



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

**EVALUACIÓN DE FENOLOGÍA Y RENDIMIENTO DE
TOMATE HIDROPÓNICO (*Lycopersicon esculentum* Mill),
BAJO DISTINTAS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN
CLIMA SEMIÁRIDO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Héctor Alexis Méndez Tomalá

La Libertad, 2019



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

**EVALUACIÓN DE FENOLOGÍA Y RENDIMIENTO DE
TOMATE HIDROPÓNICO (*Lycopersicon esculentum* Mill),
BAJO DISTINTAS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN
CLIMA SEMIÁRIDO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

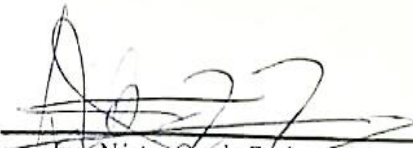
INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Héctor Alexis Méndez Tomalá

Tutor: Rosa Pertierra Lazo, PhD.

La Libertad, 2019

TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Néstor Orjala Borbor, PhD.
**DECANO (E) DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS AGRARIAS**



Ing. Andrés Drouet Candell, PhD.
**DIRECTOR (E) DE CARRERA DE
AGROPECUARÍA**



Ing. Ángel León Mejía, M. Sc.
PROFESOR DEL ÁREA



Ing. Rosa Per tierra Lazo, PhD.
PROFESOR TUTOR



Abg. Victor Coronel Ortiz, Mgt.
SECRETARIO GENERAL

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por el protagonismo principal en los méritos y metas que he conquistado en mi vida, su fidelidad ha sido evidente en todo momento y sin él no fuese posible. Dios me ha permitido vivir en la abundancia al igual que necesidad, me ha guiado en las circunstancias adversas permitiendo la mejor salida en la incertidumbre e indecisión. En pocas palabras, él se ha convertido en mi razón de ser.

A mis padres y mis hermanos por brindarme su apoyo incondicional, fruto del arduo trabajo y consejos se ven reflejados en parte de los logros que he alcanzado.

A las personas que forman parte de mi motivación personal, por creer en mis capacidades y fortalecer mis dificultades, es muy grato destacar el apoyo incondicional en los momentos de victorias y estar presente en las derrotas, sin su afecto a diario el sentido de mi vida fuese poco esplendoroso.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y hacerme acreedor de varios méritos estudiantiles.

A la Dra. Rosa Pertierra Lazo por inculcarme la ética y la responsabilidad en toda actividad que desee emprender. Más que una docente, es una persona que busca despertar el interés del estudiante sobre la materia y proporciona un enfoque en el ámbito profesional. Su aporte fue determinante e innegable durante el desarrollo experimental y literario de esta investigación.

Al docente que labora en esta prestigiosa institución (UPSE), por impartir sus conocimientos, experiencias e inculcarme una visión emprendedora capaz de alcanzar los objetivos planteados.

Héctor Méndez Tomalá

DEDICATORIA

Este esfuerzo está dirigido principalmente a Dios y a mis padres Jacinto Méndez Gavino y Lidia Tomalá Pluas, innegablemente son seres que han estado conmigo en todo momento velando por mi bienestar, han creído en mis capacidades forjando mi camino hacia un futuro prometedor, por ellos tengo la dicha de decir soy un profesional y excelente ser humano.

A mis hermanos Jessenia, William y Elmer Méndez Tomalá por influir positivamente en mi vida personal, me siento orgulloso al tenerlos como hermanos ya que han demostrado su apoyo en todo tiempo.

A mi segunda madre Delia Tomalá Pluas, por hacerme sentir parte de su familia al encontrarme lejos de la mía, ella logró convertirse en pilar fundamental en mi vida y me regocijo saber que transformó mis momentos de grises en una oportunidad para superarme.

Héctor Alexis Méndez Tomalá

RESUMEN

La Provincia de Santa Elena posee gran potencial productivo, sin embargo la degradación de los suelos, el déficit hídrico y aguas de mala calidad cada día es más evidente. La hidroponía representa una alternativa para producción de hortalizas en estas zonas. Se realizó una experimentación que permitió evaluar la fenología y el rendimiento del tomate cultivado en condiciones hidropónicas. El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero con el empleo de tres soluciones nutritivas: (T1) Hoagland/Arnon, (T2) Sonneveld/Voogt, y (T3) Steiner. Se usó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 4 réplicas, las mismas fueron analizadas estadísticamente con un p-valor $\leq 0,05$. El material genético fue el híbrido indeterminado “Pietro” establecido a una densidad de 6,66 plantas m^{-2} , como sustrato se usó una mezcla de 50% cascarilla de arroz + 50% arena fina de río. No existieron diferencias significativas para el rendimiento bruto entre tratamientos, los valores hasta el tercer racimo fueron 1,84, 2,34 y 1,88 kg planta⁻¹ para el T1, T2 y T3, respectivamente. Las cifras para la eficiencia del agua en el periodo completo no mostraron diferencias significativas y fueron de 18,25, 19,35 y 16,43 kg m^{-3} para los tratamientos ya mencionados. En la fenología la solución Sonneveld/Voogt obtuvo mejores resultados al igual que Hoagland/Arnon en algunas variables. Steiner sólo alcanzó cifras elevadas en parámetros evaluados en fruto como pH, porcentaje de materia seca y total de sólidos solubles. En base a los resultados alcanzados se concluye que la formulación Sonneveld y Voogt fue la más adecuada para el cultivo de tomate en la provincia de Santa Elena.

Palabras claves: cultivos sin suelo, sustrato inerte, fertilización

ABSTRACT

The Province of Santa Elena has a great productive potential, however the degradation of soils, water deficits and water of poor quality is every day more evident. The hydroponics represents an alternative for vegetable production in these areas. Experimentation was carried out to evaluate the phenology and the performance of the tomato grown in hydroponic conditions. The experiment was performed under greenhouse conditions with the use of three nutrient solutions: (T1) Hoagland/Arnon, (T2) Sonneveld/Voogt, y (T3) Steiner. We used a completely randomized experimental design (DCA) with 4 replicas, the same were analyzed statistically with a p-value $\leq 0,05$. The genetic material was the undetermined hybrid "Pietro" established at a density of $6,66 \text{ plants m}^{-2}$, as the substrate using a mixture of rice husk 50% + 50% sand of the river. There were no significant differences in performance between treatments, the values until the third cluster bombs were 1,84, 2,34 and 1,88 kg plant^{-1} for T1, T2 and T3, respectively. The figures for water efficiency showed no significant differences and were 18,25, 19,35 and 16,43 kg m^{-3} for the treatments already mentioned. In the phenology the solution Sonneveld/Voogt obtained better results as well as Hoagland/Arnon in some variables. Steiner only reached high figures in parameters evaluated in fruit as pH, percentage of dry matter and total soluble solids. Based on the results it is concluded that the formulation Sonneveld and Voogt was the most suitable for the cultivation of tomato in the province of Santa Elena.

Keywords: cultivation without soil, inert substrate, fertilization

**EL CONTENIDO DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN ESTÁ
BAJO COMPLETA RESPONSABILIDAD DEL AUTOR EN SU
IDEOLOGÍA; EL PATRIMONIO INTELECTUAL DEL MISMO
PERTENECE A LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA
ELENA**

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Problema científico	3
OBJETIVOS	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1.1. Hidroponía	5
1.2. Ventajas y desventajas	6
1.3. Sistemas hidropónicos	6
1.3.1. Sistemas hidropónicos en agua.....	7
1.3.2. Sistema hidropónicos en sustrato inerte	8
1.3.3. Sistema aeropónico.....	8
1.4. Sustratos o medios de cultivo	8
1.4.1. Características de los sustratos	8
1.4.2. Mezclas de sustrato.....	9
1.5. Contenedores	9
1.5.1. Tipos de contenedores	10
1.6. Especies cultivables en hidroponía	10
1.6.1. Hortalizas de hoja	10
1.6.2. Hortalizas de fruto	10
1.7. Soluciones nutritivas.....	11
1.7.1. Nutrientes empleados en las soluciones nutritivas	11
1.7.2. Nutrientes esenciales y su forma de absorción.....	12
1.7.3. Efecto del potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE). 13	
1.7.4. Relación mutua entre aniones y cationes.....	14
1.7.5. Efecto de la Temperatura sobre la concentración de oxígeno	15
1.7.6. Relación nitrato amonio	15
1.8. Soluciones nutritivas utilizadas en cultivos hidropónicos.	16
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODO	19
2.1. Caracterización del sitio experimental.....	19

2.2.	Infraestructura productiva.....	19
2.3.	Características agroquímicas del agua	20
2.4.	Material genético	21
2.5.	Materiales y equipos.	21
2.6.	Diseño experimental	22
2.7.	Delineamiento experimental	22
2.8.	Tratamientos	23
2.9.	Manejo del experimento.....	24
2.9.1.	Trasplante	24
2.9.2.	Sistema de conducción y poda	24
2.9.3.	Manejo de la solución nutritiva	25
2.9.4.	Riego.....	25
2.9.5.	Control fitosanitario.....	25
2.9.6.	Cosecha.....	26
2.10.	Datos experimentales	27
2.10.1.	Mediciones climáticas dentro y fuera del invernadero.....	27
2.10.2.	Características físicas y químicas del sustrato utilizado.....	27
2.10.3.	Consumo de agua y solución nutritiva	28
2.10.4.	Control de parámetros físicos y químicos de la solución fertilizante.....	28
2.10.5.	Análisis químico del drenaje de las soluciones fertilizante.....	29
2.10.6.	Longitud y diámetro de tallo	29
2.10.7.	Longitud del entrenudo.....	29
2.10.8.	Altura de planta al primer racimo.....	29
2.10.9.	Número de hojas por planta y entre racimos	29
2.10.10.	Contenido de nutrientes del follaje.....	30
2.10.11.	Caracterización de flores y frutos	30
2.10.12.	Rendimiento bruto y comercial por planta	30
2.10.13.	Biomasa radicular de las plantas	31
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		32
3.1.	Mediciones climáticas en el invernadero.....	32
3.2.	Porcentaje de retención de humedad del sustrato	36
3.3.	Consumo de agua en el cultivo	37
3.4.	Consumo de solución nutritiva y su frecuencia de reposición.....	40

3.5. Parámetros físico-químicos del drenaje de las soluciones fertilizantes.....	40
3.6. Crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate	52
3.7. Rendimiento bruto y comercial por planta	57
3.8. Características del racimo de la planta de tomate.....	60
3.9. Número de frutos comerciales por planta y categoría	61
3.10. Características físicas y químicas del fruto.....	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
Conclusiones.....	67
Recomendaciones	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recomendaciones de fertilizantes para tomates hidropónicos (perlita, lana de roca y NFT).	11
Tabla 2. Elemento químicos esenciales para las plantas.....	12
Tabla 3. Forma de absorción de los nutrientes esenciales.	13
Tabla 4. Rangos mínimos y máximos de la relación mutua entre aniones y entre cationes con base en el porcentaje respecto al total en la solución fertilizante.	14
Tabla 5. Cantidad de oxígeno disuelto en la SN en función de la temperatura y concentración de cloruro.....	15
Tabla 6. Soluciones nutritivas sugeridas por distintos autores.	17
Tabla 7. Solución nutritiva La Molina.	18
Tabla 8. Solución Nutritiva FAO.....	18
Tabla 9. Características químicas del agua utilizada	21
Tabla 10. Distribución de los grados de libertad	22
Tabla 11. Disposición de tratamientos y repeticiones	23
Tabla 12. Composición química de las soluciones nutritivas empleadas en los tres tratamientos fertilizante.	23
Tabla 13. Fertilizantes y dosificación usados en las soluciones nutritivas para un cultivo de tomate cv. “Pietro” en sustrato inerte	24
Tabla 14. Control fitosanitario con rotación de productos aplicado al cultivo de tomate cv. Pietro cultivado bajo sistema de sustrato inerte entre enero y abril del 2018.	26
Tabla 15. Radiación global media diaria mensual bajo invernadero, medida entre enero y abril del 2018 en la provincia de Santa Elena vs la histórica de Almería.....	36
Tabla 16. Características físicas del sustrato utilizado en el cultivo de tomate cv. Pietro, cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.....	37
Tabla 17. Productividad del agua en el cultivo de tomate cv. Pietro cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	39
Tabla 18. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el diámetro del tallo de la planta de tomate cv. Pietro a los 3, 24 y 66 días después del trasplante cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.....	53
Tabla 19. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el número de hojas de la planta de tomate cv. Pietro a los 3, 24 y 66 días después del trasplante cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.....	54
Tabla 20. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre la altura de planta a los 3, 24 y 66 días después del trasplante y el longitud del entrenudo de tomate cv. Pietro cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	55
Tabla 21. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre la altura de planta al primer racimo, peso fresco y seco y materia seca de la raíz a cosecha del tomate cv. Pietro cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	55

Tabla 22. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre la concentración foliar de nutrientes en plantas de tomate cv. Pietro medido a los 39 DDT, cultivadas entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	57
Tabla 23. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el rendimiento del cultivo de tomate cv. Pietro hasta el tercer racimo, cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	58
Tabla 24. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre las características de los tres primeros racimos de tomate cv. Pietro, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	61
Tabla 25. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre las características físicas y químicas del fruto de tomate cv. Pietro, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	65
Tabla 26. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre la concentración de nutrientes y metales pesados en el fruto de tomate cv. Pietro, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas y medios de cultivos hidropónicos.....	7
Figura 2. Diagrama de Troug ajustado a hidroponía, efecto del pH del sustrato en la disponibilidad de los nutrientes.	14
Figura 3. Componentes de la solución nutritiva separados en solución A, B y C....	25
Figura 4. Temperatura máxima, mínima y media registradas en el interior del invernadero durante el desarrollo del cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	33
Figura 5. Humedad relativa máxima, mínima y media registradas en el interior del invernadero durante el desarrollo del cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	33
Figura 6. Radiación solar registrada a las 8:00 horas durante en desarrollo del cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	35
Figura 7. Radiación solar registrada a las 14:00 horas durante en desarrollo del cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	35
Figura 8. Relación entre el volumen de agua aplicada, consumida y drenada en un cultivo de tomate cv. Pietro realizado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.	38
Figura 9. Agua aplicada y consumo diario de agua por planta de tomate cv. Pietro, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena	40
Figura 10. Dinámica de la conductividad eléctrica en las soluciones fertilizantes...	43
Figura 11. Dinámica del potencial de hidrógeno (pH) en las soluciones fertilizantes.	44
Figura 12. Contenido de bicarbonatos (HCO_3^-) del drenaje de las soluciones fertilizantes al inicio, a los 24 y 38 días después del trasplante, durante un cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril del 2018.	46
Figura 13. Dinámica de la temperatura del estanque de las soluciones fertilizantes durante un cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril del 2018 en la provincia de Santa Elena.	47
Figura 14. Porcentaje de nitrato y amonio respecto del N total de las soluciones fertilizantes al inicio, 24 y 38 Días después del trasplante.	48
Figura 15. Relación mutua entre aniones de las soluciones fertilizantes al inicio, 24 y 38 Días después del trasplante en un cultivo de tomate cv. Pietro en sustrato inerte.	49
Figura 16. Relación mutua entre cationes de las soluciones fertilizantes al inicio, 24 y 38 días después del trasplante (DDT).	51
Figura 17. Elemento químicos no deseados proveniente del agua de riego (potable) al inicio, a los 24 y 38 días después del trasplante en un cultivo de tomate cv. Pietro bajo sistema de sustrato inerte.	52

Figura 18. Causas de pérdida del rendimiento de tomate cv. Pietro hasta la cosecha del tercer racimo, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.....	59
Figura 19. Número y categoría de frutos comerciales por planta cosechados hasta el tercer racimo del híbrido de tomate cv. Pietro, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

- Figura 1 A. Análisis químico de drenaje a los 24 días después del trasplante (Hoagland)
- Figura 2 A. Análisis químico de drenaje a los 38 días después del trasplante (Hoagland)
- Figura 3 A. Análisis químico de drenaje a los 24 días después del trasplante (Sonneveld)
- Figura 4 A. Análisis químico de drenaje a los 38 días después del trasplante (Sonneveld)
- Figura 5 A. Análisis químico de drenaje a los 24 días después del trasplante (Steiner)
- Figura 6 A. Análisis químico de drenaje a los 38 días después del trasplante (Steiner)
- Figura 7 A. Contenido de nutriente del fruto de tomate
- Figura 8 A. Contenido de metales pesados del fruto de tomate
- Figura 9 A. Contenido de nutriente del área foliar del cultivo de tomate
- Figura 10 A. Preparación y acondicionamiento de cajones
- Figura 11 A. Establecimiento del cultivo
- Figura 12 A. Evaluación de datos fenológicos
- Figura 13 A. Visita de maestrantes de la Universidad católica y Almería España
- Figura 14 A. Registro de parámetros químicos de las soluciones fertilizantes
- Figura 15 A. Cosecha
- Figura 16 A. Diagnóstico de plagas y enfermedades
- Figura 17 A. Ataque de plaga (*Prodiplosis logifila*)

INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) a nivel mundial se considera una de las especies de mayor importancia, esto se debe a su valor económico, superficie cultivada y su amplio consumo (Escobar y Lee, 2009). La producción global asciende los 100 millones de toneladas métricas y los principales productores son China, Estados Unidos, Turquía, India, Italia, Irán y Egipto, países que han aportado de manera conjunta el 70% de la producción mundial en los últimos diez años (Mujica *et al.*, 2014).

La producción de tomate en Ecuador posee una producción anual de 62,675 toneladas métricas en 1,970 hectáreas de superficie cultivada, el rendimiento promedio es de 32,07 t ha⁻¹ y entre las principales provincias productoras se encuentra Azuay, Cañar, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Tungurahua, Santo Domingo, Pichincha, Guayas y Manabí (INEC, 2017).

Ortega *et al.* (2010) añade que el cultivo de tomate es una especie de importancia socioeconómica por el incremento de divisas y empleos en diversos países del Sur y Centro América. Según SINAGAP (2016) a nivel nacional la producción de tomate se destina al consumo interno y ha procesos agroindustriales para la obtención de conservas, pastas y salsas, estos subproductos incrementaron 700% su volumen de exportación respecto al 2015 y se considera un rubro de importancia comercial en el país.

Rodríguez *et al.* (2016) mencionan que en la actualidad la demanda del fruto ha presentado un aumento considerable debido al incremento poblacional. Esto ha llevado a cambiar los sistemas de producción con el objetivo de incrementar la productividad mediante el empleo de nuevas tecnologías, entre ellos el uso de invernaderos, riego por goteo y cultivos sin suelo (Ortega *et al.*, 2010).

Según SINAGAP (2016) localmente la mayor producción de tomate se está realizando bajo invernaderos y se encuentra ubicada en las provincias pertenecientes a la serranía Ecuatoriana. El sistema de riego está ampliamente difundido por todo el país mientras que la producción hidropónica solo existen registros en la provincia de Pichincha.

En la provincia de Santa Elena pese a la implementación de sistema de riego el cultivo de tomate ha presentado serios problemas. Actualmente parte de la superficie cultivada ha sido reemplazada por otras especies debido a la susceptibilidad de plagas y enfermedades presentes en la región.

Anexo a estas problemáticas han surgido nuevos desafíos para la producción agrícola, entre ellos se encuentra el bajo potencial de los suelos para producir debido a problemas asociados con la salinidad, contaminación, uso inadecuado, degradación física, química y biológica, etc.

Según Tomalá (2017) en la década anterior la superficie sembrada había ascendido a 23,400 ha, de las cuales el 70% presentó problemas de salinidad y afectó directamente al 34,2% a los productores de la costa. Conjuntamente con estos problemas, el déficit hídrico y aguas de pozo de mala calidad incitan a buscar nuevas alternativas para la producción agrícola.

Frente a estas dificultades los cultivos sin suelos son una alternativa para la producción de alimentos, permite optimizar el recurso hídrico, disminuye la cantidad de fertilizante utilizado, obtiene mayor producción por unidad de superficie y al ser independiente del suelo se evita los problemas sanitarios de enfermedades radiculares (Vázquez *et al.*, 2010).

Las altas temperaturas y escasas precipitaciones son las características climáticas en la provincia de Santa Elena, por ende la implementación de nuevas tecnologías que hagan uso eficiente del recurso hídrico debe ser prioritario. La hidroponía se encuentra direccionada a esta problemática, además permite producir alimentos en condiciones desfavorables y al ser altamente productiva es considerada de mayor rentabilidad para los productores (Vázquez *et al.*, 2010).

López *et al.* (2011) añaden que los cultivos hidropónicos son ideales en climas tropicales, reduce las pérdidas por evaporación, proporciona la cantidad de agua necesaria y permite un óptimo desarrollo del cultivo. Según Guerrero *et al.* (2014) otras ventajas que poseen es el control de los factores ambientales, no presenta problemas por incidencias de arvenses, permite un mejor control fitosanitario, la corrección eficiente de exceso y déficit de nutrientes en mucho más eficiente.

Ortega *et al.* (2010) mencionan que la hidroponía ha logrado un impacto importante en los últimos años, con esta técnica los rendimientos en cultivos de tomate sobrepasan los 5 kg planta⁻¹ y supera considerablemente la producción que se obtienen en campo abierto, los mismo que fluctúan de 1,5 a 2 kg planta⁻¹. En la provincia de Santa Elena existe escasa experiencia en este sistema de producción, por lo cual resulta innovador y necesario explorarlo como una alternativa productiva especialmente por el ahorro del recurso hídrico.

Problema Científico

La Provincia de Santa Elena por su condición de zona semiárida y su permanente déficit hídrico presenta una baja eficiencia productiva y alta incidencia de plagas; esto ha conllevado a buscar nuevas alternativas para la producción agrícola planteándose el siguiente problema:

¿Cuál será la respuesta fenológica y el rendimiento alcanzado por un cultivo de tomate hidropónico sometido a distintas soluciones nutritivas en clima semiárido?

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la fenología y rendimiento del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) cultivado en sistema de sustrato inerte, sometido a distintas soluciones nutritivas bajo clima semiárido.

Objetivos específicos

1. Evaluar la influencia de las variables agroclimáticas en el desarrollo morfológico y productivo del cultivo de tomate cultivado bajo condiciones hidropónicas.
2. Determinar el consumo de agua y la frecuencia de reposición de la solución fertilizante.

Hipótesis

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) se adapta fácilmente a las condiciones de sustrato inerte y es altamente productivo en clima semiárido.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Hidroponía

Según Urrestarazu (2015) la palabra hidroponía proviene del griego hidro “agua” y ponos “trabajo” y significa trabajo en agua, se considera un método para cultivar plantas totalmente aisladas de su ambiente natural. Correa (2009) añade que la terminación hidroponía engloba varios términos, entre ellos cultivo sin suelo, hidropónico, aeropónico, hidrocultivo, etc.

Brenes y Jiménez (2016) definen el término hidroponía como la ciencia del cultivo sin uso de tierra, en esta técnica las plantas se establecen sobre un medio distinto al suelo y pueden ser agua o sustrato, dentro de los sustratos es posible utilizar varios materiales como cascarilla de arroz, grava, carbón, fibra de coco, perlita, piedra volcánica, etc.

La hidroponía al cultivar las plantas sin uso del suelo natural es necesario que los nutrientes esenciales sean suministrados en base a una formulación nutritiva, está debe suplir todos los requerimientos nutricionales garantizando una excelente nutrición y productividad de los cultivos (Bezerra y Paes, 2012).

Cuando se menciona de cultivos hidropónicos se hace referencia al manejo del sistema radicular de las plantas, puesto a que el follaje se maneja igual a la técnica tradicional o campo abierto (Urrestarazu, 2015).

De conformidad con Bezerra y Paes (2012) la hidroponía es ampliamente utilizada en investigaciones relacionadas con la nutrición mineral de las plantas, los excelentes resultados en base a rentabilidad, calidad y productividad de los cultivos han permitido la difusión de esta técnica con fines comerciales.

Según Takahashi *et al.* (2018) existen una diversidad de técnicas o sistemas hidropónicos, estos reciben su clasificación según el manejo de la solución nutritiva, cuando la solución es recolectada y suministrada nuevamente al cultivo se denomina sistema cerrado, pero si no es reutilizada se considera un sistema abierto.

