo que para optar título de Máster en Análisis Avanzado de Datos Multivariantes. Universidad de Salamanca. Salamanca, España. 75 p.
- Hidalgo, J.; Alcántara, G.; Baca, G.; Sánchez, P., y Escalante, J. 1998. Efecto de la condición nutrimental de las plantas y de la composición, concentración y pH del fertilizante foliar, sobre el rendimiento y calidad del tomate. *Terra Latinoamericana*, 16(2): 143-148.
- Houdusse, F.; Garnica, M.; Zamarreño, A.; Yvin, J.; García-Mina, J. 2008. Possible mechanism of the nitrate action regulating free-putrescine accumulation in ammonium fed plants. *Plant Science* 175(5): 731-739. doi: 10.1016/j.plantsci.2008.07.008
- Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura (Intagri). 2017. Soluciones nutritivas para el cultivo de tomate. Serie Horticultura Protegida N° 33. Artículos Técnicos de Intagri. México. 5 p.
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS). 2018. ITIS Report, *Solanum lycopersicum* L. Taxonomic Serial N°: 521671. [En línea]: (<https://goo.gl/Sw26TT>, documento en línea revisado el 23 de mayo del 2018).

- Jaramillo, J.; Rodríguez, V.; Guzmán, M.; Zapata, M., y Rengifo, T. 2007. Buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. Manual Técnico. Tampillo, México. 122 p.
- Jarrín, G. 2014. Efecto de la aplicación foliar complementaria y la profundidad de aplicación del fertirriego en dos variedades de tomate riñón (*Lycopersicum esculentum* Mill). Tumbaco, Pichincha. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 127 p.
- Jiménez, B.; García, R. 2017. Influencia del potasio en el rendimiento y calidad del fruto de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Manglar 14(2): 125-131,2017. Revista de investigación científica. Universidad Nacional de Tumbes, Perú.
- Lamiña, E. 2012. Evaluación de la eficacia de cuatro soluciones nutritivas de fertirriego para incrementar el rendimiento en cuatro cultivares de tomate riñón (*Lycopersicum Esculentum* Mill) bajo invernadero. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 97 p.
- Lara, A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra, 17 (3): 221 – 229.
- Lara I.; García P., y Vendrell M. 2004. Modifications in cell wall composition after cold storage of calcium-treated strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) Fruit. Posth. Biol. Tech., 34: 331–339.
- Lazcano, I. 2000. Deficiencia de Ca en tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Informaciones Agronómicas, Instituto de la Potasa y el Fósforo de Canadá, 39: 7-8.
- Li, Z.; Li, P., y Liu, J. 2011. Effect of mechanical damage on mass loss and water content in tomato fruits. International Agrophysics, 25: 77-83.
- Liu, Z.; Jiang, L.; Li, X.; Härdter, R.; Zhang, W.; Zhang, y., y Zheng, D. 2008. Effect of N and K fertilizers on yield and quality of greenhouse vegetable crops. Pedosphere, 18: 496 - 502.
- Llerena, E. 2007. Comportamiento de dos genotipos, de tomate riñón *Lycopersicum esculentum* Mill. en diferentes sustratos hidropónicos en Yuyucocha. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica del Norte. Ibarra , Ecuador. 70 p.
- Luna, I., y Barrett, D. M. 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupe. Posth. Biol.Tech., 19: 61-72.
- Malvi, R. 2011. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. Karnataka J. Agric. Sci. 24 (1): 106-109.

- Maroto, J. 2000. Elementos de horticultura general: especialmente aplicada al cultivo de plantas de consistencia herbácea. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 424 p.
- Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Academia Press. Londres, UK. 672 p.
- Merino, G. 2017. Producción de semillas híbridas de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) determinados e Indeterminados en el valle de Cañete. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 78 p.
- Monzón, C. 2016. Evaluación del rendimiento de tomate de crecimiento indeterminado (*Lycopersicum sculentum* Mill) de variedades híbridos utilizando abonos fermentados de gallinaza y cuyaza – Abancay. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Tecnológica de los Andes. Abancay, Perú. 185 p.
- Moya, C.; Álvarez, M.; Plana, P.; Florido, M., y Curvan, J. 2009. Evaluación y selección de nuevas líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con altos rendimientos y alta calidad de frutos. Cultivos Tropicales, 26 (3): 39-43.
- Neumann, E., y George, E. 2010. Nutrient uptake: The arbuscular mycorrhiza fungal symbiosis as a plant nutrient acquisition strategy. In: Koltai, H., Kapulnik, Y. (eds) Arbuscular mycorrhizas: Physiology and function, 2nd edition. Springer, London, New York, USA. Pp. 137–167.
- Nguyen, P.; Kwee, E., y Niemeyer, E. 2010. Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. Food Chem, 123: 1235-1241.
- Owen, A.; Jones, D. 2001. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. Soil Biology. and Biochemistry 33(4): 651–657. doi:10.1016/S00380717(00)00209-1
- Pellegrini, A. 2017. Potasio calcio y magnesio del suelo. Editado por la Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. 12 p.
- Pérez, D. 2014. Evaluación del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en monocultivo y asociado bajo manejo orgánico en La Molina. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 95 p.
- Pizarro, F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión y exudación. Tercera edición, Editorial Mundi Prensa. Barcelona, España. 511 p.
- Quesada, G., y Bertsch, F. 2012. Fertirriego en el rendimiento de híbridos de tomate producidos en invernadero. Agronomía Mesoamericana, 23 (1): 117-128.