1.2. Ventajas y desventajas

Ventajas

Según Guerrero *et al.* (2014) los cultivos hidropónico poseen varias ventajas respecto al sistema tradicional o campo abierto, entre ellas podemos citar las siguientes:

- Disminuye los problemas sanitarios de enfermedades radiculares, causados por nematodos, hongos, bacterias, etc.
- Permite la producción en suelos sin actitud agrícola.
- Es independiente a los fenómenos agrometeorológicos.
- Permite la producción en distintas épocas del año.
- Ocasiona impactos ambientales no significativos.
- Disminuye el consumo de agua y fertilizante en un 70%.
- Reduce el uso de pesticidas e insumos agrícolas.
- Presenta baja incidencia de plagas.
- Mitiga el uso de maquinarias agrícola.
- Promueve un eficiente manejo del cultivo y asepsia en la producción.
- Requiere menor número de personal en el manejo del cultivo.
- Permite mayor número de plantas por metro cuadrado.
- Obtiene mayor rendimiento por unidad de superficie.
- Acelera la precocidad en cultivo y se obtiene mayor número de cosechas anuales.

Desventajas

De conformidad con Cruz (2016) las desventajas de los cultivos hidropónicos son:

- Costo de producción inicial elevado.
- Requiere altos conocimientos técnicos y teóricos.

1.3. Sistemas hidropónicos

Castañeda (2001) menciona que los sistemas o medios hidropónicos son componentes sustituyentes del suelo, por tanto deben proporcionar un balance adecuado entre el agua y oxígeno, permitir el anclaje y desarrollo radicular en las plantas, mantener la humedad adecuada, disponer de los nutrientes necesario para un óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo, etc.

Según Osaka (1998) hasta la actualmente existen 3 sistemas hidropónicos utilizados para producción a pequeña y gran escala (Figura 1).

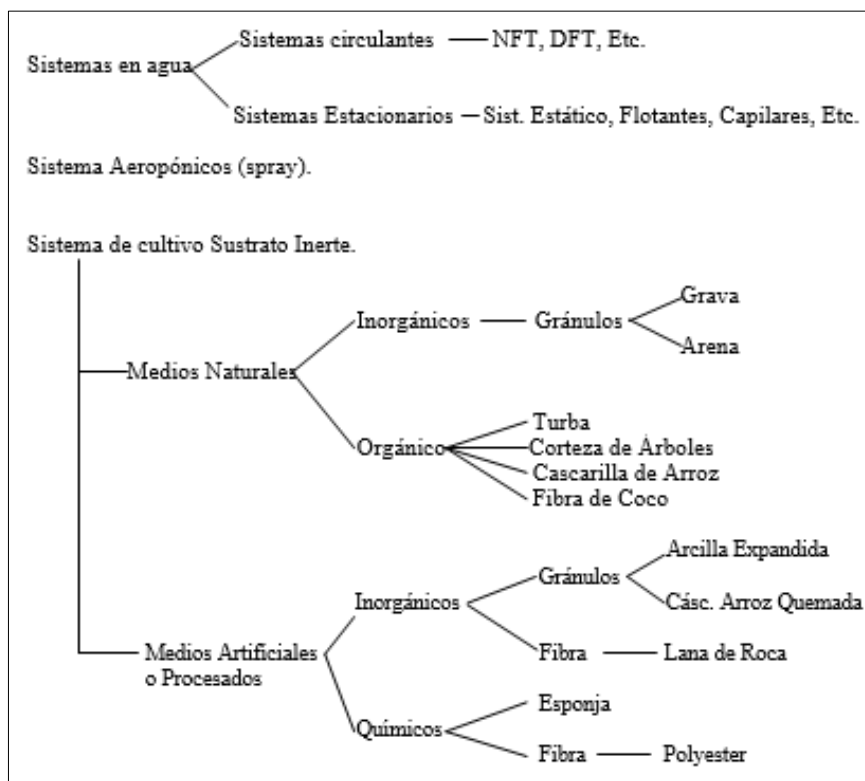


Figura 1. Sistemas y medios de cultivos hidropónicos.
Fuente: Osaka (1998)

1.3.1. Sistemas hidropónicos en agua

En esta técnica las raíces se sumergen total o parcialmente sobre solución fertilizante y debe mantener un adecuado balance entre agua y oxígeno (Urrestarazu, 2015). Dentro de los sistemas en agua más empleados se encuentra el nutrient film technique (NFT) y raíz flotante (Cruz, 2016).

Según Reyes (2009) en el sistema NFT las plantas se establecen sobre una serie de tuberías llamados canales de cultivo. La solución fertilizante debe tener un flujo constante de 3 a 5 mm y no debe producirse pérdida o salida al medio exterior (Brenes y Jiménez, 2016).

En la técnica raíz flotante la solución nutritiva debe tener mínimo 8 cm de altura, generalmente estos sistemas se construyen de madera en forma de piscina la cual deberá estar cubierta de cartón y plástico, sobre ella se encuentra la solución cubierta con una plancha poliestireno (Sánchez *et al.*, 2014).

1.3.2. Sistema hidropónicos en sustrato inerte

De conformidad con Rodríguez (2012) en el cultivo sustrato inerte se utilizan materiales sustituyente del suelo, su principal función es permitir el anclaje a la planta ya que no debe interactuar con los fertilizantes o contribuir a la nutrición, promueve un crecimiento acelerado y vigoroso debido a las condiciones favorables entre humedad y aireación. Bajo este sistema se puede cultivar una diversidad de especies, sin embargo su alto costo de producción determina que sean hortaliza de fruto.

1.3.3. Sistema aeropónico

La aeroponía es el sistema hidropónico más avanzado, las raíces son suspendidas en recipientes herméticos en lugar de sumergirlas en una solución nutritiva o establecerlas sobre un sustrato. El principio se basa en un sistema de nebulización donde los emisores deben tener un caudal de 30 L h⁻¹ distanciados a 0,6 m, las raíces deben mantenerse constantemente húmedas y solo es posible con tiempo y frecuencia de riego cada 3 y 5 minutos respectivamente (Rodríguez, 2012).

1.4. Sustratos o medios de cultivo

Según Ortega *et al.* (2016) el sustrato es utilizado para sustituir el suelo y permite el crecimiento de las plantas. Beltrano y Giménez (2015) añaden que existen una diversidad de materiales útiles para cultivar, entre ellos grava, granito, arena de río, piedra pómez, perlita, escoria de carbón, cascarilla de arroz, aserrín, etc.

1.4.1. Características de los sustratos

Andreau *et al.* (2015) mencionan que un sustrato ideal debe tener las siguientes características:

- Porosidad entre el 20 y 30%.
- Buena capilaridad.
- Capacidad de retención de humedad mínimo del 30%.
- Uniformidad en el tamaño de las partículas y buena estructura.
- Baja densidad aparente y capacidad de intercambio catiónico.
- Buena capacidad amortiguadora (Tampón).
- Baja conductividad eléctrica.

Según La FAO (2003) otras características que deben poseer los sustratos son las siguientes:

- Abundante en la región.
- Accesible y de bajo costo.
- Estéril e inerte.
- Libre de semillas y sustancias tóxicas.
- No ser propenso a descomposición biológica.

1.4.2. Mezclas de sustrato

Peña *et al.* (2013) menciona que la utilización de un material 100% puro difícilmente puede reunir las características deseables para un óptimo desarrollo y producción del cultivo. Por tanto, es necesario hacer mezclas de dos o más materiales y deben realizarse en función de volumen.

Según La FAO (2003) en el caribe y américa latina se han probado varias mezclas de sustratos en más de 30 especies vegetales, los mejores resultados se obtuvieron con las siguientes proporciones:

- 60% cascarilla de arroz y 40% arena de río
- 80% escoria de ladrillo y 20% aserrín.
- 50% cáscara de arroz y 50% escoria de carbón.
- 50% de escoria de carbón y 50% cascarilla de arroz.
- 20% de aserrín y 80% cascarilla de arroz.
- 40% de arena de río y 60% cascarilla de arroz.
- 40% escoria volcánica y 60% cascarilla de arroz.

1.5. Contenedores

Los contenedores sirven para colocar el medio de sostén, tiene relación directa con el espacio disponible para el cultivo y debe albergar entre 5 a 10 kg de sustrato por planta (Barak, 2017).

1.5.1. Tipos de contenedores

Los contenedores pueden fabricarse de manera artesanal, sin embargo en la actualidad existen fabricados (Barak, 2017).

- Bolsas de plástico
- Canaletas de polipropileno
- Cubetas de plástico.
- Contenedores de hielo seco.

1.6. Especies cultivables en hidroponía

En sistemas hidropónicos se pueden cultivar especies vegetales de distintas familias, géneros y especies a excepción de árboles. Beltrano y Giménez (2015) mencionan que los cultivos de mayor interés comercial se clasifican en hortalizas de hojas y frutos.

1.6.1. Hortalizas de hoja

Según Birgi (2015) las hortalizas de hojas son aquellas plantas que su parte comercial es la masa foliar. González *et al.* (2013) añaden que estas especies son recomendadas para los sistemas hidropónicos en agua.

De conformidad con Environment (2014) algunas especies que presentan mayor rentabilidad cultivadas bajo condiciones hidropónicas son la acelgas (*Beta vulgaris* L), alcachofas (*Cynara scolymus*), brócoli (*Brassica oleracea*), coliflor (*Brassica oleracea var. botrytis*), repollo (*Brassica oleracea var. capitata*), lechuga (*Lactuca sativa*), albahaca (*Ocimum basilicum*), cilantro (*Coriandrum sativum*), apio (*Apium graveolens*), etc.

1.6.2. Hortalizas de fruto

Sánchez *et al.* (2014) mencionan que estas especies son aquellas que su parte comercial es un fruto y se recomienda para cultivos hidropónicos en sustrato inerte. Según Environment (2014) dentro de los cultivos de mayor interés comercial se encuentra el tomate (*Solanum lycopersicum*), pimiento (*Capsicum annuum*), melón (*Cucumis melo*), pepino (*Cucumis sativus*), fresas (*Fragaria ananassa*), platano (*Musa paradisiaca*), zanahoria (*Daucus carota*), papaya (*Carica papaya*), etc.

1.7. Soluciones nutritivas

Según Beltrano y Giménez (2015) la solución nutritiva provee los nutrientes necesarios a la planta durante todo el ciclo del cultivo, en su formulación química debe contener los 16 elementos esenciales con el objeto de suplir las necesidades nutricionales según la especie y etapa fenológica (Tabla 1).

Lara (1999) añade que la solución nutritiva debe proporcionar agua, oxígeno y los nutrientes necesarios en forma iónica. A esta disolución, es posible añadir compuestos orgánicos como quelatos de hierro y otros nutrimentos que puedan estar presentes, la formulación puede variar de una especie a otra ya que cada cultivo requiere una solución nutritiva con características específicas.

Tabla 1. Recomendaciones de fertilizantes para tomates hidropónicos (perlita, lana de roca y NFT).

Nutrientes	Trasplante al 1er racimo	1er racimo al 2do racimo	2do racimo al 3er racimo	3er racimo al 5to racimo	5to racimo a terminación
----- Concentración de solución nutritiva final entregada (ppm) ^z -----					
N	70,00	80,00	100,00	120,00	150,00
P	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
K	120,00	120,00	150,00	150,00	200,00
Ca	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Mg	40,00	40,00	40,00	50,00	50,00
S	50,00	50,00	50,00	60,00	60,00
Fe	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
Cu	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Mn	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Zn	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
B	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Mo	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Nota: 1ppm = 1mg l ⁻¹					

Fuente: Hochmuth y Hochmuth (2015).

1.7.1. Nutrientes empleados en las soluciones nutritivas

Según Navarro (2003) hasta el momento se ha demostrado que los elementos esenciales para todas las plantas son 16 y se agregan 4 sólo para algunas especies, el rubidio,

estroncio, aluminio y bario no son considerados esenciales pero son beneficiosos en determinados cultivos (Tabla 2).

Tabla 2. Elemento químicos esenciales para las plantas.

Nutrientes esenciales para las plantas			
Para todas las especies		Para algunas	
En cantidades relativamente grandes		En cantidades relativamente pequeñas	En cantidades relativamente pequeñas
Extraídos por lo general del aire, en forma de CO ₂ , o del agua del suelo	De los sólidos del suelo	De los sólidos del suelo	De los sólidos del suelo
1. Carbono 2. Hidrógeno 3. Oxígeno	4. Nitrógeno 5. Fósforo 6. Potasio 7. Calcio 8. Magnesio 9. Azufre	10. Hierro 11. Manganeseo 12. Boro 13. Molibdeno 14. Cobre 15. Zinc 16. Cloro	17. Sodio 18. Silicio 19. Cobalto 20. Vanadio

Fuente: Navarro (2003).

1.7.2. Nutrientes esenciales y su forma de absorción

Beltrano y Giménez (2015) mencionan que los macro y micro nutrientes presentes en la solución nutritiva deben estar en forma simple (iones), esto garantizará una eficiente asimilación por parte del cultivo (Tabla 3).

Tabla 3. Forma de absorción de los nutrientes esenciales.

Elemento	Símbolo	Forma de absorción
Carbono	C	CO ₂
Hidrógeno	H	H ₂ O
Oxígeno	O	H ₂ O, O ₂
Nitrógeno	N	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ HPO ₄ ²⁻
Potasio	K	K ⁺
Calcio	Ca	Ca ²⁺
Magnesio	Mg	Mg ²⁺
Azufre	S	SO ₄ ²⁻
Hierro	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
Zinc	Zn	Zn ²⁺ , Zn(OH) ₂ ⁰
Manganeso	Mn	Mn ²⁺
Cobre	Cu	Cu ²⁺
Boro	B	B(OH) ₃ ⁰
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁺
Cloro	Cl	Cl ⁻
Silicio	Si	Si(OH) ₄ ⁰
Sodio	Na	Na ⁺
Cobalto	Co	Co ²⁺
Vanadio	V	V ⁺

Fuente: Favela *et al*, (2006).

1.7.3. Efecto del potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica y el pH de la solución nutritiva están estrechamente relacionados con la nutrición de las plantas, cuando los niveles de salinidad superan el valor requerido se provoca un desbalance en la asimilación de los nutrientes y reduce el rendimiento del cultivo (Lara, 1999).

Según Urrestarazu (2004) el pH determina la disponibilidad de los nutrientes. Santos y Ríos (2016) mencionan que la mayor disponibilidad de nutrientes para cultivos hidropónico en sustratos inerte se encuentra en un pH de 5,5 a 6,5 (Figura 2) lado izquierda (sustrato), en suelo natural este valor es más elevado de 6,2 a 6,9, para la solución nutritiva debe estar entre 5,5 a 6,0 y en fertirriego de 6,5 a 7,0.

Putra y Yuliando (2015) recomiendan que la CE y pH de la SN en el cultivo de tomate, deben oscilar entre 1,6 a 2,6 dS m⁻¹ y 5,5 a 6,0 respectivamente.

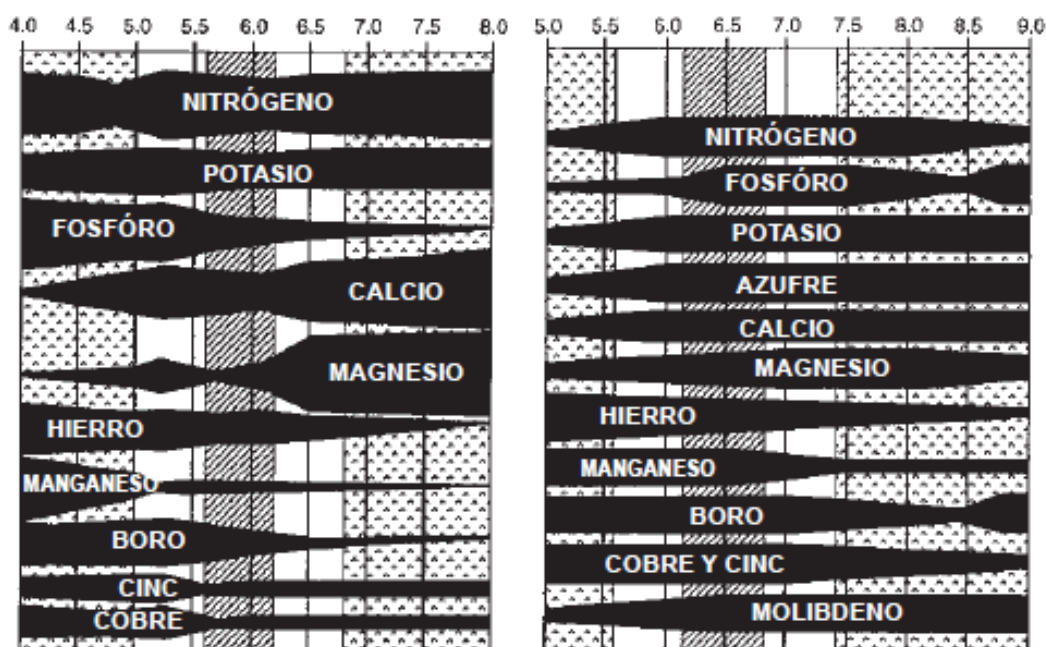


Figura 2. Diagrama de Troug ajustado a hidroponía, efecto del pH del suelo y sustrato en la disponibilidad de los nutrientes.

Fuente: Santos y Ríos (2016).

1.7.4. Relación mutua entre aniones y cationes

En la absorción de los nutrientes las plantas toman la misma cantidad de cationes como aniones. Por tanto, una inadecuada relación entre estos iones pueden disminuir considerablemente la producción. Según Lara (1999) la importancia de un ion respecto a otro es la relación que guardan, a su vez la relación iónica ideal depende de la etapa fenológica y el tipo de cultivo (Tabla 4).

Tabla 4. Rangos mínimos y máximos de la relación mutua entre aniones y entre cationes con base en el porcentaje respecto al total en la solución fertilizante.

Autor	% sobre el total de Aniones				% sobre el total de Cationes				
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺
Favela <i>et al</i> (2006)	20-80	1,25-10	10-70		10-65	22,5-62,5	0,5-40	0-15	
Steiner (1996) citado por Santos y Ríos (2016)	35-65	3-12	25-45	0-15	25-45	35-55	17-23		0-15

1.7.5. Efecto de la Temperatura sobre la concentración de oxígeno

En la mayoría de las especies cultivadas bajo condiciones hidropónicas la temperatura óptima de la solución nutritiva debe estar cercana a 22 °C, cuando el valor no es el adecuado la absorción y asimilación de los nutrientes se ve afectado (Favela *et al.*, 2006). Los elevados niveles térmico también influye en la baja disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua. Urrestarazu (2004) añade que la concentración oxígeno disminuye cuando la temperatura y el contenido de cloruros aumentan (Tabla 5).

Tabla 5. Cantidad de oxígeno disuelto en la SN en función de la temperatura y concentración de cloruro.

Temperatura de la disolución °C	Concentración de cloruro en el agua mg L ⁻¹					Diferencia cada 100g de cloruro
	0	5,000	10,000	15,000	20,000	
	Oxígeno disuelto en mg l ⁻¹					
15	10,20	9,70	9,10	8,60	8,10	0,010
16	10,00	9,50	9,00	8,50	8,00	0,010
17	9,70	9,30	8,80	8,30	7,80	0,010
18	9,50	9,10	8,60	8,20	7,70	0,009
19	9,40	8,90	8,50	8,00	7,60	0,009
20	9,20	8,70	8,30	7,90	7,40	0,009
21	9,00	8,60	8,10	7,70	7,30	0,009
22	8,80	8,40	8,00	7,60	7,10	0,008
23	8,70	8,30	7,90	7,40	7,00	0,008
24	8,50	8,10	7,70	7,30	6,90	0,008
25	8,40	8,00	7,60	7,20	6,70	0,008
26	8,20	7,80	7,40	7,00	6,60	0,008
27	8,10	7,70	7,30	6,90	6,50	0,008
28	7,90	7,50	7,10	6,80	6,40	0,008
29	7,80	7,40	7,00	6,60	6,30	0,008
30	7,60	7,30	6,90	6,50	6,10	0,008

Fuente: Urrestarazu (2004)

Cuando los niveles de oxígeno descienden por debajo de los 3 a 4 mg L⁻¹ el crecimiento radicular disminuye presentando una coloración parda en las raíces (Urrestarazu, 2004). La baja permeabilidad del sistema radicular también se ve afectada, esto reduce la absorción de agua y nutrientes lo que influye directamente en el rendimiento de los cultivos (Urrestarazu y Mazuela, 2005).

1.7.6. Relación nitrato amonio

Lara (1999) menciona que la relación NO₃⁻/NH₄⁺ interviene en la calidad del fruto y producción del cultivo. Para garantizar una adecuada nutrición los niveles óptimos de N-NH₄⁺ debe ser menor al 20% respecto al nitrógeno total y la diferencia se suministra

en forma de nitrato. La asimilación del ion amonio depende de la luminosidad y etapa fenológica, por ende se recomienda que en fase vegetativa sea más concentrada y debe disminuir al entrar a fase reproductiva.

1.8. Soluciones nutritivas utilizadas en cultivos hidropónicos.

Actualmente existe una diversidad de soluciones nutritivas empleadas en cultivos hidropónicos (Tablas 6, 7 y 8). La eficiencia en su utilidad está en dependencia de las condiciones ambientales. Urrestarazu (2004) añade que los cambios de ambiente de climas fríos a cálidos generan modificaciones en la composición química y requiere una concentración más diluida. Los cambios fenológicos del cultivo también pueden exigir mayor o menor demanda de uno o más nutrientes.

Tabla 6. Soluciones nutritivas sugeridas por distintos autores.

mmol L⁻¹	Hoagland y Arnon (1938)	Cooper (1978)	Verwer (1986)	Graves (1983)	Sonneveld Voogt (1985)	STEINER (1984)	SONNEVELD (1986)	Mavrogiannopolus PAPADAKIS (1987)	DAY (1991)
N	15,00	12,50	12,30	12,50	10,70-17,00	12,00	12,00	13,00	9,00-15,00
P	1,00	2,00	1,25	1,60	0,95-1,45	1,00	1,50	1,00	1,00
K	6,00	5,00	7,10	10,00	7,60-12,70	7,00	7,50	7,00	7,50
Ca	4,00	5,00	4,25	5,60	3,75-7,50	4,50	3,75	4,00	3,75
Mg	2,00	1,80	1,00	2,00	1,60-2,00	2,00	1,00	1,25	1,50
S	2,00	1,70	3,30	-	-	3,50	-	-	-
mg/L									
Fe	2,50	1,50	1,70	3,00	3,00-6,00	1,33	0,56	3,50	2,00
Mn	0,50	0,50	1,10	1,00	0,50-1,00	0,62	0,55	1,00	0,75
Cu	0,02	0,10	0,017	0,10	0,10	0,02	0,03	0,02	0,10
Zn	0,05	0,30	0,25	0,10	0,10	0,11	0,46	0,50	0,50
B	0,50	0,50	0,35	0,40	0,30-0,40	0,44	0,22	0,30	0,40
Mo	0,01	0,05	0,058	0,05	0,05	0,049	0,05	0,05	0,05

Fuente: Beltrano y Giménez (2015).

Tabla 7. Solución nutritiva La Molina.

Solución Concentrada A: (para 5,0 litros de agua, volumen final)	Cantidad
Nitrato de amonio	350 g
Superfosfato triple	180 g
Nitrato de potasio	550 g
Solución Concentrada B: (para 2,0 litros de agua, volumen final)	Cantidad
Sulfato de magnesio	220 g
Quelato de hierro 6% Fe	17 g
Solución de Micronutrientes	400 ml
Solución Micronutrientes: (para 1,0 litros de agua destilada o hervida)	Cantidad
Sulfato de Manganeso	5 g
Ácido Bórico	3 g
Sulfato de Zinc	1,7 g
Sulfato de Cobre	1 g

Fuente: Universidad Nacional Agraria La Molina (2013).

Tabla 8. Solución Nutritiva FAO.

Solución Concentrada A: (para 10 litros de agua, volumen final)	Cantidad
Fosfato Mono Amónico	340 g
Nitrato de Calcio	2080 g
Nitrato de Potasio	1100 g
Solución Concentrada B: (para 4 litros de agua, volumen final)	Cantidad
Sulfato de Magnesio	492 g
Sulfato de Cobre	0,48 g
Sulfato de Manganeso	2,48 g
Sulfato de Zinc	1,20 g
Ácido Bórico	6,20 g
Molibdato de Amonio	0,02 g
Quelato de Hierro	50 g

Fuente: FAO (2003).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Caracterización del sitio experimental

El trabajo de investigación se realizó en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena en las instalaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), entre los meses de enero a abril del 2018. La ubicación geográfica del lugar es la siguiente: (INAMHI, 2017)

Coordenada	WS6584
Latitud sur	2° 13' 56"
Longitud oeste	80° 52' 30"
Altitud	44 msnm
Ubicación referencial	Avda. principal La Libertad – Santa Elena, La Libertad

Dentro de la clasificación climática la provincia de Santa Elena posee un clima semiárido, las precipitaciones anuales son de 200 mm, humedad relativa de 81,6% y la temperatura ambiental de 24,5 °C. Los datos climáticos son obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2017), estación situada en UPSE y son promedios de los últimos 10 años.

2.2. Infraestructura productiva

El trabajo de investigación se realizó en un invernadero de fierro galvanizado de 20 m de largo, 10 m de ancho y 4 m de alto, la cubierta del techo fue de polietileno UV/IR calibre 6, paredes laterales y frontales cubiertas con malla blanca de 50% sombreo.

Para definir la unidad experimental (UE) se construyeron cajones de madera 1,5 m² (1 m x 1,5 m) y de 0,2 m de alto. El área efectiva de la UE fue de 5 m² donde se incluyó el espaciamiento entre cajones, cada ejemplar poseía 0,5 m de distancia para cada lado. Se cubrió toda la superficie del cajón con cartón y polietileno para evitar pérdida de la solución fertilizante durante el riego, en un extremo de la UE se realizó un orificio de media pulgada, esta perforación permitió incorporar un tubo de PVC con rosca hermética el cual sirvió de canal para recolectar el lixiviado de las soluciones fertilizantes (drenaje). Los cajones se establecieron a nivel superficial con 0% de

pendiente y se realizó una perforación en el suelo donde se recolectó los drenajes en recipientes de 3 litros.

En la unidad experimental se colocó una llave de paso y un tapón de rosca, esto serviría para extraer el sedimento de las tuberías durante el mantenimiento del sistema. Sobre cada UE se incorporó una manguera flex con 5 salidas de 0,5 pulgadas, en el cual se conectaron las cintas de riego con emisores de $0,96 \text{ L h}^{-1}$ de caudal.

Las distintas soluciones fertilizantes fueron suministradas desde unos estanques de 500 litros de capacidad, fueron propulsadas por una bomba sumergible de 0,5 HP mediante una red de tuberías de PVC de 32 mm y $\frac{3}{4}$ de pulgada. Cada tratamiento poseía su propio estanque y bomba sumergible, la misma que fue necesario incorporar una válvula cheque y filtro de maya. El encendido y apagado de las bombas fue automático y se realizó por medio de electroválvulas las cuales recibían órdenes de un programador de riego.

Para el sustrato inerte se usó una mezcla de cascarilla de arroz y arena de río en relación de volumen y proporción de 1:1, la cantidad de sustrato utilizado por unidad experimental fue 225 litros ya que solo se llenó hasta los 15 cm de altura, esto equivalente a $22,5 \text{ L planta}^{-1}$.

2.3. Características agroquímicas del agua

Como solvente para las soluciones nutritivas se usó agua potable que distribuye AGUAPEN en la provincia de Santa Elena, previo a la formulación fue necesario realizar un análisis de agua en el laboratorio INIAP-Pichilingue, la misma presentó baja salinidad y se considera apta para el riego y fertirriego, posee contenidos de nutrientes menores a las necesidades del cultivo, el pH puede dificultar la disponibilidad de nutrientes mientras que los niveles de sodio, cloruros y bicarbonatos son adecuados (Tabla 9).

Tabla 9. Características químicas del agua utilizada

Parámetro	Contenido	Interpretación
CE	0,23 dS m ⁻¹	Sin restricción en el uso
TSD	104 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
Ca	23 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
Mg	7,8 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
Na	6,9 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
K	7,02 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
CO ³	0,0 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
HCO ₃	53,70 mg l ⁻¹	Restricción en el uso
Cl	45,5 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
SO ₄	2,50 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
NO ₃	0,0 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
Fe	0,03 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
B	0,08 mg l ⁻¹	Sin restricción en el uso
pH	7,2	Restricción en el uso
RAS	0,32 (meq/l) ^{1/2}	Sin restricción en el uso
Dureza	90 mg l ⁻¹	Blanda

Fuente: Laboratorio INIAP-Pichilingue, (2016).

2.4. Material genético

Se usó el híbrido indeterminado “Pietro”, esta variedad posee gran adaptabilidad a diferentes zonas y épocas del año, el tiempo a cosecha es de 100 días con pesos de 230 a 250 g y de 5 a 7 frutos por racimo. Respecto a la calidad produce frutos grandes de excelente vida postcosecha, color rojo intenso, planta vigorosa con buena cobertura vegetal y entrenudos cortos, posee tolerancia a ToMV, *Verticilium*, *Fusarium oxysporum*, *Stemphylium sp* y Nemátodos (ALASKA, 2019)

2.5. Materiales y equipos.

- Flexómetro
- Calibrador Vernier
- Laptop
- Balanza digital (BOECO BWL 61)
- Medidor de pH (Milwaukee Ph55)
- Medidor de CE (OAKTON ECTester11)
- Refractómetro

- Programador de riego (GALCON)
- Bomba sumergible (Pedrollo Top II de 0,5 HP)
- Estufa (MEMMERT SF 110 Plus)
- Luxómetro
- Termohigrómetro (BOE327)

2.6. Diseño experimental

El ensayo se desarrolló bajo un diseño experimental Completamente al Azar (DCA) y consistió en la utilización de 3 tratamientos en la forma de soluciones nutritivas con 4 repeticiones (Tabla 11). Los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete estadístico Infostat versión estudiantil 2018, evaluando los supuestos de análisis de varianza para cada variable: aleatoriedad, normalidad y homocedasticidad. Se aplicaron los test con un 95% de grados de confianza, se utilizó la prueba de Kruskal Wallis para las variables no paramétricas y prueba de F para las paramétricas. En el primer caso se graficaron los resultados con el método de caja de bigotes según Boyer et al. (1997). La distribución de los grados de libertad se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Distribución de los grados de libertad

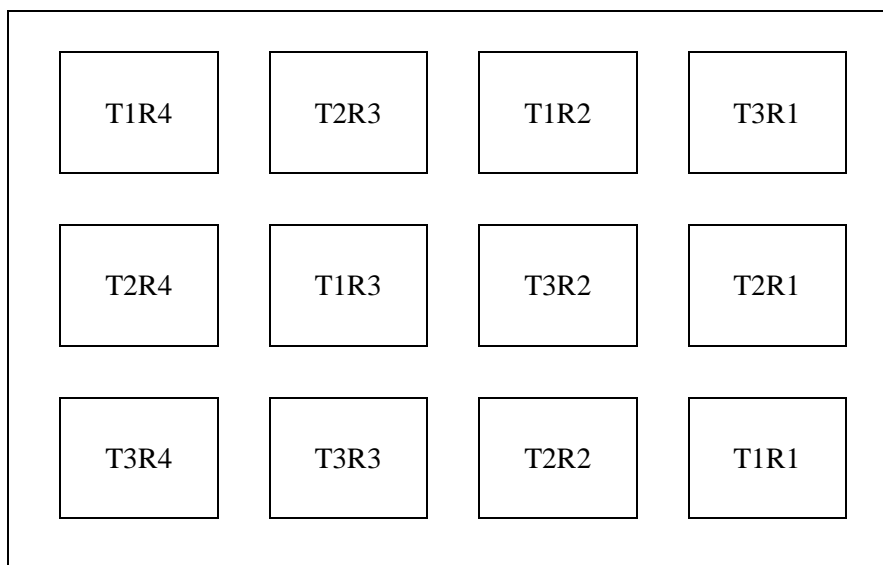
Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	2
Error	9
Total	11

2.7. Delineamiento experimental

- | | |
|-----------------------------------|--------------------|
| a. Diseño experimental | DCA |
| b. Número de tratamientos | 3 |
| c. Número de repeticiones | 4 |
| d. Número total de parcelas | 12 |
| e. Área total de la parcela 1,5x1 | 1,5 m ² |
| f. Área de camino en cada parcela | 3,5 m ² |
| g. Área efectiva de la parcela | 5 m ² |
| h. Distancia de siembra | 0,55 m x 0,3 m |
| i. Número de plantas por sitio | 1 |

- j. Número de plantas por parcela 10
 k. Número de plantas experimento 120

Tabla 11. Disposición de tratamientos y repeticiones



2.8. Tratamientos

Los tratamientos consistieron en el empleo de tres soluciones nutritivas: Hoagland/Arnon (T1), Sonneveld/Voogt (T2), y Steiner (T3). Las composiciones químicas de las soluciones, ajustadas según el contenido de sales del agua de riego, se muestran en la Tabla 12 y 13.

Tabla 12. Composición química de las soluciones nutritivas empleadas en los tres tratamientos fertilizante.

Formulación de Soluciones nutritivas	Elementos químicos (mMol L ⁻¹)									
	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺⁺
Requerimiento Hoagland	15,00	2,00	1,00	0,00	0,00	4,00	2,00	6,00	0,00	1,00
Agua de riego	0,00	0,05	0,00	0,88	1,28	1,15	0,65	0,18	0,30	0,00
Aporte Real	15,00	1,94	1,00	0,37	1,28	2,85	1,35	5,82	0,30	1,00
Requerimiento Sonneveld	11,00	0,00	1,45	0,00	0,00	4,00	2,00	8,00	0,00	0,50
Agua de riego	0,00	0,05	0,00	0,88	1,28	1,15	0,65	0,18	0,30	0,00
Aporte Real	11,00	0,05	1,45	0,17	1,28	2,85	1,35	7,82	0,30	0,00
Requerimiento Steiner	12,00	3,50	1,00	0,00	0,00	4,50	2,00	7,00	0,00	1,00
Agua de riego	0,00	0,05	0,00	0,88	1,28	1,15	0,65	0,18	0,30	0,00
Aporte Real	12,00	3,448	1,00	0,17	1,28	3,35	1,35	6,82	0,30	1,00

Tabla 13. Fertilizantes y dosificación usados en las soluciones nutritivas para un cultivo de tomate cv. “Pietro” en sustrato inerte: (T1) Hoagland/Arnon, (T2) Sonneveld/Voogt, (T3) Steiner

Fertilizantes		Solución nutritiva		
		Hoagland	Sonneveld	Steiner
H ₃ PO ₄	cc L ⁻¹	0,012	0,016	0,016
KNO ₃	g L ⁻¹	0,789	0,607	0,202
Ca(NO ₃) ₂	g L ⁻¹	0,673	0,673	0,791
(NH ₄)(NO ₃)	g L ⁻¹	0,040	0,000	0,040
K ₂ SO ₄	g L ⁻¹	0,000	0,000	0,436
MgSO ₄	g L ⁻¹	0,332	0,162	0,060
NH ₄ HPO ₄	g L ⁻¹	0,057	0,000	0,034
KH ₂ PO ₄	g L ⁻¹	0,000	0,204	0,000
Mg(NO ₃) ₂	g L ⁻¹	0,000	0,000	0,333
Quelato Fe	mg L ⁻¹	2,470	4,470	1,300
Sulfato Mn	mg L ⁻¹	0,500	0,750	0,620
Sulfato Cu	mg L ⁻¹	0,020	0,100	0,020
Sulfato Zn	mg L ⁻¹	0,050	0,100	0,110
Ácido Bórico	mg L ⁻¹	0,420	0,270	0,360
Molibdato de sodio	mg L ⁻¹	0,010	0,050	0,049

2.9. Manejo del experimento

2.9.1. Trasplante

Las plántulas fueron adquiridas desde una empresa en Manabí y el trasplante se realizó cuando presentaron 3 hojas en un hoyo de 10 cm de profundidad, la densidad de siembra fue 6,66 plantas m⁻² y fueron establecidas a 0,55 m entre hileras y 0,3 m sobre la hilera, bajo este espaciamiento se obtuvo una población de 10 plantas por unidad experimental.

2.9.2. Sistema de conducción y poda

Las plantas de tomate se condujeron a 1 eje mientras que las podas de hojas se realizaron bajo el primer racimo y después de la cosecha de cada piso. También se extrajeron los chupones cuando presentaron 5 cm de tamaño y se despuntaron las plantas a los 66 día después del trasplante por un severo ataque de *Prodiplosis longifila* (negrita).

2.9.3. Manejo de la solución nutritiva

Cada tratamiento fue preparado en soluciones madres 100 veces concentrada y fueron colocados en 3 recipientes con distintos componentes (Figura 3).

Este proceso se realizó para evitar interacción antagónica entre compuestos. Las soluciones concentradas se usaron en proporción de 1:100 y su formulación se efectuó en base a los requerimientos nutricionales del cultivo y el aporte de nutrientes del agua de riego.

Solución A: macronutrientes. Solución B: micronutrientes. Solución C: Nitrato de calcio

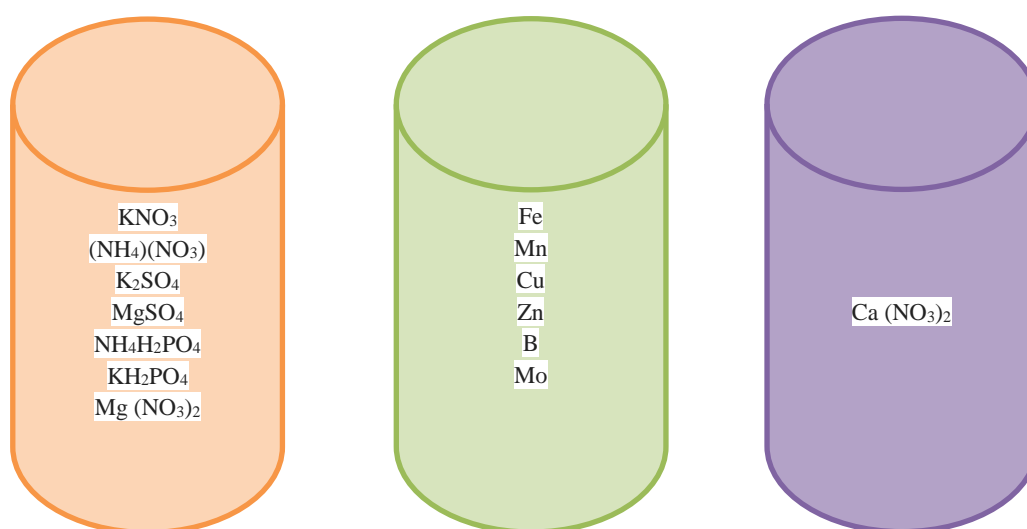


Figura 3. Componentes de la solución nutritiva separados en solución A, B y C.

2.9.4. Riego

En la etapa vegetativa del cultivo se utilizaron 3 riegos diarios con un tiempo de 8 minutos cada uno, mientras que en la etapa reproductiva el suministro diario se realizó en 4 ciclos de riego con tiempos de hasta 18 minutos y se incrementó hasta 27 durante el cuaje y llenado de cada racimo, según la demanda climática. El caudal del gotero fue de $0,96 \text{ L h}^{-1}$ con un total de 15 emisores por unidad experimental.

2.9.5. Control fitosanitario

Durante el ensayo se visualizó la presencia de plagas como mosca blanca (*Bemisia tabaci*), negrita (*Prodiplosis logifila*) y polilla del tomate (*Tuta absoluta*). Las enfermedades diagnosticadas fueron oídio (*Leveillula taurica*), tizón temprano

(*Alternaria solani*), podredumbre gris (*Botrytis cinerea*), verticilosis (*Verticillium dahliae*) y virosis. El control sanitario aplicado se visualiza en la Tabla 14.

La incidencia de maleza fue nula ya que la cascarilla de arroz no contuvo semillas de maleza y los cajones se cubrieron con polietileno negro para reducir al máximo la evaporación de la humedad presente en el sustrato.

Se aplicó 100 g de *Trichoderma* spp. En cada estanque de 500 litros a las 2 y 4 semanas después del establecimiento del cultivo para evitar la propagación del hongo *Pythium* en el sistema raíz flotante, mediante el riego el hongo colonizó el sustrato y quedó establecido por el resto del periodo.

Tabla 14. Control fitosanitario con rotación de productos aplicado al cultivo de tomate cv. Pietro cultivado bajo sistema de sustrato inerte entre enero y abril del 2018.

Productos	Dosis	Frecuencia	Plaga que controla
A. Oil nim (Azadirachtina)	3 cc L ⁻¹	c/7 días	Mosca blanca; negrita
B. Chefares (Carbono hidrógeno en ácidos carboxílicos y glicéridos)	2 cc L ⁻¹	c/7 días	Negrita
C. Benfurool (Benfuracarb)	1,25 cc L ⁻¹	c/7 días	Negrita
D. NewBt 2X (Bacillus thuringiensis kurstaki)	4 g L ⁻¹	c/15 días	Mosca blanca, Polilla del tomate
E. Feromona (Acetato de - 3,8Z,11Z - Tetradeca - 3,8,11 - Trienilo)	1 unidad por contenedor	5 unidades por nave	Polilla del tomate
F. Actara 25 WG (Thiamethoxam)	2 g L ⁻¹	c/7 días	Negrita, pulgones, mosca blanca.
G. Acetamiprid 20 SP (Acetamiprid)	1 g L ⁻¹	c/7 días	Mosca Blancas, pulgones, minador
Rotación de productos			
1. A, B, C	2. D, E	3. A, B, F	4. A, B, G

2.9.6. Cosecha

La cosecha de los frutos se efectuó cuando presentaron una coloración roja intensa e inició a los 62 días después del trasplante, se llegó a cosechar hasta el tercer racimo debido al ataque de la plaga *Prodidiplosis longifila* (negrita) lo que impidió la cosecha a partir del cuarto piso productivo.

2.10. Datos experimentales

2.10.1. Mediciones climáticas dentro y fuera del invernadero

Los parámetros climáticos temperatura y humedad relativa se midieron diariamente dentro de invernadero a 1,2 m desde el suelo en la mitad de la nave, el equipo utilizado fue el termohigrómetro digital BOE327. Estos parámetros agroclimáticos influyen directamente sobre el déficit de presión de vapor (DPV) dentro del invernadero.

El DPV se calcula como la diferencia entre el valor de la presión de vapor de saturación (PV_{sat}) (2) y la presión real de aire (PV_{air}) (3). Para cálculos agroclimáticos se usa la ecuación de Penman-Monteith (1) y los valores resultantes son expresados en unidades de presión, kilopascal (kPa) (Howell y Dusek, 1995).

$$DPV (kPa) = [PV_{sat} - PV_{air}] \quad (1)$$

$$PV_{sat} = 0,61078 * e^{\left[\frac{12,27 * T(^{\circ}C)}{237,3 + T(^{\circ}C)}\right]} \quad (2)$$

$$PV_{air} = \left[\frac{HR}{100}\right] * PV_{sat} \quad (3)$$

Dónde el T° , comprende la temperatura ($^{\circ}C$) media y HR corresponde a la humedad relativa media (%) (Howell & Dusek, 1995)

Respecto a la intensidad lumínica se midió con un luxómetro en la parte interna y externa del invernadero a las 8:00 y 14:00 horas, el cual medía radiación global expresada en Klux (1 Klux = 1000 lux). La conversión de Klux a $MJ m^{-2} día^{-1}$ se muestra en la ecuación 1 (INTAGRI, 2016).

$$0,864 MJ m^{-2} día^{-1} = 1 Klux \quad (4)$$

2.10.2. Características físicas y químicas del sustrato utilizado

El sustrato utilizado fue 50% cascarilla de arroz y 50% arena fina de río. Previo al establecimiento del ensayo se midió a la mezcla la densidad aparente, porcentaje de retención de humedad, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno. Al finalizar el experimento se volvió a medir la densidad aparente y el porcentaje de retención de humedad.

La densidad aparente fue calculada mediante la fracción de la masa del sustrato sobre el volumen de la misma, el pH y la conductividad eléctrica se determinó por medio de la dilución en agua en una relación 1:5 (sustrato: agua). La fórmula 5 expresa el porcentaje de retención de humedad:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso de sustrato humedo (g)} - \text{Peso de sustrato seco (g)}}{\text{Peso de sustrato seco (g)}} * 100 \quad (5)$$

Para calcular la capacidad de retención de humedad fue necesario extraer muestras de sustratos, se registró el peso húmedo y se colocaron en una estufa (MEMMERT SF 110 Plus) a 80 °C por 2 días, transcurrido el tiempo se registró el peso seco utilizando la fórmula previamente descrita.

2.10.3. Consumo de agua y solución nutritiva

El consumo de agua fue determinado por diferenciación entre la cantidad agua suministrada y el volumen drenado durante todo el ciclo del cultivo, mientras que el consumo de solución nutritiva al estar 100 veces concentrada representó el 1% del consumo de agua.

La cantidad de agua utilizada permitió calcular su eficiencia. Salazar *et al.* (2014) definen la eficiencia o productividad del agua como la relación entre la cantidad de producto cosechado por unidad de agua consumida, se expresa en kg m^{-3} y la fórmula es la siguiente.

$$Ef \text{ agua} = \frac{\text{Producción (Kg)}}{\text{Agua consumida (m)}^3} \quad (6)$$

2.10.4. Control de parámetros físicos y químicos de la solución fertilizante

La conductividad eléctrica (CE) y el potencial de hidrógeno (pH) fueron medidos diariamente en los estanques y drenaje de las soluciones fertilizantes, la temperatura fue tomada en los estanque de la solución y los instrumentos utilizados fueron el medidor de pH Milwaukee Ph55 y el medidor de conductividad eléctrica y temperatura OAKTON ECTester11.

Los drenajes fueron recolectados 1 horas después de cada riego en recipientes de 3 litros, el número de recolección estuvo en dependencia de la frecuencia de riego y se

llegó a recolectar diariamente 3 muestras durante la etapa vegetativa. En la etapa reproductiva la frecuencia de riego diaria se incrementó a 4, por tanto se obtenían 4 muestras de drenaje, cada medición sirvió para calcular un valor promedio diario para el pH y CE.

2.10.5. Análisis químico del drenaje de las soluciones fertilizante

Se realizó muestreos a los drenajes a los 24 y 38 días después del trasplante para chequear que nutrientes fueron consumidos en menor o mayor proporción, estos momentos correspondieron a plena floración y cuaje del tercer racimo. Las muestras fueron enviadas al laboratorio INIAP-Pichilingue para el respectivo análisis químico.

2.10.6. Longitud y diámetro de tallo

Las mediciones se realizaron cada 7 días en una planta marcada por unidad experimental, la longitud del tallo fue evaluada con un flexómetro desde el nivel del sustrato hasta el ápice central, mientras el diámetro del tallo fue medido en la parte basal a 1 cm desde la base de la planta con un calibrador Vernier.

2.10.7. Longitud del entrenudo

Las evaluaciones se realizaron con cinta graduada desde la base del primer entrenudo hasta la base del segundo, este proceso se realizó sucesivamente durante el crecimiento vegetativo y finalizó en la etapa reproductiva.

2.10.8. Altura de planta al primer racimo

Fue medido mediante un flexómetro desde el nivel del sustrato hasta la aparición del primer racimo.

2.10.9. Número de hojas por planta y entre racimos

Durante el crecimiento del tomate se realizó el conteo del número de hojas por planta y entre racimos, ambas mediciones culminaron a los 66 días después del trasplante por el ataque de *Prodidiplosis longifila*.

2.10.10. Contenido de nutrientes del follaje

El contenido de nutrientes a nivel foliar se midió a los 39 días después del trasplante, correspondiente a la etapa del cuaje del tercer racimo. Las muestras estuvieron compuestas por la cuarta hoja desde el punto de crecimiento superior de la planta hacia abajo (Agrocalidad, 2015). Se tomaron 7 hojas por repetición completando un total de 28 hojas por tratamiento, las cuales fueron enviadas al laboratorio INIAP-Pichilingue.

2.10.11. Caracterización de flores y frutos

Semanalmente se llevó un control del número de flores por racimo y frutos cuajados en cada racimo.