- Ramírez, L.; Muro, E., y Sánchez, G. 2009. Potassium affects the lycopene and β -carotene concentration in greenhouse tomato. *Acta Hort.* 821: 223-228.
- Ramírez, G. 2017. Sistema de producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L). Tesis para optar título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 64 p.
- Resh, H. 2001. Cultivos hidropónicos, nuevas técnicas de producción. Quinta edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.
- Riquelme, F. 2001. Poscosecha del tomate para consumo en fresco. El cultivo de tomate. Ed. Nuez, F. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 93-129.
- Ruiz, C. 2008. Efecto del fertilizante potásico sobre la calidad química de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) almacenados bajo dos temperaturas. *Revista de la Facultad de Agronomía Venezuela*, 25 (2): 1 – 8.
- Rodríguez, A. 2017. Red hidroponía. *Boletín Informativo* N° 74. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral - Departamento de Biología. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 20 p.
- Sánchez, L. 1999. Nutrición potásica del tomate mediante la determinación del potasio en savia del peciolo. Trabajo realizado en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, C.S.I.C. Escuela Universitaria de ingeniería técnica agrícola. Sevilla, España. 120 p.
- Suslow, T. 2000. Chlorination in the production and postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Fruit and Vegetable Processing*. Universidad de California. Davis, California, ee.uu. 15 p.
- Taiz, L., y Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*. 5th Edition. Sinauer, Sunderland, MA, USA. 782 p.
- Tjalling, H. 2006. Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad tomate. Editado por Sociedad Química y Minera de Chile (SQM). Santiago de Chile, Chile. 84 p.
- Thompson, L.; Troen, F. 1990. *Los Suelos y su Fertilidad*. Cuarta Edición. Reverte, S.A.
- Ticona, Y. 2013. Determinación del bulbo húmedo con goteros de diferente caudal en dos suelos, La Molina - Lima y Virú –Trujillo. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 104 p.
- Vásquez, V.; Vásquez, R., y Vilchez, O. 2008. *Principios básicos del riego*. Editorial Fimart. Lima, Perú. Pp 130-230.

- Ventura, E. 2016. Calcio complementario en la firmeza del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum*). Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 31 p.
- Yara. 2019a. Nutrición vegetal: Tomates de invernadero. Yara Perú. Lima, Perú. [En línea]: (<https://tinyurl.com/y3t8wm29>, artículo en la web de Yara Perú publicado el 20 de enero del 2019; revisado el 20 de mayo del 2019).
- Yara. 2019b. Función del potasio en la producción de tomate. Yara Perú. Lima, Perú. [En línea]: (<https://tinyurl.com/y4fmy43>, artículo en la web de Yara Perú publicado el 20 de enero del 2019; revisado el 20 de mayo del 2019).
- Young, T.; Juvik, J., y Sullivan, J. 1993. Accumulation of the components of total solids in ripening fruits of tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118:286-292.

ANEXOS

|

Tabla 23. Presupuesto del experimento.