Durante la cosecha se midió el diámetro ecuatorial y polar del fruto con un calibrador Vernier digital. El peso se obtuvo mediante una balanza digital y permitió categorizar los frutos utilizando la escala propuesta por Rodríguez *et al.* (2016): 1ra (>130 g), 2da (100-130 g), 3ra (60-100 g) y 4ta (<60 g)

El porcentaje de materia seca se obtuvo mediante el secado de cada fruto a 65 °C por 3 días, el equipo utilizado fue una estufa y la fórmula para calcular esta variable fue la siguiente:

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{\text{Peso seco (g)}}{\text{Peso fresco (g)}} * 100 \quad (7)$$

Se determinó los niveles N, P, K, Ca, Mg y el contenido de metales pesados Cd y Pb mediante un análisis químico realizado en el laboratorio INIAP-Pichilingue. El potencial de hidrógeno se midió en el jugo de tomate con el pH metro (Milwaukee Ph55) y la cantidad de Sólidos solubles mediante un refractómetro con rango de lectura de 0 a 32 °Brix.

2.10.12. Rendimiento bruto y comercial por planta

Culminada la cosecha se sumó el peso de cada fruto producido por planta incluyendo frutos sanos y dañados para el rendimiento bruto, mientras que el rendimiento comercial por planta sólo incluye los frutos sanos. Se evaluó y cuantificó las causas de desecho en cada caso.

2.10.13. Biomasa radicular de las plantas

Finalizada la cosecha se extrajeron cuidadosamente las raíces y se registró el peso fresco, en la obtención del peso seco y porcentaje de materia seca fue necesario colocar las muestras en una estufa (MEMMERT SF 110 Plus) a 65 °C por 3 días.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Mediciones climáticas en el invernadero

Se midió diariamente los principales parámetros climáticos para determinar su efecto sobre la fisiología, producción y calidad del fruto. Las temperaturas promedio máximas, mínimas y medias medidas entre enero y abril del 2018 fueron 36,8, 23,5 y 30 °C respectivamente (Figura 4). Estos valores superan los umbrales considerados ideales para el cultivo, que fluctúan de 20 a 30 °C durante el día y 14 a 17 °C por la noche (Chaverría *et al.*, 2011). No obstante, el rendimiento (Tabla 23) y algunas variables de crecimiento y desarrollo (Tabla 18, 19 y 20) obtenidos bajo estas condiciones agroclimáticas fueron aceptables.

La respuesta favorable de las plantas frente al estrés calórico puede deberse a una tolerancia del híbrido utilizado. Florido y Álvarez (2015) añaden que la ventaja de usar cultivares con estas características permite la fructificación o cuajado de frutos en ambientes con altos niveles térmicos y de humedad relativa.

Pese a la adaptación del híbrido al estrés térmico se registró frutos con malformaciones (Figura 18). Chaverría *et al.* (2011) corroboran que a temperatura mayores a 35 °C se provoca un desarrollo anormal del óvulo por la inviabilidad del polen, este parámetro al estar estrechamente relacionado con la temperatura del tanque de fertirriego también influyó negativamente en el desarrollo del sistema radicular (Tabla 21).

A su vez Urrestarazu, (2004) añade que la absorción de nutrientes es otro aspecto que se encuentra relacionado con la temperatura, en este caso no fue un impedimento ya que este problema se presenta mayoritariamente en ambientes con bajas temperaturas.

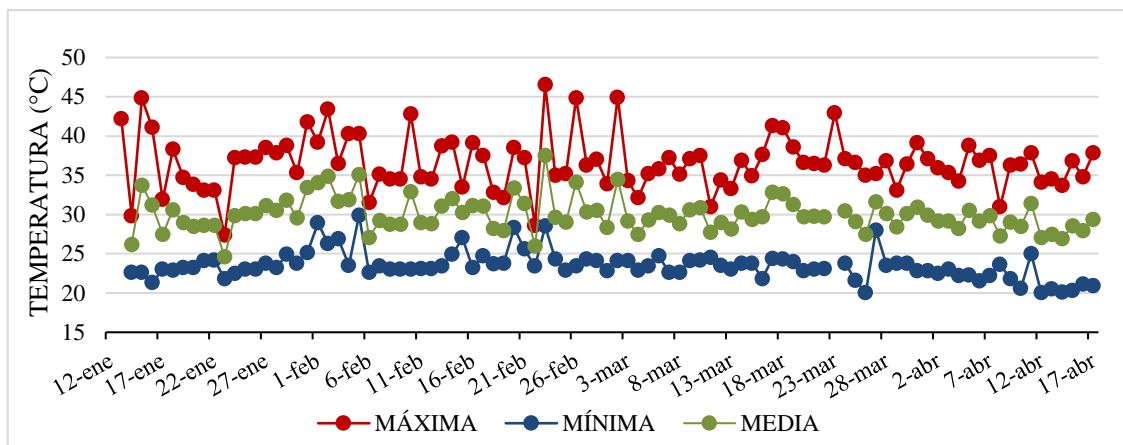


Figura 4. Temperatura máxima, mínima y media registradas en el interior del invernadero durante el desarrollo del cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

Los valores promedios de la humedad relativa (HR) fueron de 87,1, 26,2 y 56,6% para la máxima, mínima y media, respectivamente (Figura 5). Los valores medios se encontraron por debajo del rango ideal para el cultivo de tomate, el cual oscila entre 60 y 80% (Chaverría *et al.*, 2011).

Urrestarazu (2004) indica que plantas cultivadas en ambientes con alta humedad reducen su transpiración, lo cual disminuye la absorción de calcio ya que este nutriente se mueve sólo vía xilema con la corriente transpiratoria, por tanto no pudo asociarse con la deficiencia de calcio en los frutos (Figura 18). Si bien la HR durante las horas de la mañana no fue impedimento para la nutrición cálcica, la deficiencia de este elemento en el fruto pudo estar provocada por la falta de transpiración debido a la ausencia de estomas en cutícula de los frutos.

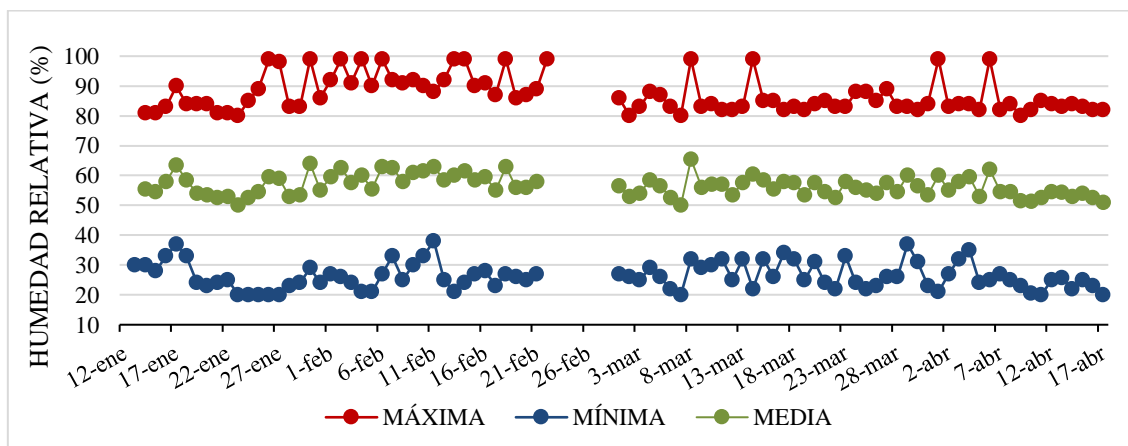


Figura 5. Humedad relativa máxima, mínima y media registradas en el interior del invernadero durante el desarrollo del cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

La temperatura y humedad relativa dentro del invernadero son parámetros que influyen directamente sobre el déficit de presión de vapor (DPV) dentro del invernadero. Esta terminología es definida como la cantidad de vapor de agua que necesita la atmósfera para saturarse, por tanto el DPV es relevante en la transpiración de las plantas, a un DPV elevado las liberan mayor cantidad de agua en forma de vapor (transpiración) para saturar la atmósfera, este efecto mejora la absorción de nutrientes lo que provoca el aumento en la fotosíntesis y rendimiento de las plantas (Escamirosa *et al.*, 2017).

Cuando el DPV es extremadamente elevada las plantas cierran los estomas para evitar pérdida excesiva de agua o deshidratación, por tanto afectará la fotosíntesis y el rendimiento. Por otro lado con una DVP cercano a cero las plantas dejan de transpirar debido a la saturación total de la atmósfera con vapor de agua y no hay un gradiente de concentración hacia donde se difunda el vapor de los estomas, este efecto también reduce la fotosíntesis y repercute en el rendimiento (Cervantes *et al.*, 2013).

Considerando los valores registrados de temperatura (Figura 4), Humedad relativa (Figura 5) y mediante la aplicación de la fórmula (1), se determinó mediante cálculos que el déficit de presión de vapor dentro del invernadero fue de 1,84 kPa. Marlow (2011) añade que el DPV para cultivos bajo invernaderos debe manejarse entre 0,5 y 2,0 kPa, el flujo de agua y calcio en las plantas decrecen significativamente en ambientes mayores a 3 kPa. Las cifras obtenidas estuvieron dentro del rango adecuado y no pudieron asociarse a estrés hídrico que provocara el cierre estomático en las plantas que afectara la absorción de agua y nutrientes.

Respecto a los valores de intensidad lumínica medidos dentro y fuera del invernadero en dos horarios durante el día, 8:00 (Figura 6) y 14:00 horas (Figura 7), se determinó que la radiación global interna fue 42% más baja en la medición de la mañana y sus valores promedio fueron de 14,96 Klux, Mientras que en la medición realizada en la tarde los Klux promedio de 62,9 medidos dentro del invernadero fueron 37% inferiores a los del exterior.

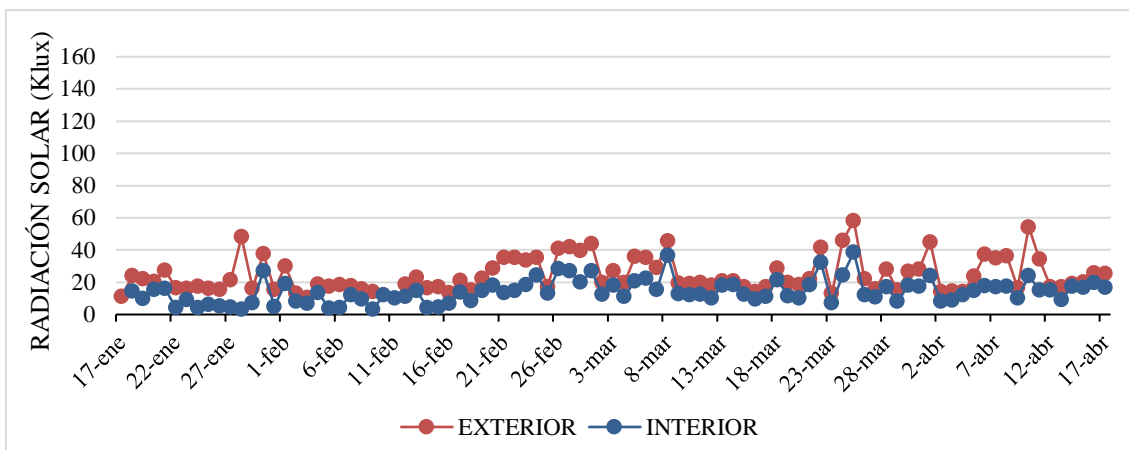


Figura 6. Radiación solar registrada a las 8:00 horas durante en desarrollo del cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

Urrestarazu (2004) menciona que la radiación influye en la absorción de agua y nutrientes. Según Chaverría *et al.* (2011) en la floración y fructificación del cultivo de tomate el valor de intensidad lumínica mínimo diario debe ser $0,85 \text{ MJ m}^{-2}$. En el ensayo las cifras (medidas originalmente como radiación global en Klux y luego transformadas) superaron los requerimientos mínimos con 28 MJ m^{-2} y es el promedio de las dos mediciones mencionadas previamente dentro del invernadero (Figura 6 y 7). Estas cifras no fueron impedimento para la floración y producción (Tablas 15).

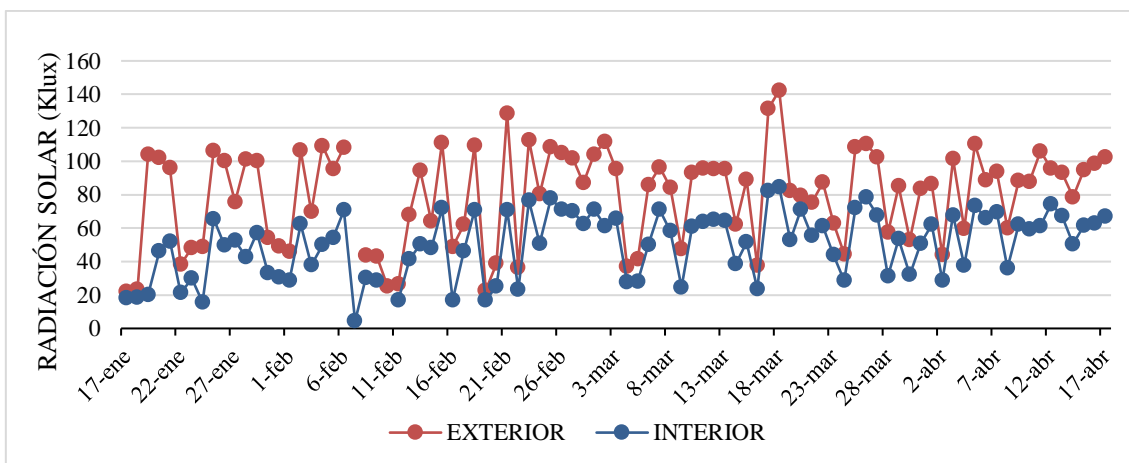


Figura 7. Radiación solar registrada a las 14:00 horas durante en desarrollo del cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

La radiación es el parámetro climático de mayor importancia en la agricultura protegida, tiene influencia sobre la fotosíntesis, crecimiento y desarrollo de las plantas. En el cultivo de tomate se requiere mínimo $2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para la floración y $10 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en etapa de producción (INTAGRI, 2016). Tal como se muestra en la Tabla 15 los valores medios diarios mensuales de la radiación global fueron mayores a esto durante

todo el ciclo del cultivo. El mismo autor cataloga valores de radiación superiores a 24 MJ m⁻² día⁻¹ como excesivos. Esto puede explicar la presencia durante el ensayo de frutos agrietados considerados en el descarte por cracking (Figura 18). Pero no se presentaron otros problemas asociados a alta radiación como hoja enrollada y golpe de sol.

En localidades donde la intensidad lumínica es insuficiente se requiere implementar prácticas agronómicas que permitan satisfacer la necesidad del cultivo. Almería (España), con un clima semiárido similar al de la península de Santa Elena, cuenta con elevados niveles de radiación que hacen de la agricultura protegida un sistema productivo muy eficiente. Los valores registrados en la provincia de Santa Elena durante este ensayo superaron ampliamente a los de dicha localidad mundialmente conocida por su eficiencia productiva. Desde el punto de vista de la radiación Santa Elena presenta características que la vuelven atractiva para desarrollar cultivos protegidos (Tabla 15).

Tabla 15. Radiación global media diaria mensual bajo invernadero, medida entre enero y abril del 2018 en la provincia de Santa Elena vs la histórica de Almería; y requerimientos de intensidad lumínica mínima para procesos fisiológicos del tomate.

Meses	MJ m ⁻² día ⁻¹		Requerimiento para Tomate**	
	Santa Elena Ecuador*	Almería España**	Mínima Floración	Mínima Producción
Enero	20,23	9	2	10
Febrero	25,38	13	2	10
Marzo	30,96	15	2	10
Abril	32,33	20	2	10

Fuente: * Datos propios; ** modificado de INTAGRI (2016)

3.2. Porcentaje de retención de humedad del sustrato

El sustrato empleado fue una mezcla de cascarilla de arroz y arena de río en proporción de volumen 1:1 y una cantidad de 24 litros por planta. Previo al establecimiento se midió a la mezcla la densidad aparente, porcentaje de retención de humedad, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno. Los valores obtenidos fueron 0,93 g cm⁻³, 19,22%, 0,15 dS m⁻¹ y 7,8 respectivamente.

Para obtener el porcentaje de retención de humedad fue necesario extraer muestras de sustratos, se registró el peso húmedo y se colocaron en una estufa (MEMMERT SF 110

Plus) a 80 °C por 2 días, transcurrido el tiempo se registró el peso seco y el porcentaje de retención de humedad se calculó mediante la fórmula 5.

Antes de culminar el ensayo se volvió a medir el porcentaje de retención de humedad y la densidad aparente (Tabla 16). No hubo diferencias significativas entre tratamientos para ambas variables, sin embargo, se evidenció un leve incremento de la densidad respecto al valor inicial. Esto se relaciona con una compactación natural del sustrato en el tiempo y pudo provocar un efecto negativo en el desarrollo radicular del cultivo, el cual fue pobre (Tabla 21).

Tabla 16. Características físicas del sustrato (*) utilizado en el cultivo de tomate cv. Pietro, cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

VARIABLES	P-Valor	CV (%)	SOLUCIÓN FERTILIZANTE					
			Hoagland/Arnon	Sonneveld/Voogt	Steiner			
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0,79	7,09	1,04	a	1,00	a	1,00	a
Retención humedad del sustrato (%)	0,26	10,07	19,52	a	19,21	a	18,17	a

Nota: *Sustrato= cascarilla de arroz y arena de río en proporción de volumen 1:1. Los valores con letra común dentro de las columnas, no presentan diferencias significativas con p-valor ≤ 0.05. p-valor= Nivel de significancia; CV= coeficiente de variación

3.3. Consumo de agua en el cultivo

En la Figura 8 se observa el volumen de agua aplicada y su aprovechamiento por el cultivo. Existieron diferencias significativas entre tratamientos para el volumen drenado y consumido. La formulación con Sonneveld consumió mayor cantidad de agua por ende el volumen drenado fue inferior respecto a Hoagland y Steiner. La cantidad de agua aplicada durante todo el ensayo por tratamiento fue de 4797,12 L desde el trasplante a cosecha del tercer racimo en un área efectiva de 20 m². En promedio de los tres tratamientos fue absorbido el 58,43% del agua por el cultivo, mientras que el 41,57% se recolectó a través de los drenajes. Este último al ser descontado del agua aplicada muestra que el consumo neto promedio en cada tratamiento fue de 2802,95 L.

Al extrapolar el valor del consumo neto de agua a una hectárea de superficie cultivada en sustrato inerte se obtuvo un volumen de 1401,47 m³ ha⁻¹. Habiendo cosechado sólo hasta el tercer racimo, para comparar con un cultivo a campo abierto que presenta normalmente 6 racimos, se multiplica estimativamente el valor por dos y se llega un

consumo de 2802,95 m³ ha⁻¹. Según (SINAGAP, 2016) las necesidades hídricas para el cultivo de tomate a campo abierto fluctúan de 3,000 a 10,000 m³ ha⁻¹, en promedio 6,500 m³ ha⁻¹. Por tanto, los requerimientos hídricos de tomate evaluados en la provincia de Santa Elena en cultivo sin suelo representaron, hipotéticamente, el 43,12% respecto del gasto de agua de riego para un cultivo en suelo a campo abierto. Desde este punto de vista y considerando el déficit hídrico reinante en la provincia la técnica de cultivo sin suelo se perfila como interesante, independiente de la especie a cultivar.

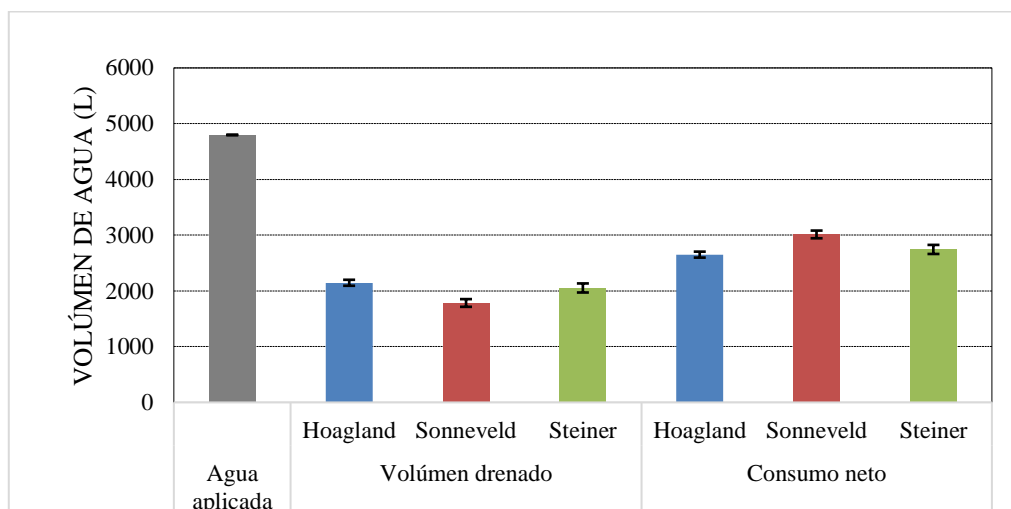


Figura 8. Relación entre el volumen de agua aplicada, consumida y drenada en un cultivo de tomate cv. Pietro realizado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

Tal como se observa en la Figura 9 el consumo de agua por planta varió de una etapa fenológica a otra. En la fase vegetativa (hasta 5 de febrero) la absorción diaria promedio por planta fue 0,30 L e incrementó su volumen a partir del evento de plena floración hasta la cosecha del segundo racimo (fines de marzo) con valores promedio de 1,08 L, luego volvió a descender a 0,76 L planta⁻¹ a la cosecha del tercer racimo.

La mayor tasa de absorción de agua se registró durante la cosecha del primer y segundo racimo con variaciones máximas diarias de 1,5 a 2,3 L planta⁻¹ (Figura 9), mientras que la absorción total en todo el ciclo hasta la cosecha del tercer racimo fue de 65,86, 74,53 y 68,90 L planta⁻¹ para los tratamientos Hoagland/Arnon, Sonneveld/Voogt y Steiner, respectivamente. Por su parte el volumen bruto aplicado por planta en el mismo período fue de 119,83 L. Respecto a la eficiencia en el uso del agua (EA) durante el ciclo completo no hubo diferencias significativas y los valores fueron 18,25, 19,35 y 16,43 kg m⁻³ en las formulaciones ya mencionadas. Es decir, por cada metro cúbico de agua

aplicada se obtuvieron dichos rendimientos de frutos (hasta el tercer racimo). A mayor valor más eficiente el sistema productivo.

En la Tabla 17 se observa la productividad del agua en distintos periodos, no presentaron diferencias significativas en ningún caso. La eficiencia se incrementó en el periodo sin recirculación debido a la suma del rendimiento entre el segundo y tercer racimo. Esto no quiere decir que el periodo con recirculación sea menos eficiente, en este cálculo solo se consideró el rendimiento del primer racimo.

Ortega *et al.* (2016) al probar la eficiencia del agua en diferentes sustratos en sistema hidropónico abierto y suelo demostró, que en sistemas hidropónicos donde no existe recirculación de la solución fertilizante la productividad del agua fue inferior respecto al cultivo en suelo con acolchado plástico.

Tabla 17. Productividad del agua en el cultivo de tomate cv. Pietro cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

Productividad del agua (kg m ⁻³)	P-valor	CV (%)	Soluciones fertilizantes		
			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Periodo completo: Trasplante a cosecha 3er racimo	0,17	12,14	18,25 a	19,35 a	16,43 a
Periodo con recirculación: Trasplante a cosecha 1er racimo	0,58	25,24	15,21 a	16,10 a	13,83 a
Periodo sin recirculación: cosecha 2do y 3er racimo	0,58	15,47	20,65 a	22,31 a	19,41 a

Según la demanda hídrica promedio nacional ya mencionada de 6,500 m³ ha⁻¹ y el rendimiento nacional de 32,070 kg ha⁻¹ (INEC, 2017) la productividad del agua en Ecuador es de 4,93 kg m⁻³. Los resultados obtenidos en el ensayo fueron superiores, lo cual confirma el carácter de sistema es ahorrativo de agua.

Autores como Flores *et al.* (2007) al evaluar la evapotranspiración diaria en un cultivo de tomate registraron valores de 0,2 L planta⁻¹ en la etapa inicial y una absorción máxima de 1,5 L planta⁻¹ en la etapa de mayor demanda, el volumen bruto total fue 143 L planta⁻¹. Esto le permitió lograr una eficiencia en el uso del agua de 35 kg m⁻³, considerando el rendimiento en planta entera de tomate cv. Tequila a una densidad de siembra de 4,3 planta m⁻² y roca volcánica como sustrato.

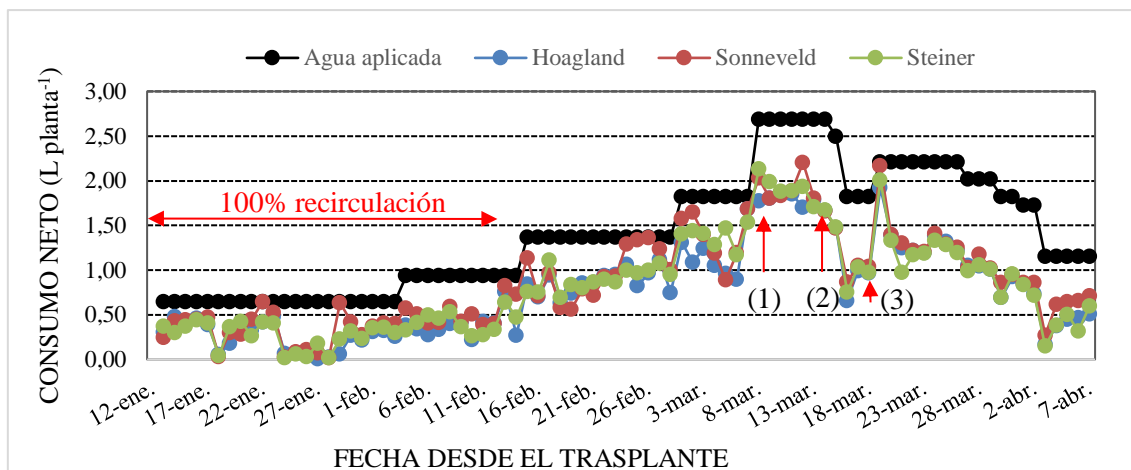


Figura 9. Agua aplicada y consumo diario de agua por planta de tomate cv. Pietro, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena. (1) Inicio cosecha 1er racimo, (2) Inicio cosecha 2do racimo y (3) Inicio cosecha 3er racimo.

3.4. Consumo de solución nutritiva y su frecuencia de reposición

Independientemente del tipo de fertilización, la cantidad utilizada de solución nutritiva al estar 100 veces concentrada representó el 1% del agua total aplicada de agua aplicada (4797,12 Litros), lo que equivale a 47,97 L de solución nutritiva desde el trasplante a cosecha del tercer racimo (1,19 L planta⁻¹ y 40 plantas por tratamiento). Por tanto, fue necesario reponer el estanque con capacidad de 500 L 1,2 veces en la etapa vegetativa y 9,1 en la reproductiva. Estos resultados no quieren decir que esos serían definitivamente el consumo de agua y solución fertilizante para tomate bajo las condiciones agroecológicas evaluadas, ya que se debe reconocer que el tiempo y frecuencia de riego fueron inferiores al óptimo. Para acercarse a la demanda real del cultivar de tomate evaluado se debiera aumentar la frecuencia y disminuir el tiempo de riego, es decir lograr varios pulsos durante el día. Eso lograría una mayor retención de agua y nutrientes por parte de las plantas, tal como lo sugieren Ramírez y Nienhuis (2012).

3.5. Parámetros físico-químicos del drenaje de las soluciones fertilizantes.

En las soluciones fertilizantes la conductividad eléctrica (CE), el potencial de hidrógeno (pH), la temperatura, la relación nitrato-amonio y la relación mutua entre aniones y cationes son los parámetros de mayor influencia en la producción de tomate bajo condiciones hidropónicas (Lara, 1999).

Las comparaciones entre tratamientos para las variables potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica de los drenajes se realizaron en dos momentos: trasplante y plena floración. Estos eventos corresponden a los 3 y 24 días después del trasplante (DDT). El inicio de floración es una etapa clave para hacer correcciones de manejo nutricional. Los datos a partir de los 25 DDT no pueden ser analizados estadísticamente por la modificación de la formulación inicial de las soluciones fertilizantes. Estas modificaciones fueron motivadas principalmente por el incremento de los niveles de salinidad del drenaje (Figura 10).

La conductividad eléctrica para el cultivo de tomate debe oscilar entre 1,6 a 2,6 dS m⁻¹, bajo estos niveles de salinidad las plantas expresan el 100% de su potencial productivo (Putra y Yuliando, 2015). En la Figura 10 se muestran los valores de CE durante todo el cultivo, las evaluaciones en los drenajes a los 3 y 24 días después del trasplante no muestran diferencias significativas entre tratamientos.

Si bien es cierto estadísticamente los niveles de salinidad en los drenajes fueron, hasta esa fecha, iguales entre tratamientos, la fertilización con la formulación Steiner ocasionó mayores efectos negativos en la fisiología, desarrollo y producción del cultivo. En este tratamiento la conductividad eléctrica superó el límite adecuado en 25% a los 3 DDT y 88% en plena floración a los 24 DDT. Esto se evidenció con necrosis en las hojas y menor tamaño de frutos. Por su parte, Hoagland/Arnon también superó el umbral a los 24 DDT en 28%, mientras que Sonneveld/Voogt fue el tratamiento que se mantuvo más cercano al rango adecuado con 2,72 y 2,94 dS m⁻¹, en ambas fechas evaluadas.

Según Lara (1999) las plantas sometidas a estrés salino con valores elevado de conductividad eléctrica, deben gastar mayor energía metabólica para absorber agua y nutrientes, este fenómeno ocasiona una disminución en el desarrollo de la planta tal como se observa con las soluciones Hoagland/Arnon y Steiner para las variables diámetro del tallo, número de hojas y altura de planta (Tabla 18, 19 y 20).

De la misma manera Santos y Ríos (2016) indican que soluciones con niveles de salinidad mayores a 3,5 dS m⁻¹ se produce una pérdida del 10% del rendimiento. Este problema no se evidenció por la inexistencia de diferencias significativas para el rendimiento bruto y comercial entre tratamientos (Tabla 23). No obstante, se observaron

frutos de menor calibre y peso con la solución Hoagland y Steiner (Tabla 25), estos efectos que también están asociados con las altas concentraciones de CE.

En la Figura 10 se observa claramente que la fertilización con Steiner fue más salina, esto se debe a la naturaleza de los fertilizantes usados en esta formulación. Sin embargo, la tendencia en el incremento de los valores del drenaje se ve seriamente modificada a partir de los 24 DDT en todos los tratamientos. Este problema fue producto de la recirculación previa del 100% de los lixiviados de las soluciones fertilizantes, lo que provoca que las sales no consumidas por la planta vayan acumulándose en el sustrato. De la misma manera Massa *et al.* (2010) demostraron que en sistemas hidropónicos cerrados se produce incremento gradual de la CE al transcurrir el tiempo. A pesar de la eliminación de la recirculación a partir de ese momento la CE no dejó de aumentar. Esto pudo deberse, por una parte, a la falta de un lavado intenso del sustrato como evento restaurador del equilibrio iónico del mismo; y por parte a la descomposición microbiológica sufrida por el sustrato.

Savvas *et al.* (2009) añade que el aumento de la conductividad eléctrica en la solución fertilizante también está ocasionada por la acumulación de bicarbonatos (Figura 12), uno de los elementos menos utilizado por la planta y por la presencia de iones de sodio y cloruros provenientes del agua de riego (Figura 17).

Urrestarazu (2004) añade que las plantas sometidas a medios con niveles de salinidad mayores a 3 dS m^{-1} sufren un descenso del porcentaje de calcio en las hojas, y frutos (Figura 18). Este nutriente al transportarse por el xilema es más afectado por la salinidad ya que la absorción de agua disminuye y no es removilizado desde hojas viejas por el floema ante la demanda de los puntos de crecimiento.

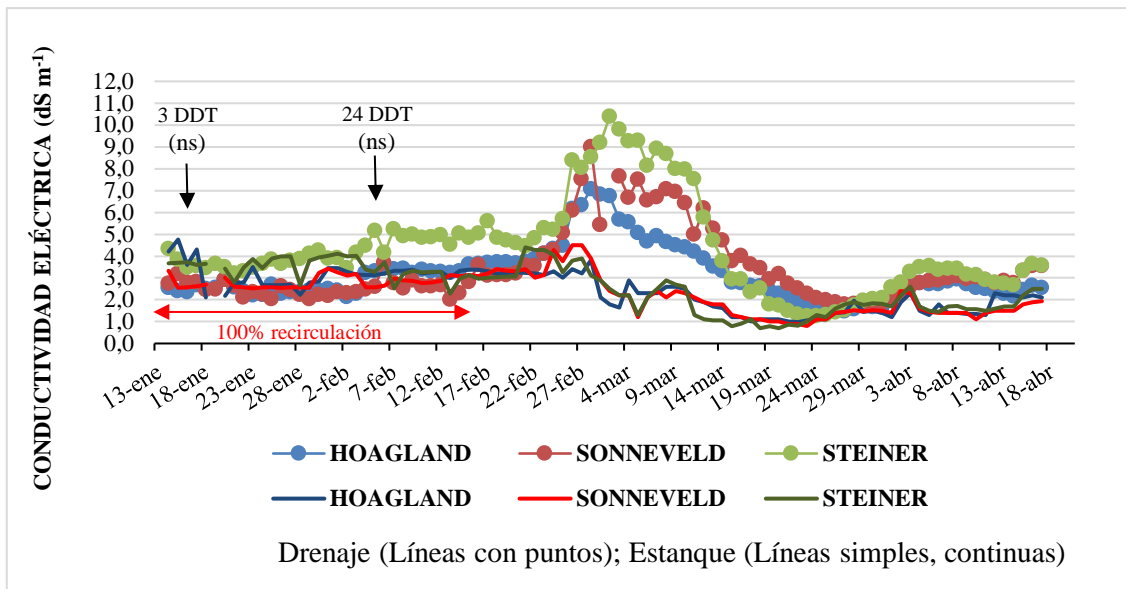


Figura 10. Dinámica de la conductividad eléctrica en las soluciones fertilizantes.

El potencial de hidrógeno (pH) de las soluciones fertilizantes se encuentra estrechamente relacionada con la disponibilidad de los nutrientes. En cultivos hidropónicos se recomienda que los valores para este parámetro se encuentre entre 5,5 y 6,0 unidades (Santos y Ríos, 2016). Los valores para los drenajes no existieron diferencias significativas entre tratamientos en el pH, las cifras superan el rango óptimo a partir de 7,35 hasta 7,62 a los 3 días después de trasplante y de 7,37 a 7,85 a los 24 días post siembra (Figura 11).

Los elevados valores del potencial de hidrógeno al inicio del ensayo se encuentran influenciados por la naturaleza del agua de riego, al presentar un bajo contenido de bicarbonatos y un pH cercano al neutro. No fue posible neutralizar más bicarbonatos para llegar al nivel requerido con la adición de ácido fosfórico.

En la Figura 11 se puede observar una variabilidad en el incremento y disminución del pH, este fenómeno se le atribuye a la respuesta fisiológica de las plantas en la adsorción de los nutrientes (Santos y Ríos, 2016).

Según Lara (1999) la solución fertilizante tiende a alcalinizarse cuando las plantas absorben nitrógeno en forma de nitrato, esto se debe a la liberación de HCO_3^- y OH^- desde el sistema radicular, para mantener el equilibrio iónico. Por su parte Favela *et al.* (2006) hacen referencia a la acidificación de la solución provocada por la liberación del ión hidrógeno (H^+) cuando las plantas asimilan nitrógeno en forma de amonio.

Al contrastar el diagramas de Troug ajustado a hidroponía en sustrato inerte (Figura 2) con los valores de pH medidos en las soluciones fertilizantes usadas, se puede visualizar que por efecto del pH sobre 7 de dichas soluciones tanto en el drenaje como para el estanque (Figura 11), las plantas pudieron presentar deficiencia de fósforo, hierro, manganeso y boro en sus tejidos vegetales. Esto se pudo corroborar para el caso del fósforo (Tabla 22), donde la solución Hoagland/Arnon y Steiner presentaron deficiencia de este anión mientras que Sonneveld obtuvo niveles adecuados, formulación que contenía una concentración 45% superior respecto a las soluciones previamente mencionadas.

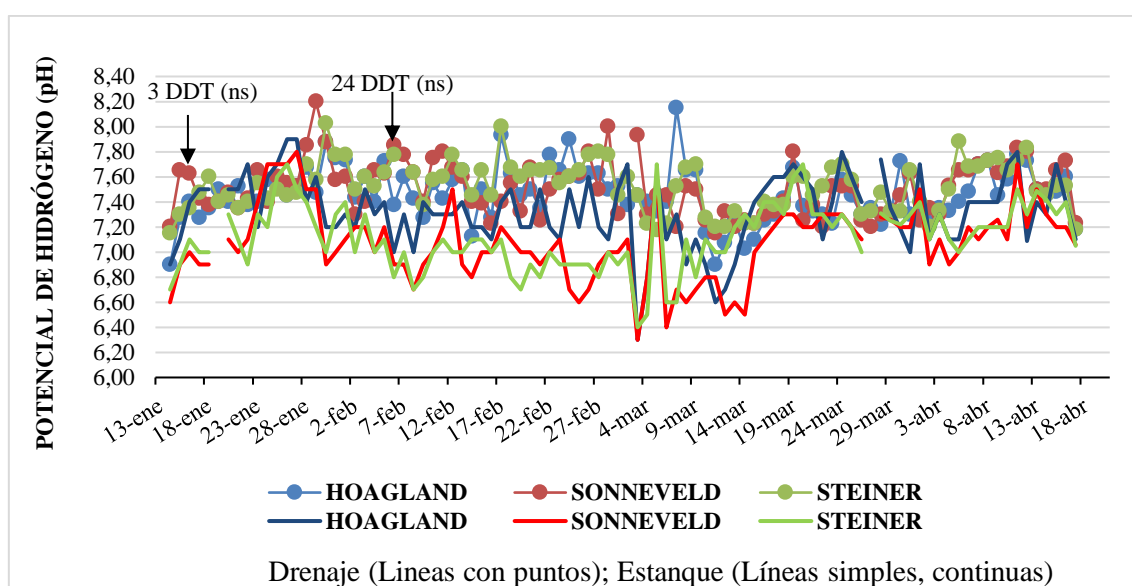


Figura 11. Dinámica del potencial de hidrógeno (pH) en las soluciones fertilizantes.

El contenido de bicarbonatos en la solución fertilizante es indispensable para la nutrición de las plantas, pero en cantidades mayores a 610 ppm puede ser perjudicial (Lara, 1999). Este parámetro se midió en el evento de plena floración y durante el cuajado del tercer racimo, momentos que corresponden a los 24 y 38 días después del trasplante.

En la Figura 12 se muestra el contenido de bicarbonatos de los drenajes para los tres niveles de fertilización. Al inicio del ensayo se neutralizó el 85% del total de HCO_3^- y se obtuvo niveles bajos con 14,84 ppm como promedio. Esto se realizó puesto que el pH de la solución tiende a descender bruscamente a 4,5 cuando se neutraliza el 100% del contenido de bicarbonatos, lo que provoca daños fisiológicos en las plantas y sustrato (Favela *et al.*, 2006).

Durante el ensayo a los 24 y 38 días después del trasplante (Figura 12) se presentó un incremento descontrolado del bicarbonato, la razón que provocó este fenómeno se relaciona con la nutrición de las plantas debido a que las células del sistema radicular tienden a liberar iones de OH^- y HCO_3^- cada vez que asimilen nitratos, esta reacción le permite mantener el balance de cargas en la vacuola (Marschner, 1995).

Según Hernández *et al.* (2009) la asimilación y transporte del nitrato también va acompañado del potasio, posteriormente desciende por el floema junto con el malato. Finalmente este compuesto se descarboxila y forma el bicarbonato, este último es intercambiado nuevamente por el nitrato en la solución e inicia nuevamente el ciclo.

Otra forma que explica la acumulación de bicarbonatos se da a nivel de reacción química. En la respiración microbiana se desprende el dióxido de carbono en la solución nutritiva (Admin, 2016), este compuesto reacciona químicamente con una molécula de agua y forma el bicarbonato más un protón de hidrógeno (UGR, 2016).

Ríncon (1997) añade que los elevados niveles de bicarbonatos provoca la inmovilidad de los nutrientes, entre ellos se encuentra el fósforo, manganeso y hierro. Este problema pudo influir en la deficiencia de fósforo foliar en las planta (Tabla 22) y provocó el incremento de la conductividad eléctrica (Figura 10). La concentración de bicarbonatos en el drenaje superó como promedio 280,13 y 222,53% la cantidad máxima permisibles a los 24 y 38 DDT, respectivamente.

Según Favela *et al.* (2006) para evitar problemas con el contenido de este elemento es permitido incrementar hasta un 25% los niveles de amonio sólo en etapa vegetativa y en ambientes con alta luminosidad. Lara (1999) obtuvo mayor producción de tomate trabajando con 16 y 20% de amonio en relación al contenido de nitrógeno total.

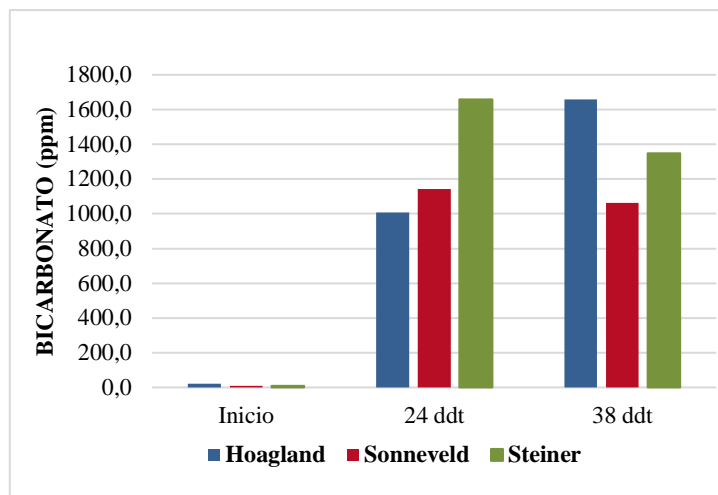


Figura 12. Contenido de bicarbonatos (HCO_3^-) del drenaje de las soluciones fertilizantes al inicio, a los 24 y 38 días después del trasplante, durante un cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril del 2018.

La temperatura de la solución fertilizante tiene una relación directa con la absorción de agua y nutrientes, en condiciones hidropónicas debe estar cercano a $22\text{ }^\circ\text{C}$ para la mayoría de cultivares de tomate (Lara, 1999). Según Favela *et al.* (2006) a temperaturas menores de $15\text{ }^\circ\text{C}$ se producen problemas por deficiencia de calcio, fósforo y hierro. Este no fue el caso en este ensayo al presentar temperaturas de 26 a $32\text{ }^\circ\text{C}$ en los estanques de las soluciones fertilizantes (Figura 13).

Según Santos y Ríos, (2016) independientemente del tipo de fertilización a temperatura mayores de $29\text{ }^\circ\text{C}$ el desarrollo radicular se ve afectado negativamente. Esta respuesta se produjo en los tres tratamientos al obtener valores de biomasa bajos con respecto a otros ensayos (Tabla 21). A pesar que el valor promedio en el estanque fue de $28,17\text{ }^\circ\text{C}$ la planta pudo presentar problemas con la absorción de agua y por lo tanto nutrientes en los días más calurosos.

De conformidad con Favela *et al.* (2006) la concentración de oxígeno disuelto es otro aspecto que puede ser afectado en altas temperaturas, cuando los valores superan los $22\text{ }^\circ\text{C}$ se incrementa la volatilización de este gas hacia el ambiente y la demanda del sistema radicular es insatisfecha. Este problema es más notorio al cultivar sobre agua, mientras que en sustrato inerte es poco probable, aunque dependerá de la densidad aparente del material utilizado.

En la Figura 13 se observa una variación de 3 a $4\text{ }^\circ\text{C}$ de la temperatura del agua. Este efecto está relacionado con las condiciones climáticas de la zona de estudio.

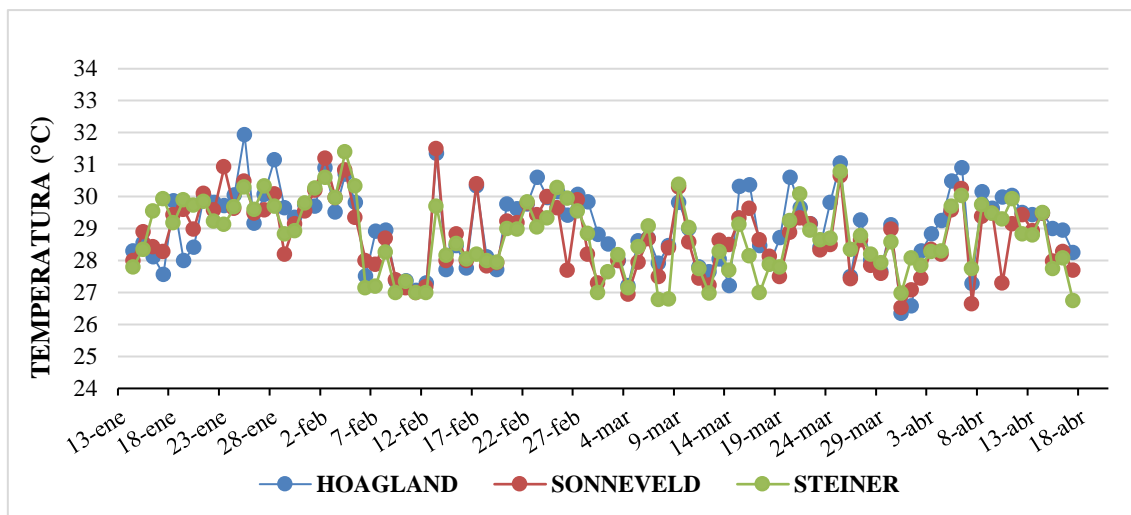


Figura 13. Dinámica de la temperatura del estanque de las soluciones fertilizantes durante un cultivo de tomate cv. Pietro entre enero y abril del 2018 en la provincia de Santa Elena.

La relación nitrato amonio influye sobre el desarrollo y producción del cultivo (Rivera *et al.*, 2014). El amonio en altas concentraciones puede resultar tóxico para las plantas (Bugarín *et al.*, 1998). En el cultivo de tomate, al ser una especie altamente sensible al nitrógeno amoniacal, se recomienda que la concentración fluctúe de 3 a 10% respecto al nitrógeno total (Parra *et al.*, 2012). Autores como Favela *et al.* (2006) aconsejan dosis de 0 a 15%.

En la Figura 14 se observan los niveles de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) utilizados en las soluciones fertilizantes. La concentración de NH_4^+ en la solución Hoagland/Arnon y Steiner fue del 2% respecto al nitrógeno total. Sonneveld/Voogt al no utilizar amonio como fuente nitrogenada presentó un 0%. Los distintos niveles empleados no influyeron en la producción por ausencia de diferencias significativas en el rendimiento bruto y comercial (Tabla 23). El crecimiento vegetativo tampoco se vio influenciado (Tabla 18 y 19) puesto que Sonneveld/Voogt alcanzó la mayor altura de planta con 0% de amonio en su formulación (Tabla 20).

Tal como se observa en los valores del drenaje (Figura 14), la absorción del nitrato fue del 100% durante el evento de plena floración y durante el cuajado del tercer racimo, estos momentos corresponden a los 24 y 38 días después del trasplante. Según Rodríguez *et al.* (2016) la utilización de nitrato se relaciona con el hábito de consumo de las plantas, al igual que el potasio tiende a ser consumido en mayor proporción que cualquier otro elemento.

Según Marschner (1995) la asimilación de nitrato viene acompañada con la liberación del bicarbonato en las células del sistema radicular y provoca su incremento en la solución fertilizante (Figura, 12). Además, influye en el aumento del pH y la conductividad eléctrica (Figura 10 y 11). Respecto a la concentración de amonio a los 24 y 38 días después del trasplante, no se pudo medir por la ausencia de este servicio por parte del laboratorio.