Actividades	Unidad	Cantidad	Precio (S/)		
			Unidad	Subtotal	Total
Construcción del invernadero (143 m²)					
Labores					
Limpieza de terreno	Jornal	2,00	30,00	60,00	
Alineamiento de las plantas	Jornal	0,30	30,00	9,00	
Instalación de postes	Jornal	0,30	30,00	9,00	
Instalación de la malla Raschel	Jornal	0,30	30,00	9,00	
					87,00
Materiales					
Malla Raschel 50 % sombra	m	300,00	5,60	1680,00	
Postes de madera (0,20x4,00 m)	Unidad	9,00	5,00	45,00	
Clavos (2 pulgadas)	kg	1,00	5,00	5,00	
Bolsa (40x40 cm)	Unidad	300,00	1,00	300,00	
Palos vivos (2 m)	Unidad	20,00	0,20	4,00	
Manguera 1,50" (21 m)	Unidad	5,00	60,00	300,00	
Tubos PVC 1" (5 m)	Unidad	5,00	17,00	85,00	
Microtubos 0,08" (300 m)	Unidad	1,00	100,00	100,00	
Tanques (200 L)	Unidad	5,00	50,00	250,00	

Válvula de paso	Unidad	5,00	10,00	50,00	
					<u>2819,00</u>
<hr/>					
Del invernadero (143 m ²)					
<hr/>					
Materiales					
<hr/>					
Pala cuchara	Unidad	2,00	28,90	57,80	
Machete (50 cm)	Unidad	2,00	10,90	21,80	
Rastrillo (14 dientes)	Unidad	2,00	35,90	71,80	
Tijera de podar	Unidad	1,00	25,00	25,00	
Bandejas germinadoras	Unidad	3,00	10,00	30,00	
Cartuchos periódicos	Unidad	300,00	0,05	15,00	
Bandejas (50 L)	Unidad	10,00	10,00	100,00	
Wincha (50 m)	Unidad	1,00	55,00	55,00	
					<u>376,40</u>
<hr/>					
Equipos					
<hr/>					
pHmetro digital	Unidad	1,00	350,00	350,00	
Penetrómetro GY-1	Unidad	1,00	790,00	790,00	
Refractómetro manual	Unidad	1,00	100,00	100,00	
Balanza digital (100 kg)	Unidad	1,00	189,00	189,00	
Vernier digital	Unidad	1,00	45,00	45,00	
					<u>1474,00</u>
<hr/>					

Insumos				
Semillas de tomate Dominique	g	10,00	10,00	100,00
Microorganismos eficientes	kg	10,00	10,00	100,00
Aserrín descompuesto	kg	1500,00	0,10	150,00
Fetrilon® Combi	kg	1,00	100,00	100,00
Ridomil (Metalaxyl + Mancozeb)	Unidad	1,00	20,00	20,00
Pyrinex (Clorpirifos)	Unidad	1,00	30,00	30,00
Protexin (Carbendazim)	Unidad	1,00	30,00	30,00
				530,00
Fertilización				
Nitrato de potasio	kg	39,60	3,60	142,56
Nitrato de calcio	kg	46,80	2,80	131,04
Urea	kg	7,20	1,44	10,37
Fosfato monoamónico	kg	20,16	2,00	40,32
Ácido fosfórico	L	2,16	4,03	8,71
Sulfato de magnesio	kg	41,47	1,80	74,65
Bórax	kg	0,50	8,00	4,00
Agua	m ³	8,61	72,00	619,92
				1031,57
Labores en el invernadero				

Siembra				
Siembra de semillas	Jornal	0,30	30,00	9,00
Almacigado	Jornal	0,30	30,00	9,00
Preparación del sustrato	Jornal	1,00	30,00	30,00
Llenado de las bolsas	Jornal	1,00	30,00	30,00
Trasplante	Jornal	0,30	30,00	9,00
				87,00
Manejo				
Control de plagas y enfermedades	Jornal	2,00	30,00	60,00
Control de malezas	Jornal	0,50	30,00	15,00
Preparación de las soluciones	Jornal	32,00	30,00	960,00
Control del fertirriego	Jornal	32,00	30,00	960,00
Tutorado	Jornal	3,00	30,00	90,00
Poda	Jornal	3,00	30,00	90,00
Cosecha	Jornal	2,00	30,00	60,00
				2235,00
Total parcial				8639,97
Imprevistos 30%				2591,99
Presupuesto total				11231,96

Tabla 24. Resultados del peso del fruto (g).

NE	T ₁			T ₂			T ₃			T ₄			T ₅		
	R ₁	R ²	R ₃	R ₁	R ²	R ₃	R ₁	R ²	R ₃	R ₁	R ²	R ₃	R ₁	R ²	R ₃
1	138,00	155,00	161,00	140,00	153,33	160,00	161,00	188,75	153,00	168,57	153,93	143,75	183,00	176,00	175,00
2	141,90	132,00	139,00	142,50	151,48	155,17	161,88	161,36	194,12	167,05	160,28	164,17	185,00	173,00	175,00
3	160,71	160,29	162,95	160,00	151,73	167,50	168,57	164,42	163,25	171,11	170,67	168,96	180,00	183,86	187,50
4	161,92	155,83	152,22	184,62	177,73	167,92	165,79	138,13	170,45	169,38	180,29	182,00	172,44	176,54	177,16
5	151,25	155,40	145,00	160,00	163,75	167,50	163,75	166,71	158,91	168,64	170,83	181,54	163,09	155,06	165,17
6	145,81	153,06	161,39	162,80	162,11	155,68	161,79	140,91	150,71	174,32	145,68	162,96	160,94	153,11	167,22
7	164,55	161,53	158,62	174,41	163,00	167,14	161,88	148,57	173,67	173,61	178,27	173,45	169,09	171,43	171,90
8	178,06	162,61	162,67	165,00	176,11	178,81	173,33	170,65	167,60	173,95	183,85	178,81	180,25	182,38	158,28