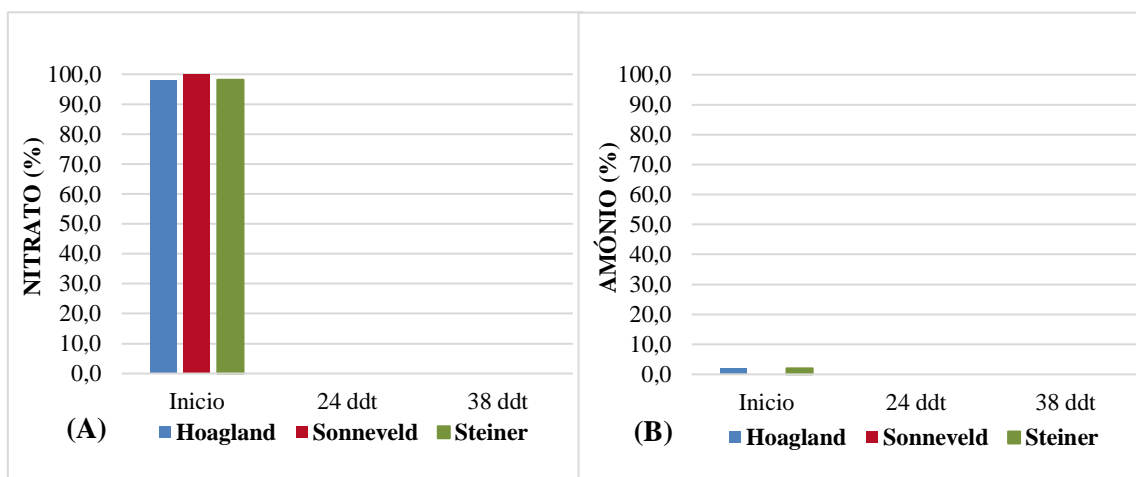


Figura 14. Porcentaje de nitrato y amonio respecto del N total de las soluciones fertilizantes al inicio, 24 y 38 Días después del trasplante.

La relación mutua entre aniones y entre cationes son parámetros de vital relevancia en la solución fertilizante. El factor más importante de un ion respecto a otro es la relación que guardan, por tanto, el desbalance de un catión o anión puede provocar problemas de competencia o toxicidad (Santos y Ríos, 2016), e influye en la pérdida de rendimiento (Favela *et al.*, 2006). Las distintas relaciones al inicio del ensayo son los valores con las que fueron formuladas las soluciones fertilizantes. Los datos a los 24 y 38 días después del trasplante es el remanente de elementos nutritivos que había respecto al valor inicial y se obtuvo mediante el análisis de nutrientes de los drenajes.

En la Figura 15 se observa la relación mutua entre aniones a los 24 y 38 días después del trasplante. Considerando los valores máximos y mínimos de la propuestos por Favela *et al.* (2006) (Tabla 4), los niveles se encontraron dentro del rango en la formulación Hoagland/Arnon y Steiner. Sonneveld/Voogt presentó un exceso en la concentración de fosfato, la concentración de fósforo en esta formulación es mucho mayor y fue la única en obtener los niveles adecuados en el follaje del cultivo para este elemento (Tabla 22).

La relación entre aniones se calcula realizando la sumatoria total de los contenidos de nitrato, fosfato y sulfato en mg L^{-1} . Una vez obtenido el valor se calcula en porcentaje para cada uno de estos elementos dejando fuera del sistema cualquier otro anión (Favela *et al.*, 2006). Tal como se observa en la Figura 15 la relación entre aniones se ve seriamente modificada en los 3 tratamientos de fertilización a los 24 y 38 DDT. El consumo de nitrato fue 100% en el evento de plena floración y durante el cuaje del tercer racimo, sin embargo, la concentración de nitrógeno foliar fue deficitaria (Tabla 22). Este problema se debe a la falta de riego y su prolongada frecuencia, esto impidió que la planta cubra sus necesidades. Respecto al contenido de sulfato Steiner fue la única solución que presentó un consumo del 95% a los 24 DDT, mientras que la absorción a los 38 DDT fue del 100% en las tres formulaciones. Los niveles de fosfatos no se midieron por ausencia de este servicio por parte del laboratorio.

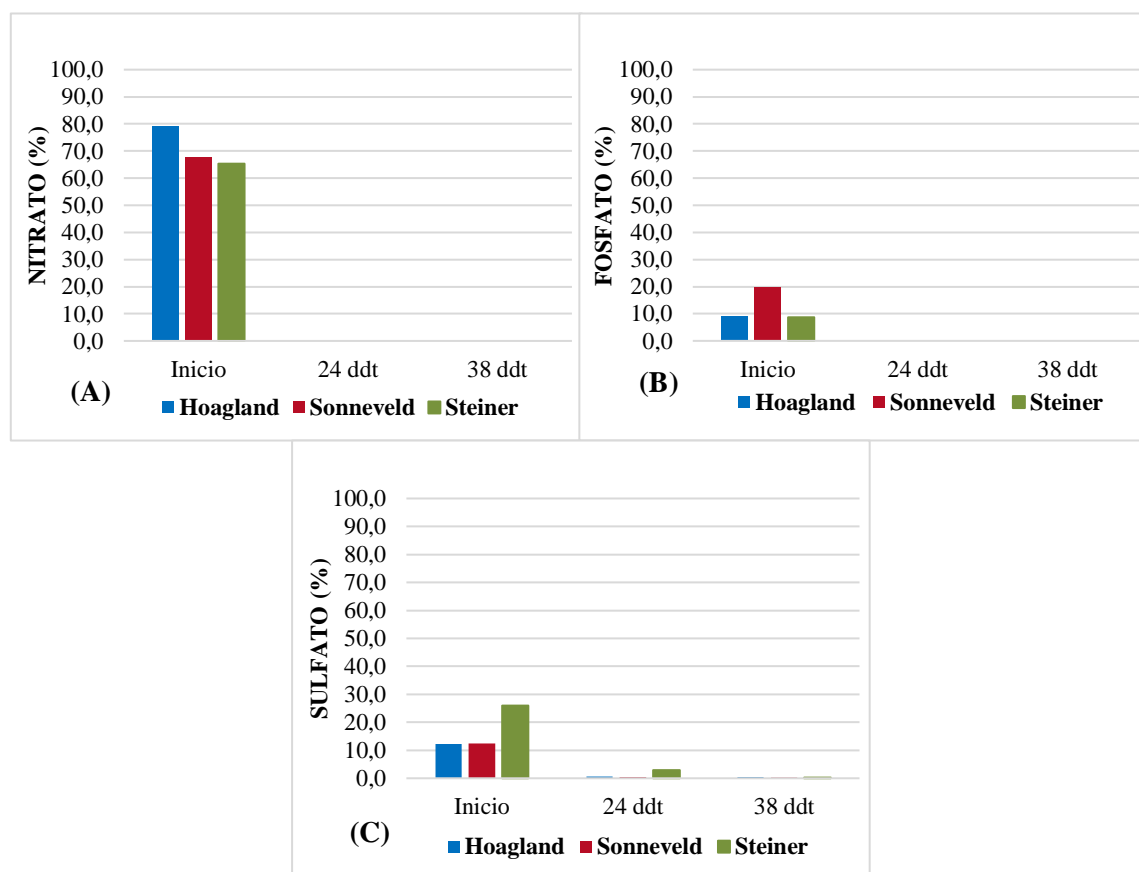


Figura 15. Relación mutua entre aniones de las soluciones fertilizantes al inicio, 24 y 38 Días después del trasplante en un cultivo de tomate cv.Pietro en sustrato inerte. a) nitratos, b) fosfatos, c) sulfatos.

En la Figura 16 se observa la relación mutua entre cationes de los drenajes de las soluciones fertilizantes. Según Favela *et al.* (2006) los valores iniciales se encuentran

dentro del rango para cada nutriente (Tabla 4). La relación entre cationes se calcula realizando la sumatoria total de los contenidos de potasio, calcio, magnesio y amonio en mg L^{-1} , una vez obtenido el valor se calcula en porcentaje para cada uno de estos elementos dejando fuera del sistema cualquier otro catión. El consumo de potasio a los 24 DDT fue del 60 y 53% con la solución Hoagland y Sonneveld, respectivamente; mientras que la absorción en la formulación Steiner fue del 33%.

A partir de los 38 DDT la asimilación de potasio fue la mitad respecto al valor inicial en los tres niveles de fertilización. Bajo estos porcentajes medidos las plantas no mostraron deficiencia tanto en el tejido foliar (Tabla 22). Sin embargo, se observa un porcentaje no utilizado en las dos evaluaciones y corresponde al 50% aproximadamente. Este fenómeno pudo ser influenciado por el exceso de este nutriente en la formulación y alta radiación ambiental. Esta última es la más importante ya la absorción de potasio se ve beneficiada en ambientes con altos valores de energía solar (Ramírez *et al.*, 2018). Por tanto el consumo de potasio en la planta a los 24 y 38 DDT fue suficiente para cubrir todas sus necesidades.

De conformidad con Lara (1999) la relación mutua del potasio (K) respecto a la sumatoria de los tres cationes restantes, debe ser 42% en la etapa vegetativa, 35% en la etapa reproductiva y 28% en el desarrollo de los frutos. Los valores iniciales del ensayo fueron del 57, 59 y 52% para Hoagland/Arnon, Sonneveld/Voogt y Steiner, respectivamente. Favela *et al.* (2006) mencionan que con cantidades de K mayores de 45% se produce antagonismo con los niveles de calcio y pudo ocasionar la pérdida de frutos por deficiencia de este nutrimento (Figura 18).

Respecto al contenido de calcio y magnesio se observó una acumulación de estos cationes a los 24 y 38 días después del trasplante (Figura 16). Este problema influyó en el incremento de la conductividad eléctrica del drenaje recirculado y por ende de las soluciones tal como mencionan Savvas *et al.* (2009). A pesar de presentar un alto contenido de calcio y magnesio a los 24 y 38 DDT disponible en la solución fertilizante se cosecharon frutos con deficiencia de calcio, manifestado como pudrición apical (Figura 18). Esto se debe por bajo flujo transpiratorio provocado por la alta humedad relativa en el invernadero (Figura 5). Esta deficiencia de calcio también estuvo influenciada por antagonismo iónico debido a los altos niveles de potasio.

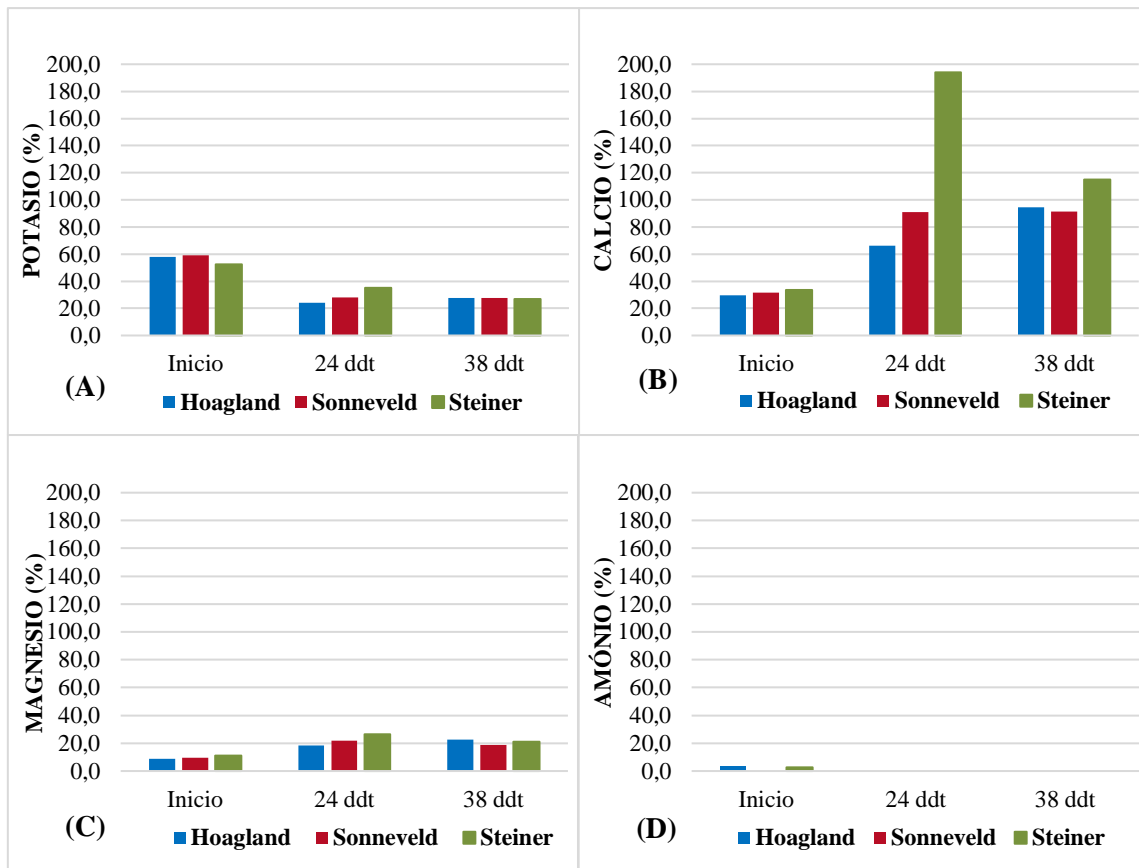


Figura 16. Relación mutua entre cationes de las soluciones fertilizantes al inicio, 24 y 38 días después del trasplante (DDT).

El cloro y sodio son elementos provenientes del agua de riego. Según Favela *et al.* (2006) el cloro participa en la apertura y cierre estomático. Sin embargo, se considera tóxico cuando el nivel sobrepasa los 5 ppm en la solución fertilizante. Por su parte, Sánchez *et al.* (2014) mencionan que el sodio no es importante en la nutrición de las plantas y cantidades mayores a 5 ppm puede ser tóxico, rompiendo el equilibrio entre cationes.

En la Figura 17 se observa el contenido de sodio proveniente del agua de riego, los niveles de este elemento superaron al crítico en 38, 216 y 138% al inicio, 24 y 38 días después del trasplante. Por su parte, la concentración de cloruro superó la cantidad máxima permitida en 40,00, 16,82 y 13,95% al inicio, en plena floración y durante el cuaje del tercer racimo.

Savvas *et al.* (2009) añaden que el incremento de la concentración de sodio y cloruros en las soluciones fertilizantes provocan la elevación de la conductividad eléctrica (Figura, 10).

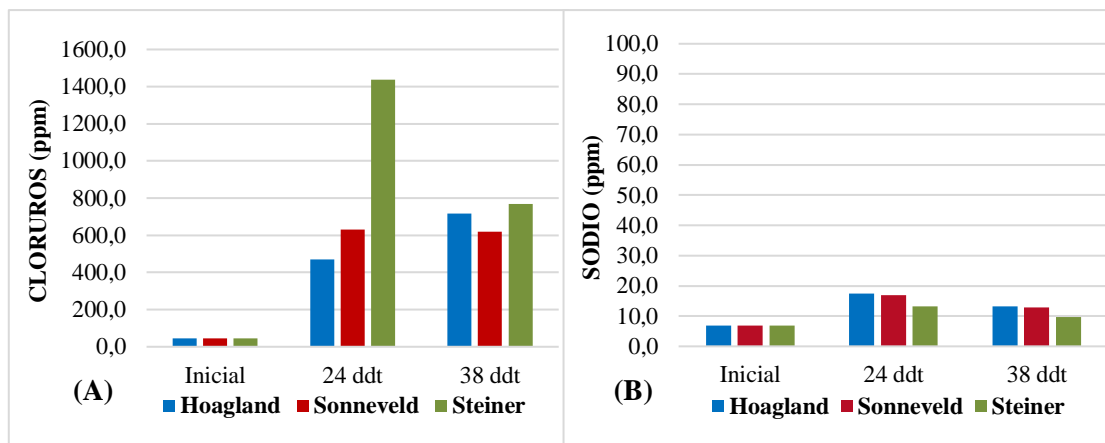


Figura 17. Elemento químicos no deseados proveniente del agua de riego (potable) al inicio, a los 24 y 38 días después del trasplante en un cultivo de tomate cv. Pietro bajo sistema de sustrato inerte.

El cloruro presenta antagonismo iónico con el nitrato. El alza desmedida de cloruros en los tres tratamientos aumentó el problema de déficit de nitrato foliar.

Estos resultados sugieren la necesidad de una reformulación de las soluciones nutritivas adaptadas a las condiciones agroecológicas de la provincia de Santa Elena. Y determinan un manejo diferenciado en el tiempo de la recirculación del drenaje, disminuyendo paulatinamente hasta eliminarla una vez iniciada la fase reproductiva.

3.6. Crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate

Las variables diámetro del tallo, altura de planta y número de hojas se analizaron en tres momentos: trasplante, plena floración y durante la cosecha del tercer racimo, estos eventos corresponden los 3, 24 y 66 días después del trasplante y fueron analizadas estadísticamente con un nivel de significancia del 5%.

En la Tabla 18 se observa el efecto de las soluciones fertilizantes sobre el diámetro del tallo en distintos momentos. Las evaluaciones a los 3 y 66 días después del trasplante no mostraron diferencias significativas. Sin embargo, en el evento de plena floración se observa que las plantas sometidas a la formulación propuesta por Steiner (T3) presentaron un diámetro 9% inferior respecto a Hoagland/Arnon y Sonneveld/Voogt. Esta respuesta se le atribuye a la conductividad eléctrica del T3, el cual superó en 88% el umbral adecuado para este cultivo (Figura 10).

Los resultados en diámetro en los distintos momentos de evaluación, son superiores e inferiores comparados con otros autores. Sánchez *et al.* (2014) obtuvieron cifras 20 y

22% mayores a los 24 y 66 días después del trasplante, estos investigadores usaron roca volcánica como sustrato y una densidad de siembra de 6,5 plantas m⁻² en sistema hidropónico abierto. En comparación, este ensayo usó 8 plantas m⁻², lo cual determina que la competencia por luz es un factor determinante en el vigor del tallo y de la planta completa.

A su vez, Rodríguez *et al.* (2013) alcanzaron valores 14% más bajos a los 71 días después del trasplante, ellos trabajaron con la formulación propuesta por Steiner y reutilizaron el sustrato (roca volcánica) trabajando con una densidad de 6,5 plantas m⁻².

Tabla 18. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el diámetro del tallo de la planta de tomate cv. Pietro a los 3, 24 y 66 días después del trasplante cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

SOLUCIÓN FERTILIZANTE	Días después del trasplante (DDT)					
	3	24	66			
	Diámetro del tallo (mm)					
Hoagland	3,12	a	8,72	a	11,42	a
Sonneveld	3,01	a	8,38	a	10,98	a
Steiner	3,25	a	7,79	b	11,26	a
p-valor	0,39		0,03		0,66	
CV (%)	7,83		7,79		5,12	

Los valores con letra común, no presentan diferencias significativas con p-valor ≤ 0.05.
Nota: p-valor= Nivel de significancia; CV= coeficiente de variación

Para la variable número de hojas tampoco existieron diferencias significativas a los 3 y 66 días después del trasplante (Tabla 19). No obstante, la solución Sonneveld/Voogt a los 24 DDT obtuvo cifras 11,63% mayores respecto a Steiner. Este efecto pudo ser provocado por la conductividad eléctrica, la cual se mantuvo más cercano al rango adecuado (Figura 10). Lara (1999) corrobora este criterio al mencionar que las plantas sometidas a estrés salino obtienen un menor desarrollo, tal como sucedió con las otras formulaciones.

Los valores obtenidos a los 66 días después del trasplante fueron 25% superiores a los alcanzados por Cruz *et al.* (2012). Ellos utilizaron, en un clima promedio de 18,11 °C de temperatura y 55,9% de humedad relativa, la solución Steiner en una mezcla de roca volcánica y vermicompost como sustrato en proporción 65:35, con una densidad de siembra de 3,47 plantas m⁻².

Por su parte, Ramírez y Nienhuis (2012) al probar diferentes variedades de tomate cultivados en condiciones hidropónicas, alcanzó cifras 14,11% más elevadas en todo el ciclo del cultivo con el híbrido “Qualyt 21”. La conductividad eléctrica de su solución varió de 1,5 a 2,5 dS m⁻¹ y el sustrato empleado fue una mezcla de turba (70%), perlita (15%) y vermiculita (15%).

Tabla 19. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el número de hojas de la planta de tomate cv. Pietro a los 3, 24 y 66 días después del trasplante cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

SOLUCIÓN FERTILIZANTE	Días después del trasplante (DDT)					
	3	24	66			
	Número de hojas					
Hoagland	2,50	a	11,25	ab	27,00	a
Sonneveld	2,50	a	12,00	a	30,00	a
Steiner	2,50	a	10,75	b	28,00	a
p-valor	1,00		0,05		0,16	
CV (%)	20,88		6,86		6,95	

Los valores con letra común, no presentan diferencias significativas con p-valor ≤ 0.05.

Nota: p-valor= Nivel de significancia; CV= coeficiente de variación

En la variable altura de planta no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos a los 3 y 24 días después del trasplante (Tabla 20). Respecto a la medición realizada a los 66 DDT se observó un efecto significativo en la fertilización con Sonneveld/Voogt. Los valores fueron 11,89% más elevados respecto a Hoagland y Steiner que obtuvieron las cifras más bajas.

Los resultados alcanzados a los 66 días después del trasplante (Tabla 20) fueron 32% inferiores respecto a los obtenidos por Rodríguez *et al.* (2016), quienes trabajaron con solución Steiner y perlita a una densidad de 4 plantas m⁻². Por su parte Guzmán (2017) al evaluar diferentes tipos de sustratos a una densidad de 4 plantas m⁻², obtuvo 2,4 m de altura utilizando fibra de coco.

En la variable longitud del entrenudo tampoco existieron diferencia significativas en los tres niveles de fertilización (Tabla 21), los valores fluctuaron de 4,96 cm en la formulación con Sonneveld/Voogt hasta 5,21 cm con Steiner.

Tabla 20. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre la altura de planta a los 3, 24 y 66 días después del trasplante y el longitud del entrenudo de tomate cv. Pietro cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

SOLUCIÓN FERTILIZANTE	Días después del trasplante (DDT)							
			3		24		66	
	Longitud del entrenudo (cm)		Altura de planta (m)					
Hoagland	5,20	a	0,15	a	0,71	a	1,61	b
Sonneveld	4,96	a	0,14	a	0,66	a	1,83	a
Steiner	5,21	a	0,16	a	0,71	a	1,67	b
p-valor	0,82		0,37		0,37		0,04	
CV (%)	39,15		8,43		7,23		7,37	

Los valores con letra común, no presentan diferencias significativas con p -valor ≤ 0.05 .

Nota: p -valor= Nivel de significancia; CV= coeficiente de variación

En las variables relacionadas con el sistema radicular de las plantas también se presentaron diferencias significativas (Tabla 21). La solución Steiner presentó el mayor peso fresco, pero el menor contenido de materia seca de la raíz. Hoagland obtuvo las raíces más consistentes con el mayor porcentaje de materia seca. Este bajo desarrollo radicular pudo estar condicionado con la baja altura del contenedor, a pesar que los litros de sustrato disponibles por planta parecían suficientes. Se deben poner a disposición de la planta 5 litros de sustrato por eje productivo (Ramírez y Nienhuis, 2012; Red Agrícola, 2017).

López *et al.* (2008) obtuvieron cifras 70% más elevadas para el peso seco de la raíz, estos investigadores trabajaron con solución Steiner, roca volcánica de sustrato y el híbrido “Gabriela” establecido a una densidad de 5 plantas m^{-2} .

Tabla 21. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre la altura de planta al primer racimo, peso fresco y seco y materia seca de la raíz a cosecha del tomate cv. Pietro cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

VARIABLES	P-valor	CV (%)	SOLUCIÓN FERTILIZANTE					
			Hoagland		Sonneveld		Steiner	
Altura de planta al 1er racimo (m)	0,15	6,52	0,51	a	0,50	a	0,53	a
Peso fresco de la raíz (g)	0,00	45,84	19,53	b	27,42	ab	34,27	a
Peso seco de la raíz (g)	0,00	41,38	6,72	a	6,68	a	7,35	a
Materia seca radicular (%)	0,00	11,81	30,44	a	23,39	b	20,71	b

Los valores con letra común, no presentan diferencias significativas con p -valor ≤ 0.05 .

Nota: p -valor= Nivel de significancia; CV= coeficiente de variación

El contenido foliar de nutrientes se midió a los 39 días después del trasplante, correspondiente al cuaje del tercer racimo. Según la Tabla 22, las plantas presentaron

deficiencia de nitrógeno en los tres niveles de fertilización, también existieron problemas en el contenido de fósforo para la solución Hoagland/Arnon y Steiner.

La deficiencia de nitrógeno se asocia a la falta de riego y su prolongada frecuencia lo que impidió que la planta cubra sus necesidades, esta respuesta se encuentra relacionada con la nutrición ya que tienden a consumir mayor cantidad de nitrógeno como de potasio respecto a otros nutrimentos (Rodríguez *et al.*, 2016). Por tanto, al no disponer de este nutrientes con mayor frecuencia generó síntomas de carencia, los niveles de cloruro también provocaron la deficiencia de nitrógeno foliar debido a la interacción antagónica con los nitratos (Figura 17).

Autores como Parra *et al.* (2012) también registraron deficiencia de nitrógeno en la lámina foliar con 3,62% al compararlos con los niveles de referencia (Tabla 22), ellos trabajaron con diferentes concentraciones de nitrato y amonio en la solución Steiner. La concentración total de nitrógeno en su mejor tratamiento fue 2,5% mayor a la cantidad utilizada en este ensayo, esta concentración al ser mayor presentó síntomas de carencia en el follaje. Esto implica que al mejorar el riego incrementando su frecuencia y disminuyendo el tiempo, también sería factible incrementar los niveles de nitrógeno utilizado en el ensayo.

Los bajos niveles de fósforo en la lámina foliar pudo estar influenciado por efecto del pH de la solución fertilizante (Figura 11) y el contenido utilizado en su formulación (Figura 15 b). Según los valores de la Tabla 22, las soluciones Hoagland/Arnon y Steiner presentaron déficit de fósforo, en cambio Sonneveld/Voogt obtuvo los niveles adecuados al poseer una concentración 45% más elevadas respecto a los tratamientos antes mencionados.

Los niveles de potasio, calcio y magnesio fueron adecuados para todo los tratamientos.

Tabla 22. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre la concentración foliar de nutrientes en plantas de tomate cv. Pietro medido a los 39 DDT, cultivadas entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

NUTRIENTE	Ψ. NIVELES DE REFERENCIA (%)	SOLUCIÓN FERTILIZANTE					
		Hoagland		Sonneveld		Steiner	
N	4,0-6,0	3,00	*	3,30	*	3,10	*
P	0,25-0,75	0,23	*	0,34	**	0,20	*
K	2,9-5,0	3,48	**	2,99	**	4,28	**
Ca	1,0-3,0	1,61	**	1,86	**	2,16	**
Mg	0,4-0,6	0,42	**	0,42	**	0,51	**

Ψ= Nivel de suficiencia, fuente Cedeño (2018)

* = Bajo

** = Adecuado

3.7. Rendimiento bruto y comercial por planta

Los análisis estadísticos para las variables de rendimiento se realizaron hasta el tercer racimo debido al ataque de *Prodidiplosis longifila* (negrita), díptero considerada la principal plaga del cultivo de tomate en Ecuador (Cañarte *et al.*, 2015). Pese al control sanitario aplicado la severidad de ataque comprometió el rendimiento ocasionando pérdidas a partir del cuarto racimo.

De tal manera, el efecto de las distintas formulaciones para las variables de rendimiento, características del fruto y floración, se analizan hasta los 66 días después del trasplante, momento coincidente con la cosecha del tercer racimo.

En la Tabla 23 se muestran los resultados para la variable rendimiento bruto y comercial, los cuales no presentaron diferencias significativas entre las tres mezclas fertilizantes. Las cifras para el rendimiento bruto fluctuaron desde 1,88 kg planta⁻¹ en la solución Steiner, hasta 2,34 kg planta⁻¹ para Sonneveld/Voogt. De la misma forma, los rangos para el rendimiento comercial fueron de 1,58 kg planta⁻¹ en la solución Hoagland, hasta 1,86 kg planta⁻¹ para Sonneveld/Voogt. Ortega *et al.* (2016) además de no encontrar correlación entre el rendimiento y las dos formulaciones fertilizantes utilizadas, resumen cinco investigaciones llevadas a cabo en un plazo de 20 años, de las cuales se desprende que no hay efecto significativo en el rendimiento por el uso de diferentes concentraciones, dentro del intervalo de 10 a 320 mg L⁻¹ de nitrógeno, de 5 a 200 mg L⁻¹ de fósforo y de 20 a 300 mg L⁻¹ de potasio.

Los valores del rendimiento comercial se consideran similares en comparación a los obtenidos en el ensayo dirigido por Pérez *et al.* (2012). Dicha investigación fue realizada bajo condiciones protegidas en clima con temperaturas promedio de 32 °C, una densidad de siembra de 4,5 plantas m⁻² y en la cual se alcanzó un rendimiento de 1,39 kg planta⁻¹.

López *et al.* (2014) superaron en 56% los valores obtenidas en el ensayo al evaluar el rendimiento bruto en planta completa, la solución utilizada fue Steiner y usó una mezcla de fibra de coco más humus de lombriz como sustrato en proporción 25:75.

De la misma manera, Mata *et al.* (2010) al evaluar el rendimiento bruto, obtuvieron valores 37% más bajos en comparación con los alcanzados en la experimentación (Tabla 23). Estos investigadores trabajaron con el híbrido “Toro” en clima semi-húmedo y temperaturas promedios de 24,8 °C, la solución empleada fue Steiner y el sustrato roca volcánica.

Ortega *et al.* (2016) reportaron, bajo clima templado con temperaturas de 12 a 18 °C, valores 110% más elevados para el rendimiento bruto con 25,2 kg m⁻², ellos confinaron 6 plantas m⁻² permitiéndole un mejor aprovechamiento de la luminosidad. El tipo de tomate fue la variedad Suun 7705 creado por la empresa Nunhems. El cultivo fue establecido sobre roca volcánica de sustrato, el mismo que tenía una capacidad de retención de humedad del 40%.

Tabla 23. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el rendimiento del cultivo de tomate cv. Pietro hasta el tercer racimo, cultivado entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

VARIABLES	P-valor	CV (%)	SOLUCIÓN FERTILIZANTE					
			Hoagland	Sonneveld	Steiner			
Rendimiento Bruto	0,11	24,83	1848,60	a	2345,11	a	1886,21	a
Rendimiento Comercial	0,37	27,14	1585,61	a	1860,47	a	1762,14	a

Los valores con letra común dentro de las columnas, no presentan diferencias significativas con p-valor ≤ 0.05. Nota: p-valor= Nivel de significancia; CV= coeficiente de variación

En la Figura 18 se muestran las distintas causas de desecho, estos problemas se repiten en proporciones similares en los 3 niveles de fertilización. Del total de pérdida, la mayor concentración fue por la presencia de frutos partidos (Cracking) y por deficiencia de calcio (Blossom End Rot). También se diagnosticó problemas de pudrición y malformaciones.

Los dos últimos problemas se encuentran relacionado con el clima al interior del invernadero (Figura 5). Según Chaverría *et al.* (2011) la alta humedad provoca la pérdida de frutos por agrietamiento y pudrición debido a la proliferación de hongos, mientras que a temperatura mayores a 35 °C (Figura 4) produce un mal desarrollo del óvulo presentando frutos con malformaciones.

Por su parte Urrestarazu (2004) añade que las plantas cultivadas en ambientes con alta humedad reducen su transpiración, por tanto, la absorción de calcio se ve afectada ya que este elemento se mueve vía xilema. Al ser un nutriente con movimiento únicamente acropétalo y no poder ser removilizado desde hojas viejas a través del floema no llega en abundancia a los frutos, que son las estructuras que menos transpiran en la planta por no poseer estomas sino una gruesa cutícula que los protege de la deshidratación.

Los altos niveles de conductividad eléctrica de las soluciones fertilizantes (Figura 10) es otro problema que indujo la deficiencia de calcio. Santos y Ríos, (2016) menciona que las plantas sometidas a estrés salino no pueden absorber satisfactoriamente agua y nutrientes, el cual deben invertir mayor energía metabólica lo que ocasiona disminución en el rendimiento y síntomas de carencia en los frutos.

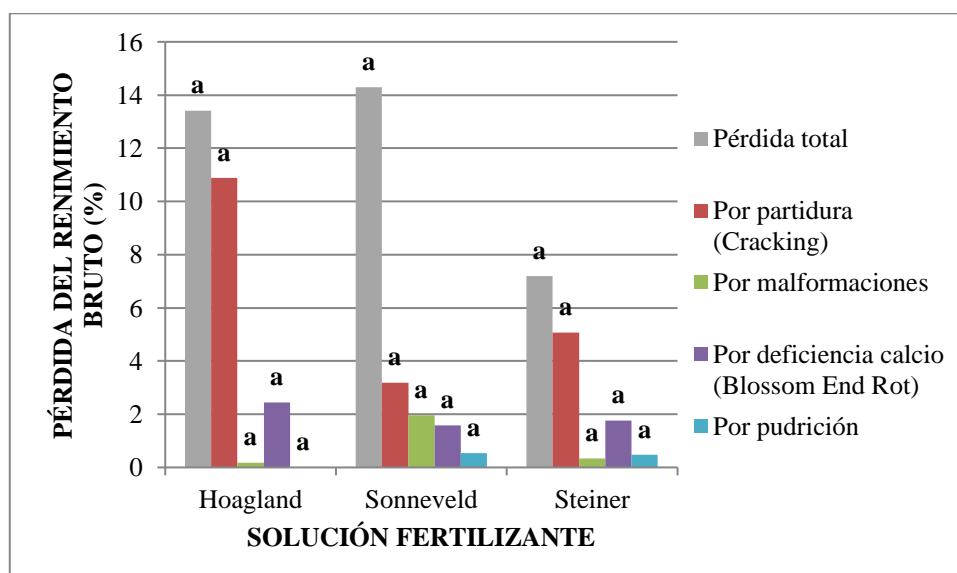


Figura 18. Causas de pérdida del rendimiento de tomate cv. Pietro hasta la cosecha del tercer racimo, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

3.8. Características del racimo de la planta de tomate

En la Tabla 24 se muestran los resultados para el número de flores por racimo con el cultivar “Pietro”. Según el análisis estadístico los valores no fueron diferentes estadísticamente alcanzando 5, 5,5 y 6 unidades para Hoagland/Arnon, Sonneveld/Voogt y Steiner, respectivamente. A su vez, la empresa creadora de este cultivar menciona que el híbrido posee de 5 a 7 flores por racimo ALASKA (2019).

Para la variable número de frutos por racimo tampoco se presentaron diferencias significativas (Tabla 24), las cifras fluctuaron de 4 a 5 y se encuentra en el límite inferior del rango normal para este cultivar con 5 a 7 unidades (ALASKA, 2019). Esta variable tiene una relación inversamente proporcional con el peso de fruto (Ucan *et al.*, 2005), y los valores adecuados para cultivos comerciales fluctúan entre 4 a 6 unidades (Urrieta *et al.*, 2012).

Los resultados alcanzados por Pérez *et al.* (2012) variaron de 4,69 a 5,29 frutos por racimo y son similares a los obtenidos en este experimento (Tabla 25). Estos autores utilizaron el híbrido de tomate Miramar bajo una densidad de 4,5 plantas m⁻² bajo temperaturas medias parecidas a la zona de estudio con 32 °C. Albornoz *et al.* (2007) reportaron cifras 2% más elevadas al utilizar el cv. Naomi.

La variable rendimiento bruto por racimo tampoco muestra diferencias entre tratamientos (Tabla 24), fluctuando de 662.28 a 756.40 g. Estos valores son similares a los resultados del experimento dirigido por Urrieta *et al.* (2012) con 690 g por racimo, fertilizados con la formulación Steiner en roca volcánica.

Pérez *et al.* (2012) reportaron cifras 49% más bajas en comparación a las obtenidos en este ensayo (Tabla 24). Ellos trabajaron en clima tropical con temperaturas promedio de 32 °C y una densidad de siembra de 4,5 plantas m⁻² del cv. Miramar.

El número de hojas entre racimo influye en el llenado del fruto por tanto repercute en el peso por racimo, siendo un parámetro determinado genéticamente. Gutiérrez (2016) menciona que la cantidad de hojas entre inflorescencias es proporcional a la tasa fotosintética por tanto influye en el rendimiento por racimo y peso de fruto. Los valores para esta variable no difirieron significativamente entre tratamientos.

Tabla 24. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre las características de los tres primeros racimos de tomate cv. Pietro, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

VARIABLES	P-valor	CV (%)	SOLUCIÓN FERTILIZANTE					
			Hoagland	Sonneveld	Steiner			
Rendimiento por racimo (g)	0,41	36,33	662,28	a	756,40	a	666,05	a
Número de Flores por racimo	0,91	24,30	5,00	a	5,50	a	6,00	a
Número de Frutos por racimo	0,62	32,19	4,54	a	4,37	a	4,79	a
Número de Hoja entre racimo	0,62	18,83	2,62	a	2,50	a	2,75	a

Los análisis estadísticos para estas variables solo muestran datos hasta el tercer racimo, los valores con letra común dentro de las columnas, no presentan diferencias significativas con p-valor ≤ 0.05 .

Nota: P-valor= Nivel de significancia; CV= coeficiente de variación

3.9. Número de frutos comerciales por planta y categoría

Los análisis estadísticos para estas variables fueron realizados hasta el tercer racimo. Tal como se muestra en la (Figura 19) no existieron diferencias significativas para el total de frutos comerciales por planta, valores que fluctuaron de 10,5 unidades para la solución Sonneveld/Voogt hasta 12 unidades para Steiner.

Los resultados alcanzados en el ensayo se consideran inferiores en comparación con los obtenidos por otros autores, quienes reportan 15,78 unidades hasta el tercer racimo (Pérez *et al.*, 2012) y 13.3 unidades para la planta entera (Ortega *et al.*, 2016).

Igualmente, no hubo diferencias significativas para la clasificación de primera, segunda, tercera y cuarta categoría (Figura 19). En las tres soluciones fertilizantes predominó el grupo de primera con un peso mayor a 130 g por fruto.

Ensayos realizados por Rodríguez *et al.* (2016) y Rodríguez *et al.* (2018) obtuvieron predominancia de frutos de segunda y tercera categoría, estos autores utilizaron la formulación propuesta por Steiner a una densidad de siembra de 3 planta m^{-2} y fueron establecidas sobre perlita.

A su vez Ucan *et al.* (2005) al probar diferentes densidades de siembra y la aplicación de raleo de frutos en el híbrido Daniela, obtuvieron el mayor porcentaje de la producción en la clasificación de primera categoría trabajando con 6 planta m^{-2} y entre 3 a 4 frutos por racimo.

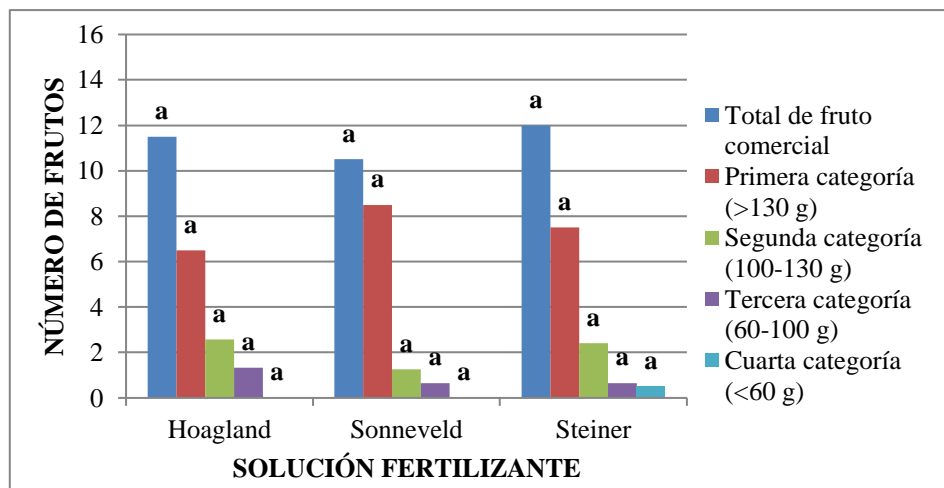


Figura 19. Número y categoría de frutos comerciales por planta cosechados hasta el tercer racimo del híbrido de tomate cv. Pietro, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

3.10. Características físicas y químicas del fruto

Para las variables relacionadas con el tamaño del fruto existieron diferencias significativas, entre ellas el diámetro polar, ecuatorial mayor y menor. La solución Sonneveld/Voogt obtuvo los valores más altos con 76,71, 71,60 y 58,69 mm, respectivamente. En cuanto a Hoagland/Arnon y Steiner no se diferenciaron entre sí (Tabla 25). Estas soluciones alcanzaron valores 8% inferiores para las tres variables ya mencionadas.

Urrieta *et al.* (2012) mencionan que el diámetro ecuatorial es un parámetro de calidad en la comercialización. Fischer y Balaguera (2011) indican que las medidas para frutos comerciales de primera categoría fluctúan de 67 a 82 mm. En este experimento, los distintos diámetros ecuatoriales se encuentran en los rangos de 70,12 a 76,71 mm para el mayor, y de 65,94 a 71,60 mm para el menor. Estas medidas corresponden al grupo de primera categoría considerando el calibre como parámetro de clasificación.

Respecto a los distintos diámetros ecuatoriales (Tabla 25), son 27% más altos en comparación con los resultados alcanzados por Rodríguez *et al.* (2018), quienes trabajaron en perlita con la formulación de Steiner. Otros investigadores como Valenzuela *et al.* (2014) obtuvieron cifras 5% más elevadas trabajando con solución Steiner, el híbrido Imperial injertado con Multifort y una mezcla de sustrato entre humus de lombriz más fibra de coco.

En el diámetro polar los valores alcanzados variaron de 53,5 a 58,69 mm (Tabla 25), estos datos se consideran superiores e inferiores en relación a los obtenidos por otros autores. Se reportan diámetros polares 8% más elevados al cultivar en solución Steiner y arena de río el cv. Cid a una densidad de 4 plantas m⁻² (Preciado *et al.*, 2011). En el ensayo dirigido por Urrieta *et al.* (2012) se reportaron cifras 10% inferiores trabajando en roca volcánica y con la formulación Steiner.

La cantidad de sólidos solubles totales (°Brix) es indicador importante en las características sensoriales del fruto (Agius *et al.*, 2018). Preciado *et al.* (2011) indican que este parámetro está relacionado con las propiedades de la fuente de nutrientes y el estrés hídrico (Céspedes *et al.*, 2004).

En la Tabla 25 se muestra el efecto de las distintas formulaciones sobre las características físicas y químicas del fruto. Existieron diferencias significativas entre tratamientos sobre la cantidad de sólidos solubles (°Brix). Como era de esperarse la formulación Steiner presentó una concentración 14% superior respecto a Hoagland/Arnon y Sonneveld/Voogt. Otros autores alcanzaron niveles 31% más elevados utilizando la solución Steiner y roca volcánica como sustrato (Urrieta *et al.*, 2012).

La respuesta fisiológica que explica la mayor concentración de sólidos solubles en la solución Steiner, es su alto nivel de conductividad eléctrica (Figura 10). Santos y Ríos (2016) mencionan que la calidad del fruto (firmeza, sólidos solubles, acidez titulable) se incrementa trabajando con valores de salinidad relativamente altos, en desmedro del calibre.

Satti *et al.* (1996) manifiestan que la cantidad de sólidos solubles totales (°brix) y porcentaje de materia seca del fruto se elevan en niveles de salinidad superior a la deseada. Esto se cumplió con la solución Steiner al poseer mayores concentraciones de sales respecto a Hoagland/Arnon y Sonneveld/Voogt

De conformidad con Urrieta *et al.* (2012) el potencial de Hidrógeno (pH) de la pulpa también está relacionado con la calidad del fruto. Los valores para cultivos comerciales deben estar entre 3,8 a 4,4. Según los análisis estadístico no existieron diferencias significativas para esta variable y alcanzaron valores entre 4,75 y 4,78 unidades (Tabla 25).

Soto (2015) al evaluar el pH del jugo de tomate obtuvo valores 11% más bajos con respecto a los obtenidos en este ensayo (Tabla 25), utilizado el híbrido Durinta injertado sobre Maxifort, la solución Steiner y fibra de coco como sustrato. A su vez, Rodríguez *et al.* (2018) alcanzaron valores similares con 4,69 trabajando en perlita con solución Steiner. Además menciona que los frutos de menor acidez tienen mayor aceptación en el mercado por su sabor más dulce y agradable.

Los resultados para el porcentaje de materia seca del fruto presentaron diferencias significativas (Tabla 25). La formulación Sonneveld/Voogt obtuvo la cifra más baja mientras que los valores alcanzados por Hoagland/Arnon y Steiner fueron 12% más elevados y se consideraron iguales estadísticamente. Según Satti *et al.* (1996) esta respuesta se debe al efecto de la conductividad eléctrica de la fuente de nutriente (Figura 10), los frutos tienden a acumular mayor materia seca en soluciones con altos niveles de salinidad.

Peña *et al.* (2013) mencionan que el porcentaje de materia seca (Tabla 25) se encuentra para tomates de excelente calidad en el rango de 4,8 a 7,0%. Autores como López *et al.* (2008) obtuvieron niveles similares con 5,08 %, cultivando cv. Gabriela una densidad de 5 plantas m⁻² en roca volcánica con la solución Steiner.

Para la variable peso del fruto también existieron diferencias significativas conforme a los análisis estadísticos (Tabla 25). Los frutos nutridos con Sonneveld/Voogt obtuvieron cifras 21% más elevadas respecto a Hoagland/Arnon y Steiner quienes fueron los más bajos, considerándose iguales según la interpretación estadística.

Estos resultados alcanzados se consideran superiores e inferiores comparados con otros autores. Sánchez *et al.* (2014) reportó valores más bajos con 117,6 g por fruto, estos investigadores trabajaron con el híbrido “Juan Pablo”, roca volcánica de sustrato y una densidad de 6,5 plantas m⁻². A su vez, Pérez *et al.* (2012) alcanzaron cifras 38% más elevados trabajando con el cv. Francesca.

Tabla 25. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre las características físicas y químicas del fruto de tomate cv. Pietro, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

VARIABLES	P-valor	CV (%)	SOLUCIÓN FERTILIZANTE					
			Hoagland	Sonneveld	Steiner			
Diámetro Ecuatorial mayor (mm)	1,9E-07	12,20	71,57	b	76,71	a	70,12	b
Diámetro Ecuatorial menor (mm)	0,0000	12,78	67,44	b	71,60	a	65,94	b
Diámetro Polar (mm)	5,6E-10	10,07	54,94	b	58,69	a	53,5	b
Peso fresco (g)	6,5E-07	32,26	149,82	b	176,76	a	141,28	b
Materia seca (%)	0,0003	14,49	5,06	ab	4,69	b	5,41	a
Potencial de hidrógeno (pH)	0,9139	9,82	4,78	a	4,75	a	4,76	a
Sólidos totales (°Brix)	0,0000	12,04	3,6	b	3,4	b	4,0	a

Los análisis estadísticos para estas variables solo muestran datos hasta el tercer racimo, los valores con letra común dentro de las columnas, no presentan diferencias significativas con $p\text{-valor} \leq 0.05$.

Nota: p-valor= Nivel de significancia; CV= coeficiente de variación

En cuanto a la composición de nutriente del fruto de tomate las soluciones fertilizantes poseen valores similares (Tabla 26) y son superiores e inferiores comparados con otros autores. Mukta *et al.* (2015) al evaluar el efecto del vermicompost sobre la concentración de nutrientes del fruto de tomate obtuvieron mayores porcentaje en fósforo y magnesio, respecto a los otros nutrimentos los niveles fueron inferiores. Zoran *et al.* (2014) al comparar la calidad nutricional del fruto cultivado de forma convencional y orgánica reportaron mayores contenidos de nitrógeno, fósforo y magnesio con la producción orgánica y el híbrido Robin. No obstante el potasio y calcio fueron inferiores comparados con los resultados obtenidos en este experimento (Tabla 26) y son los dos nutrientes de mayor importancia en la calidad del fruto (Armenta *et al.*, 2001).

Reyes *et al.* (2016) mencionan que los frutos cosechados (Tabla, 26) según las normativas del Codex Alimentarius no poseen restricciones para el consumo respecto al contenido de cadmio (Cd). No obstante, la ingesta de estos podría causar problemas en la salud por los elevados niveles de plomo (Pb).