NE = Número de evaluaciones.

Resultados del número de frutos por planta (g).

Tabla 25. Resultados del número de frutos por planta (g).

Número de evaluaciones	T ₁			T ₂			T ₃			T ₄			T ₅		
	R ₁	R ²	R ₃	R ₁	R ²	R ₃	R ₁	R ²	R ₃	R ₁	R ²	R ₃	R ₁	R ²	R ₃
1	48	29	40	36	38	36	45	39	37	46	49	47	39	27	40
2	35	42	27	37	52	54	41	47	42	57	53	55	41	31	26
3	39	42	47	46	47	55	53	51	65	43	55	49	49	47	41
4	38	49	34	38	36	49	44	41	36	41	42	40	68	64	62
5	49	50	66	40	45	59	45	63	71	47	49	53	80	77	83
6	62	61	43	50	44	47	39	36	46	47	47	52	57	62	61
7	47	61	54	59	50	46	49	39	49	43	51	54	58	53	54
8	43	48	40	51	43	46	58	56	50	65	51	46	45	46	54
Promedio/evaluación	45	48	44	45	44	49	47	47	50	49	50	50	55	51	53
Total (12 plantas)	361	382	351	357	355	392	374	372	396	389	397	396	437	407	421
Por planta	30	32	29	30	30	33	31	31	33	32	33	33	36	34	35

Tabla 26. Resultados de la altura de planta (cm).

Clave	Repeticiones			Suma	Promedio
	R ₁	R ²	R ₃		
T ₁	1,76	1,82	1,76	5,33	1,78
T ₂	1,81	1,79	1,81	5,41	1,80
T ₃	1,78	1,85	1,78	5,41	1,80
T ₄	1,82	1,83	1,83	5,48	1,83
T ₅	1,82	1,85	1,84	5,51	1,84

Tabla 27. Resultados del peso del fruto (g).

Clave	Repeticiones			Suma	Promedio
	R ₁	R ²	R ₃		
T ₁	155,27	154,46	155,36	465,10	155,03
T ₂	161,17	162,40	164,97	488,54	162,85
T ₃	164,75	159,94	166,46	491,15	163,72
T ₄	170,83	167,97	169,45	508,26	169,42
T ₅	174,23	171,42	172,15	517,80	172,60

Tabla 28. Resultados del diámetro polar del fruto (cm).

Clave	Repeticiones			Suma	Promedio
	R ₁	R ²	R ₃		
T ₁	49,27	48,44	47,35	145,06	48,35
T ₂	50,54	48,93	47,69	147,15	49,05
T ₃	50,11	49,07	49,04	148,22	49,41
T ₄	49,95	49,61	50,29	149,85	49,95
T ₅	52,04	50,82	52,13	155,00	51,67

Tabla 29. Resultados del diámetro ecuatorial del fruto (cm).

Clave	Repeticiones			Suma	Promedio
	R ₁	R ²	R ₃		
T ₁	62,42	60,06	59,07	181,56	60,52
T ₂	61,12	60,19	60,86	182,16	60,72
T ₃	62,41	61,95	61,86	186,23	62,08
T ₄	62,78	62,32	61,88	186,98	62,33
T ₅	63,13	62,20	61,75	187,08	62,36

Tabla 30. Resultados del pH del fruto.

Clave	Repeticiones			Suma	Promedio
	R ₁	R ²	R ₃		
T ₁	3,65	3,50	3,43	10,58	3,53
T ₂	4,10	3,75	4,14	11,99	4,00
T ₃	3,60	4,30	4,15	12,05	4,02
T ₄	4,55	4,18	4,29	13,02	4,34
T ₅	4,50	4,45	4,45	13,40	4,47

Tabla 31. Resultados de los grados Brix (°Bx) del fruto.

Clave	Repeticiones			Suma	Promedio
	R ₁	R ²	R ₃		
T ₁	4,60	4,00	4,50	13,10	4,37
T ₂	5,00	5,50	6,00	16,50	5,50
T ₃	5,50	5,60	5,50	16,60	5,53
T ₄	6,10	6,00	6,00	18,10	6,03
T ₅	6,00	6,50	6,00	18,50	6,17

Tabla 32. Resultados de la firmeza del fruto (N/cm²).

Clave	Repeticiones			Suma	Promedio
	R ₁	R ²	R ₃		
T ₁	33.35	32.05	37.93	103.33	34.44
T ₂	37.61	42.51	45.32	125.44	41.81
T ₃	42.51	48.07	40.55	131.13	43.71
T ₄	48.07	57.77	57.88	163.72	54.57
T ₅	54.94	54.94	58.27	168.15	56.05

Tabla 33. Resultados del peso de los frutos por planta (kg/planta).

Clave	Repeticiones			Suma	Promedio
	R ₁	R ²	R ₃		
T ₁	4,65	4,93	4,55	14,14	4,71
T ₂	4,83	4,79	5,39	15,01	5,00
T ₃	5,15	4,99	5,47	15,61	5,20
T ₄	5,54	5,56	5,59	16,68	5,56
T ₅	6,28	5,75	6,00	18,03	6,01

Tabla 34. Resultados del rendimiento (t/ha).

Clave	Repeticiones			Suma	Promedio
	R ₁	R ²	R ₃		
T ₁	93,09	98,62	91,02	282,72	94,24
T ₂	96,56	95,76	107,82	300,14	100,05
T ₃	102,96	99,87	109,44	312,27	104,09
T ₄	110,78	111,14	111,72	333,64	111,21
T ₅	125,68	114,94	119,93	360,55	120,18

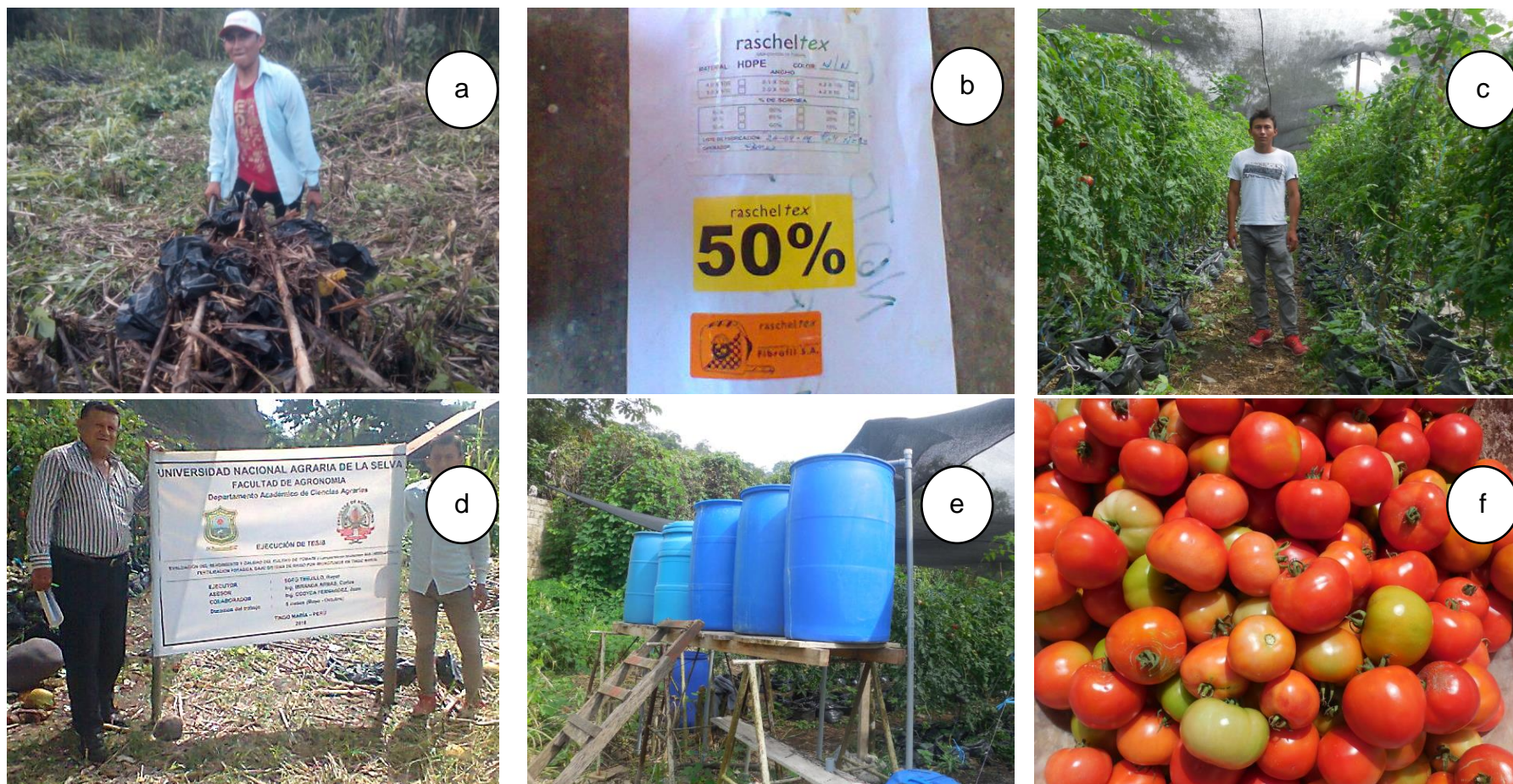


Figura 12. a. Limpieza del invernadero, b. Paquete de la malla Raschel 50 %, c. Plantas de tomate a los cuatro meses después de la siembra, d. Visita del jurado, e. Tanques de soluciones nutritivas, f. Cosecha de los frutos.

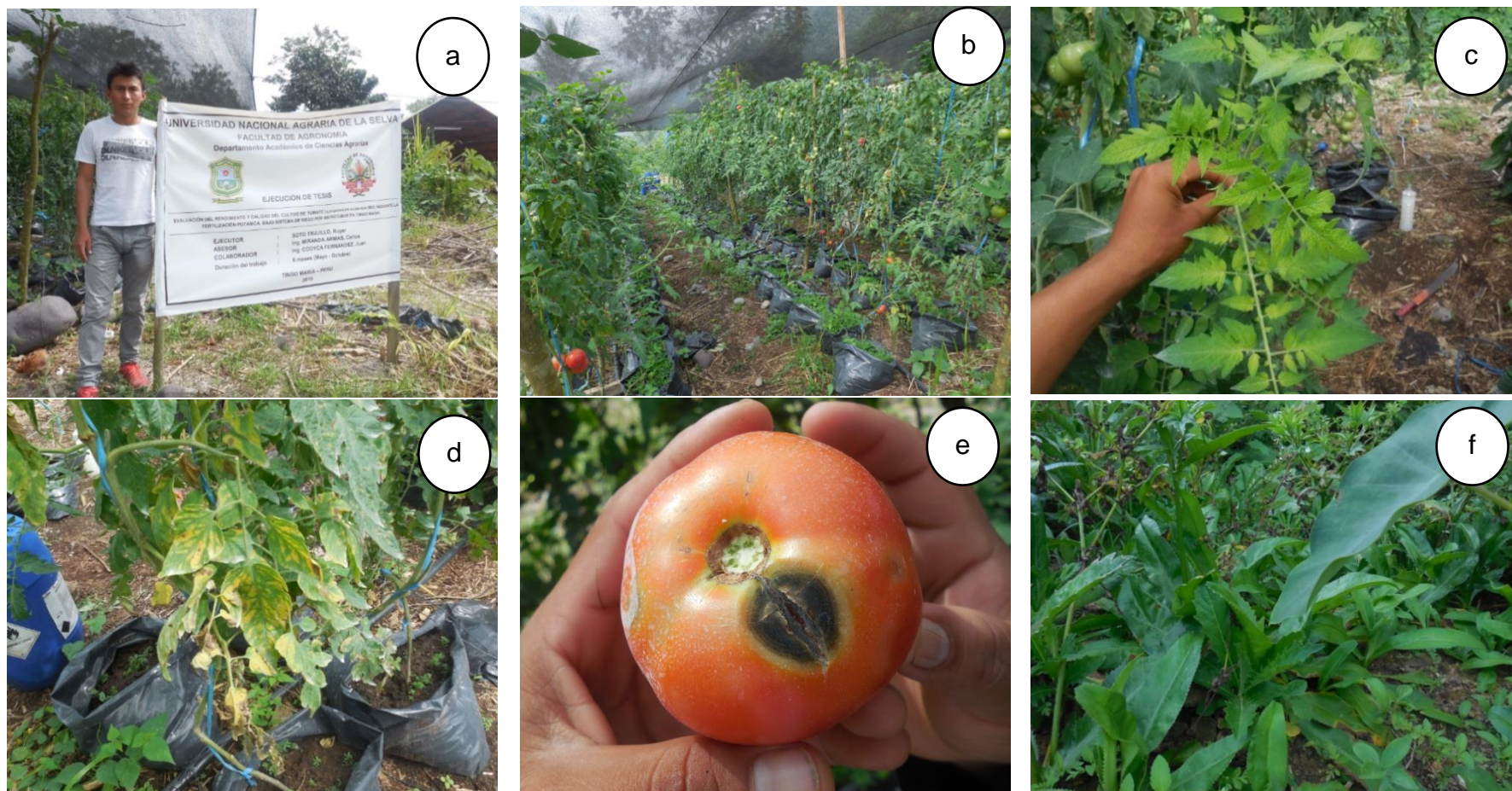


Figura 13 .a. Cartel del título de tesis, b. Producción de frutos a los cuatro meses, c. Problemas con virosis, d. Problemas con deficiencia de magnesio, e. Fruto con *Alternaria solani*, f. Algunas malezas.



Figura 14. Tanques de soluciones nutritivas para el fertirriego.



Figura 15. a. Frutos cosechados, b. Longitud del fruto, c. Peso del fruto, d. Peso de los frutos cosechados, e. Determinación del pH del fruto, f. Determinación del grado °Brix del fruto.

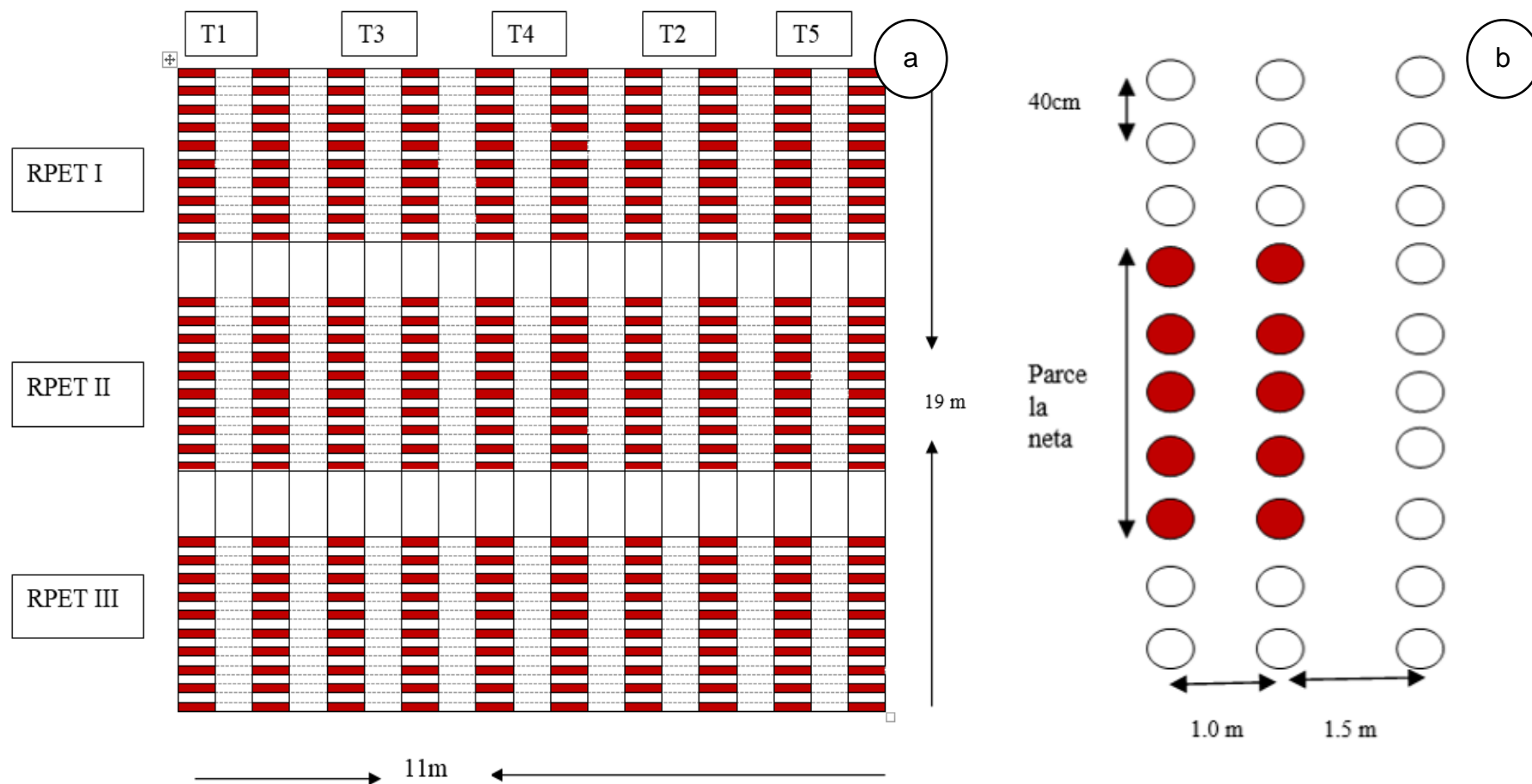


Figura 16. a. Croquis del campo experimental, b. Parcela neta experimental.

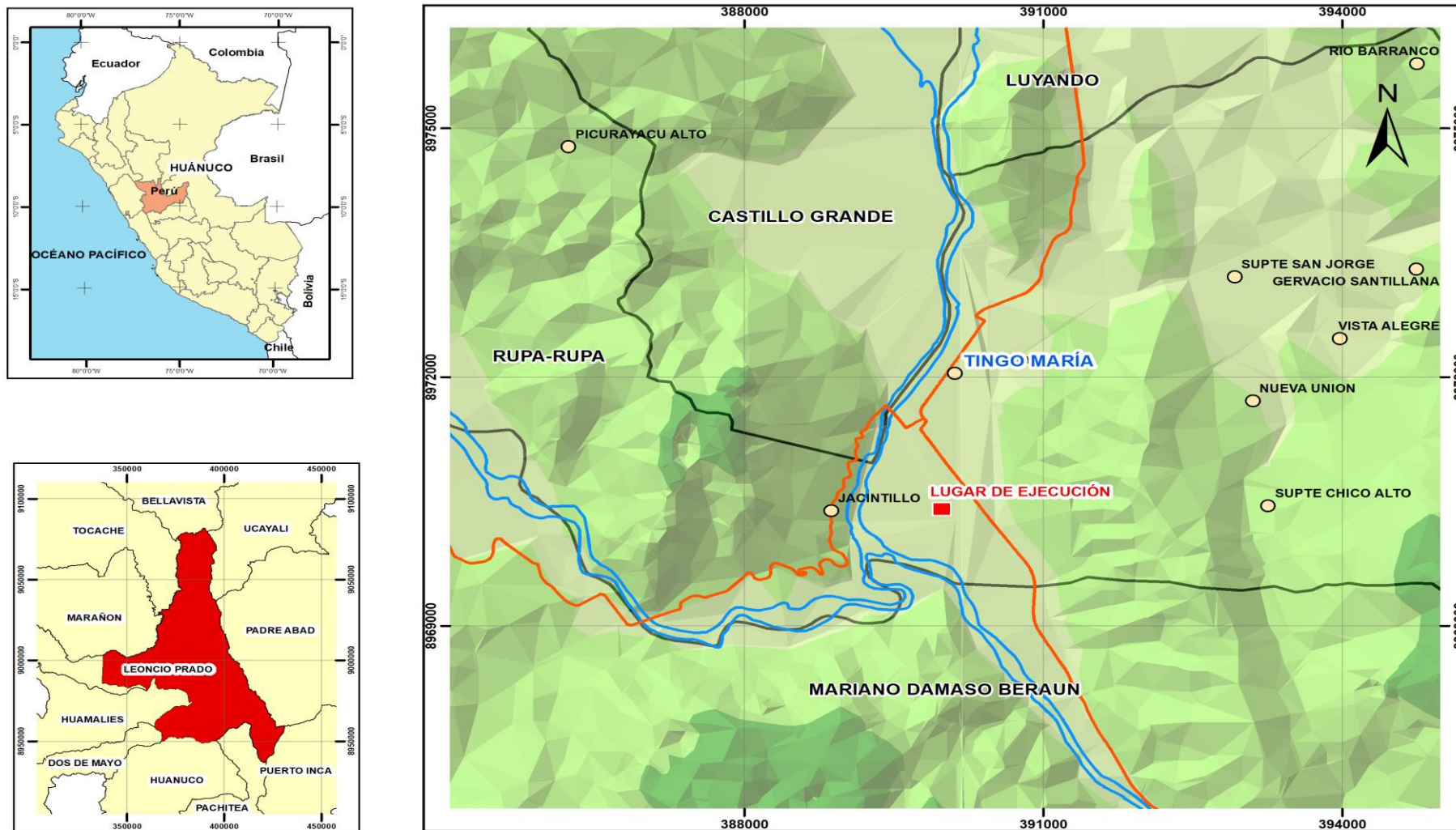


Figura 17. Mapa de ubicación de la investigación.