La fuente de donde provienen estos metales pesados es el agua de riego, el suelo y/o el aire. En este caso el análisis de agua reportó valores bajos con 0.0029 y 0.0004 mg kg⁻¹ para el plomo y cadmio, respectivamente. La planta puede absorberlos en cada momento de reposición de la solución fertilizante y aforo con agua pura.

Otras fuentes de donde provino el plomo son los materiales que se usaron para preparar el sustrato, la arena de río fue comprada en una casa comercial mientras que la cascarilla de arroz se transportó desde las zonas arroceras de la provincia del Guayas. Según Dierksmeier *et al.* (2004) la producción de arroz es una actividad que genera contaminación ambiental debido a la cantidad de pesticidas (organofosforados) que se utilizan como práctica agrícola para el control de plagas. Yucra *et al.* (2008) añade que los altos niveles de pesticidas organofosforados pueden provocar contaminación por plomo y cadmio entre otros metales pesados.

Tabla 26. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre la concentración de nutrientes y metales pesados en el fruto de tomate cv. Pietro, cultivado en sustrato inerte entre enero y abril de 2018, en la provincia de Santa Elena.

ELEMENTO	NIVELES DE REFERENCIA	SOLUCIÓN FERTILIZANTE					
		Hoagland	Sonneveld	Steiner			
N (%)		1,70	1,90	2,00			
P (%)		0,31	0,44	0,29			
K (%)		3,29	3,32	3,17			
Ca (%)		0,55	0,56	0,59			
Mg (%)		0,18	0,17	0,18			
Cd ($\mu\text{g kg}^{-1}$) ¥	50	2,15	*	2,39	*	2,07	*
Pb (mg kg^{-1}) ¥	0,1	0,11	**	0,17	**	0,40	**

¥= Nivel de referencia por (Reyes *et al.*, 2016)

*= Adecuado

**= Elevado

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Independientemente del tipo de fertilización el rendimiento del cultivo se vio seriamente afectado por el ataque de *Prodidiplosis longifila*, díptero considerada la principal plaga del cultivo de tomate en Ecuador y ocasionó pérdidas a partir del cuarto racimo, por ende el efecto de las soluciones fertilizantes sobre el rendimiento bruto y comercial fue evaluado hasta el tercer racimo. No se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos al igual que el porcentaje de desecho y la clasificación por categoría con base en peso.

En las características del fruto la fertilización con Sonneveld/Voogt presentó mayor calibre y peso fresco. No existieron diferencias significativas para el potencial de hidrógeno. En cuanto al contenido de materia seca y sólidos solubles Hoagland/Arnon y Steiner obtuvieron los valores más elevados.

El efecto de las soluciones fertilizantes sobre el patrón reproductivo no fue significativo en el número de flores, frutos, hojas entre racimos y rendimiento por racimo.

En el desarrollo fenológico del cultivo no existieron efectos significativos entre tratamientos para el diámetro del tallo y número de hojas a los 66 días después del trasplante. Las variables de altura de planta al primer racimo, peso seco de la raíz y longitud del entrenudo tampoco presentaron diferencias significativas. No obstante, la formulación propuesta por Sonneveld y Voogt presentó mayor crecimiento vegetativo en cuanto a altura total de planta y peso fresco de la raíz.

Al evaluar el contenido de macronutrientes en follaje y frutos la fertilización con Sonneveld/Voogt presentó los niveles más altos para la mayoría de los nutrimentos. El plomo, metal pesado, no es considerado un nutriente y presentó niveles relativamente altos en los frutos de tomate para las tres formulaciones, pero no fue proveniente del agua de riego.

El clima, en cuanto a humedad relativa estuvo dentro del rango adecuado para el cultivo, mientras que la temperatura y radiación excedieron los límites máximos tolerables por el cultivo, lo cual provocó algunos problemas fisiológicos en los frutos.

La temperatura y humedad relativa no influyeron sobre el déficit de presión de vapor (DPV) dentro del invernadero. Las cifras obtenidas estuvieron dentro del rango adecuado y no pudieron asociarse a ningún proceso metabólico en las plantas que afectara el rendimiento.

La cantidad de agua consumida desde el trasplante a cosecha del tercer racimo representó un 43,12% respecto de un cultivo en suelo. Esto provocó que la productividad del agua hasta la cosecha del tercer racimo superara considerablemente las cifras obtenidas en un cultivo a campo abierto.

El consumo de solución nutritiva total fue de 1,19 L planta⁻¹. En la etapa vegetativa fue necesario reponer 1,2 veces la solución fertilizante, mientras que en la reproductiva 9,1 veces.

Respecto a los parámetros químicos de las soluciones fertilizantes no fueron diferentes estadísticamente, el pH se mantuvo superior a 7 durante todo el cultivo, mientras que la conductividad eléctrica presentó elevaciones descontroladas provocadas por el manejo de la recirculación y la acumulación de elementos no deseados como bicarbonatos, cloruros y sodio. La formulación Sonneveld/Voogt se mantuvo más cercana al umbral requerido por el cultivo.

Recomendaciones

Debido a la acumulación de altos contenidos de bicarbonatos, el incremento de la conductividad eléctrica y la modificación de la relación mutua entre aniones y cationes, se recomienda adoptar un sistema hidropónico cerrado durante la fase vegetativa y abierto, es decir sin recirculación, durante la etapa reproductiva. Junto con esta modalidad se deberá modificar el tiempo y frecuencia del riego logrando más de ocho pulsos diarios para evitar grandes volúmenes de drenaje y mejorar la absorción de agua y nutrientes.

En un sistema de sustrato inerte bajo estas condiciones agroclimáticas se debiera lavar el sustrato con agua pura mínimo dos veces al mes o cuando los valores de conductividad cerca del sistema radicular sobrepase el umbral requerido, esto ayudará a lixiviar las sales acumuladas y evitar problemas de salinidad (toxicidad). Los drenajes recolectados podrán ser reutilizados previo al ajuste de sus parámetros químicos.

En función del incremento descontrolado del contenido de bicarbonatos y la presencia de un clima con prolongadas horas de luminosidad se recomienda incrementar los niveles de amonio del 15 a 20% respecto al nitrógeno total, esto se realizará en la fase vegetativa y ayudará a bajar el pH en la solución fertilizante durante la absorción del amonio.

La composición de la mezcla del sustrato y altura del contenedor resultó un impedimento en el desarrollo radicular y rendimiento del cultivo, por ende se recomienda incrementar la altura del contenedor al menos en un 50%. También se debe carbonizar la cascarilla para mejorar su capacidad de retención de humedad y evitar la descomposición biológica o sustituir el sustrato por otro material local que presente una adecuada retención de humedad.

Para mejorar la baja densidad radicular en el cultivo se podrá promover su desarrollo mediante la aplicación de bioestimulantes, como por ejemplo el extracto de algas, esto mejorará la absorción de agua y nutrientes y por ende el rendimiento.

No es aconsejable la aplicación de microorganismos benéficos al trabajar con sustratos orgánicos, estos agentes acelerarán la descomposición biológica del material y pueden modificar la composición de la solución fertilizante.

Monitorear semanalmente la concentración de sales en la rizosfera cercana al sistema radicular, ya que esta zona es un punto crítico de control al hablar de salinidad en cultivos hidropónicos.

Si bien se recomienda usar la formulación propuesta por Sonneveld y Voogt, entre las evaluadas, la solución nutritiva no fue un aspecto crítico en el éxito del cultivo, por lo que los esfuerzos en futuras investigaciones deben centrarse en aspectos como la conducción y manejo de la recirculación y control sanitario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Admin. (2016). *Ecogardenirisana*. Recuperado el 3 de Enero de 2019, de <https://ecogardenirisana.com/el-ph-en-hidroponia-y-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Agius, C., Tucher, S., Poppenberger, B., & Rozhon, W. (2018). fruits, Quantification of sugars and organic acids in tomato. *MethodsX*, 5, 537–550.
- Agrícola, R. (2017). *Cultivo hidropónico de Agro Top en Quillota-El tomate sobre sustrato 'nos cambió la vida'*. Recuperado el 15 de Enero de 2019, de <http://www.redagricola.com/cl/cultivo-hidroponico-agro-top-quillota-tomate-sustrato-nos-cambio-la-vida/>
- AGROCALIDAD. (2015). *Instructivo INT/SFA/11. Laboratorios de suelo, foliares y agua*. Recuperado el 14 de Enero de 2019, de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliares-aguas/instructivo-muestreo-foliares-laboratorios-agrocalidad.pdf>
- Agropecuarias, I. N. (2016). Reporte de análisis de agua. Quevedo-Ecuador: Estación Experimental Tropical "PICHILINGUE".
- ALASKA. (2019). *Híbridos de tomate*. Recuperado el 8 de Enero de 2019, de <http://www.imporalaska.com/23-tomates.html>
- Albornoz, F., Torres, A., Tapia, M., & Acevedo, E. (2007). Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con agua desalinizada y desborificada en el valle de LLuta. *IDESIA*, 25(2), 73-80.
- Andreau, R., Giménez, D., & Beltrano, J. (2015). *Libros de Cátedra: Cultivo en hidroponía. Primera ed. Argentina: UNLP*. (Primera ed.). Argentina: UNLP.
- Armenta, A., Baca, G., Alcántar, G., Kohashi, J., Valenzuela, J., & Martínez, A. (2001). Nitrate and potassium ratios in a drip fertigation system on production, quality and nutrient uptake in tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 7(1), 61-75.
- Barak, N. (2017). *NETAFIM*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2018, de <http://www.netafim-latinamerica.com>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Libros de Cátedra: Cultivo en hidroponía* (Primera ed.). Argentina: UNLP.
- Bezerra, E., & Paes, L. (2012). AS TÉCNICAS DE HIDROPONIA. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica*, 8(9), 107-137.
- Birgi, J. (2015). *Producción de hortalizas de hoja* (Primera ed.). Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

- Boyer, J., Fourqurean, J., & Jones, R. (1997). Spatial Characterization of Water Quality in Florida Bay and Whitewater y Multivariate Analyses: Zones of Similar Influence. *Estuaries*, 20(4), 743-758.
- Brenes, L., & Jiménez, M. (2016). *Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistemas NFT (Nutrient Film Technique)* (Primera ed.). Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Bugarín, R., Baca, G., Martínez, J., Tirado, J., & Martínez, A. (1998). Ammonium/nitrate Ratio and Total Ion Concentration in the Nutrient Solution on Chrysanthemum Growth. I. Growth and Flowering. *TERRA*, 16(2).
- Bugarín, R., Baca, G., Martínez, J., Tirado, J., & Martínez, A. (1998). Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. I. Crecimiento y floración. *Terra Latinoamericana*, 16(2), 113-124.
- Cañarte, E., Navarrete, B., & Valarezo, O. (2015). *Manejo integrado de Prodiplosis longifila (Diptera: Cecidomyiidae) principal plaga del tomate en Ecuador*. (Primera ed.). Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria.
- Carmo, M., Lucca, A., & Prieto, H. (2008). Cultivo hidropônico do tomateiro. *UNIMAR*, 19(3), 721-740.
- Castañeda. (2001). *Manual de cultivo hidropónico*. Recuperado el 27 de Junio de 2017, de <http://www.depadresahijos.org/INCAP/Hidroponicos.pdf>
- Cedeño, M. (20 de Febrero de 2018). Estación experimental tropical, INIAP-PICHILINGUE. Recuperado el 08 de Octubre de 2018, de <https://fuentesdeinformacioniapb.files.wordpress.com/2013/11/analisis-foliar.pdf>
- Cervantes, R., Arteaga, R., Vázquez, M., Ojeda, W., & Quevedo, A. (2013). Comparación de modelos para estimar la presión real de vapor de agua. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(2), 37-54.
- Céspedes, A., Sanjuán, M., & Urrestarazu, M. (2004). Producción y calidad en el cultivo de tomate cherry. En *Tratado de cultivo sin suelo* (pág. 914). España: Mundiprensa.
- Chaverría, C., Martínez, M., Alpuche, Á., & Garza, E. (2011). *Guía para cultivar jitomate en condiciones hidropónicas de invernadero en San Luis Potosí* (Primera edición ed.). México: INIFAP.
- Correa, M. (2009). *Que es hidroponía*. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/upsesp/detail.action?docID=3182839>.

- Cruz, A. (2016). Evaluación de tres variedades del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en dos sistemas de hidroponía bajo ambiente semi controlado en el centro experimental chocloca. *Revista Ventana Científica*, 7(31), 31-39.
- Cruz, E., Sandoval, M., Volke, V., Can, Á., & Sánchez, J. (2012). Mixtures of substrates and nutrient solution concentration effect on growth and yield of tomato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1361-1373.
- Dierksmeier, G., Orta, L., Hernández, R., Ricardo, C., Llanes, M., & Lazo, A. (2004). Evaluación de los insecticidas orgánofosforados en el sedimento y la biota en una zona costera del sur de Pinar del Río. *Fitosanidad*, 8(3), 55-58.
- Ecuador, M. d. (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Recuperado el 28 de Julio de 2017, de http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf
- Environment, H. (2014). *Hidroponía*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2018, de <http://hidroponia.mx/sabes-que-se-puede-cultivar-por-hidroponia/>
- Escamirosa, C., Guzmán, D., & Langlé, L. (2017). Effect of the steam pressure deficit in the growth of plants of *Agave potatorum* Zucc. low controlled and field environment. *CIVITEC*, 6(1), 18-26.
- Escobar, H., & Lee, R. (2009). *Manual de producción de Tomate bajo invernadero* (Segunda ed.). Colombia: Luis Carlos Celis C.
- FAO, L. (2003). *Manual técnico, La huerta hidropónica popular* (Tercera ed.). Chile: ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION.
- Favela, E., Preciado, P., & Benavides, A. (2006). *Manual para la preparación de soluciones nutritivas* (Primera ed.). México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Fischer, G., & Balaguera, H. (2011). Characterization of fruit growth and yield in three tomato hybrids (*Solanum lycopersicum* L.) in physiological time under greenhouse conditions. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 5(1), 44-56.
- Flores, J., Ojeda, W., López, I., Rojano, A., & Salazar, I. (2007). Water Requirements for Greenhouse Tomato. *Terra Latinoamericana*, 25(2), 127-134.
- Florido, M., & Álvarez, M. (2015). Some aspect related to heat tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 36, 77-95.

- González, K., Rodríguez, N., Trejo, L., García, J., & Sánchez, J. (2013). Efluente y té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema nft. *Interciencia*, 38(12), 863-869.
- Guerrero, E., Revelo, J., Benavides, O., Chaves, G., & Moncayo, C. (2014). Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el Municipio de Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(1), 3 - 16.
- Gutiérrez, J. (2016). *Universidad Autónoma del Estado de México*. Recuperado el 5 de noviembre de 2018, de <https://core.ac.uk/download/pdf/80531592.pdf>
- Gutiérrez, J., Rodríguez, D., Villanueva, A., García, S., & Romo, J. (2015). Calidad del agua en la producción de *Pinus cembroides* Zucc. en vivero. *Agrociencia*, 49(2), 205-219.
- Guzmán, J. (2017). *Evaluación de sustrato en el comportamiento agronómico y rendimiento de tomate (Solanum lycopersicum L.) en condiciones de invernadero*. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Hernández, M., Chailloux, M., & Arozarena, J. (2009). Rango crítico de nitrógeno y potasio en hojas indicadoras para dos épocas de plantación en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Hibridoha-3019. *Cultivos Tropicales*, 30(4), 79-86.
- Herrero, B., Blázquez, M., & Cristóbal, M. (2014). Agronomic parameters assessment in hydroponic tomato crop. *Horticultura Brasileira*, 32(4), 385-390.
- Hochmuth, G., & Hochmuth, R. (2015). *UF/IFAS Extension Service, University of Florida*. Recuperado el 27 de Junio de 2017, de <http://edis.ifas.ufl.edu>
- Howell, T., & Dusek, D. (1995). Comparison of vapor pressure deficit calculation methods, southern high plains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 121(2), 191-198.
- INAMHI. (2017). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Recuperado el 7 de Julio de 2017, de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- INEC. (2017). *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*. Recuperado el Martes de Diciembre de 2018, de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- INTAGRI. (2016). *Instituto para la Innovación Tecnológica en la agricultura* . Recuperado el 13 de Diciembre de 2018, de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/importancia-de-la-radiacion-solar-en-la-produccion-bajo-invernadero>
- Lara, A. (1999). Nutrient Solution Management in the Hydroponic Production of Tomato. *Terra Latinoamericana* , 17(3), 221-229.

- López, A., Trejo, C., Peña, C., Ramírez, C., Tijerina, L., & Carrillo, J. (2008). Partial root drying in tomato: effects on plant physiology and fruit quality. *Agricultura Técnica en México*, 34(3), 297-302.
- López, M., Partida, L., Díaz, T., Velázquez, T. B., & Enciso, T. (2014). Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 807-818.
- López, P., Cano, A., Rodríguez, S., Torres, N., Rodríguez, M., & Rodríguez, R. (2011). Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. *Tecnociencia Chihuahua*, 5(2), 98-104.
- Marlow, D. (2011). *Déficit de presión de vapor en invernadero*. Recuperado el 12 de Febrero de 2019, de <https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/invernadero/humedad-en-invernadero/>
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (Segunda ed.). San Diego, Ca., USA: Academic Press.
- Massa, L., Incrocci, R., Maggini, G., Carmassi, C., Campiotti, A., & A, P. (2010). Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless culture of greenhouse tomato. *Agric. Water Manage*, 97, 971-980.
- Mata, H., Anguiano, R., Vázquez, E., Gázano, I., González, D., Ramírez, M., . . . Cervantes, J. (2010). Producción de tomate en sistema hidropónico con solución nutritiva reciclable en sustrato de Tezontle. *CienciaUAT*, 4(4), 50-54.
- Mujica, Y., Mena, A., Medina, A., & Rosales, P. (2014). Respuesta de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) a la biofertilización líquida con *Glomus* Cubense. *Cultivos tropicales*, 35, 21-26.
- Mukta, S., Rahman, M., & Mortuza, M. (2015). Yield and Nutrient Content of Tomato as Influenced by the Application of Vermicompost and Chemical Fertilizers. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 8(2), 115-122.
- Navarro, S. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales* (Segunda ed.). España: Mundi Prensas.
- Ortega, L., Martínez, C., Ocampo, J. S., & Pérez, B. (2016). Efficiency of substrates in soil and hydroponic system for greenhouse tomato production. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 643-653.
- Ortega, L., Sánchez, J., Ocampo, J., Sandoval, E., Salcido, B., & Manzo, F. (2010). Efectos de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 6(3), 339-346.

- Osaka, U. d. (1998). *Tecnología Agrícola Aplicada al Cultivo Protegido*. Recuperado el 7 de Febrero de 2018, de <https://tecnologiaagricola.wordpress.com/2012/09/28/cultivos-hidroponicos/>
- Parra, S., Mendoza, G., & Villarreal, M. (2012). Relation nitrate / ammonium / urea and potassium concentration in hydroponic tomato production. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 113-124.
- Parra, S., Mendoza, G., & Villarreal, M. (2012). Relation nitrate / ammonium / urea and potassium concentration in hydroponic tomato production. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 113-124.
- Peña, M., Casierra, F., & Oscar, M. (2013). Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 217-227.
- Pérez, M., Albarracín, M., Moratinos, H., & Zapata, F. (2012). Rendimiento y calidad de fruto en cuatro cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones protegidas. *Rev. Fac. Agron*, 29(1), 395-412.
- Preciado, P., Fortis, M., García, J., Rueda, E., Esparza, J., Herrera, A., . . . Orozco, J. (2011). Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36(9), 689-693.
- Proaño, J., & Briones, C. (2008). *Gestion de riego y la salinidad en los cultivos de la Peninsula de Santa Elena y la Cuenca baja del Río Guayas*. Recuperado el 15 de Mayo de 2017, de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/5.-Jaime-Proano.-Riego.pdf>
- Putra, A., & Yuliando, H. (2015). Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: A Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3(1), 283-288.
- Ramírez, C., & Nienhuis, J. (2012). *Crecimiento y productividad del tomate (Lycopersicon esculentum Mill) bajo cultivo protegido hidropónico en tres localidades de Costa Rica*. Costa Rica: Universidad Nacional de Costa Rica.
- Ramírez, C., Magnitskiy, S., Melo, S., & Melgarejo, L. (2018). Efecto de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el crecimiento del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) en etapa vegetativa. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 31-40. doi:<http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7469>
- Reyes, C. (2009). *Evaluación de híbridos de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) en hidroponía aplicando bioestimulante de jisamar en el cantón La Libertad*. La Libertad–Ecuador: UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA. Obtenido de <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/917>

- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & Gonzáles, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Ríncon, S. (1997). Características y manejo de sustratos inorgánicos en fertirrigación. España. : I Congreso Ibérico y III Nacional.
- Rivera, E., Sandoval, M., Rodríguez, M., Trejo, C., & Gasga, R. (2014). Fertilización de tomate con nitrato y amonio en raíces separadas en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(1), 57-70.
- Rodriguez, A. (2012). Advances of hydroponics in Latin America. *In II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics*, 23-32.
- Rodríguez, E., Salcedo, E., Rodríguez, R., González, D., & Mena, S. (2013). Effect on Physical Properties and Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) Production. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 275-284.
- Rodriguez, R., Lara, A., Lozano, J., Padilla, L., Avelar, J., & Castañeda, R. (2016). Yield and quality of tomato in open and closed hydroponic systems. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(17), 3439-3452.
- Rodriguez, R., Lara, A., Padilla, L., Avelar, J., & España, M. (2018). Proporción de drenaje de la solución nutritiva en el rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(20), 4343-4353.
- Salazar, R., Rojano, A., & Lorenzo, I. (2014). Water Use Efficiency in Controlled Agriculture. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(2), 177-183.
- Sánchez, F., Moreno, E., Pineda, J., Osuna, J., Rodríguez, J., & Osuna, T. (2014). Hydroponic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production with and without recirculation of nutrient solution. *Agrociencia*, 48, 185-197.
- Santos, B., & Ríos, D. (2016). *Cálculo de Soluciones Nutritivas en suelo y sin suelo* (Primera ed.). España: Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife.
- Satti, S., Yhyai, ., & Said, F. (1996). Fruit quality and partitioning of mineral elements in processing tomato in response to saline nutrients. *Journal of Plant Nutrition*, 19(5), 705-715.
- Savvas, D., Sigrimis, E., & Paschalidis, C. (2009). Impact of a progressive Na and Cl accumulation in the root zone on pepper grown in a closed-cycle hydroponic system. *Acta Hort*(807), 451-456.
- SINAGAP. (2016). *Ministerio de agricultura y ganadería, Boletín situacional del tomate riñon*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2018, de

http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2016/boletin_situacional_tomate_rinon_2015.pdf

- Soto, F. (2015). Oxifertirrigación química mediante riego en tomate hidropónico cultivado en invernadero. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 277-289.
- Takahashi, H., Barzan, R., Bertonecelli, D., Prenzier, A., Freitas, G., Loreto, M., . . . Silva, J. (2018). Manejo da solução nutritiva sobre a qualidade pós-colheita de tomate salada fertirrigado em areia. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21, 1-6. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.14416>
- Tomalá, S. (2017). *Evaluación de genotipos de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) tolerantes al estre hídrico en manglaralto, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena*. Santa Elena: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Tüzel, I., Tunali, Y., & Öztekin, G. (2009). Effects of salinity on tomato in a closed system. *Acta Hort.*(807), 457-462.
- Ucan, I., Sánchez, F., Contreras, E., & Corona, T. (2005). Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(1), 33-38.
- UGR. (2016). *Universidad de Granada*. Recuperado el 1 de Enero de 2019, de <https://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema06.pdf>
- Urrestarazu, M. (2004). *Tratado de cultivo sin suelo* (Tercera ed.). España: Mundi-Prensa.
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e Hidroponía* (Primera ed.). España: Mundi-Prensa.
- Urrestarazu, M., & Mazuela, P. (2005). Effect of slow-release oxygen supply by fertigation on horticultural crops under soilless culture. *Scientia Horticulturae*, 106(4), 484-490.
- Urrieta, J., Rodríguez, M., Ramírez, P., Baca, G., Ruiz, L., & Cueto, J. (2012). Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.*, 18(3), 371-381.
- Valenzuela, M., Partida, L., Díaz, T., Velázquez, T., Bojórquez, G., & Enciso, T. (2014). Response of tomato grown in hydroponics with nutrient solutions in substrate-coir vermicompost. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 807-818.
- Vázquez, R., Valdez, R., Blanco, F., Ojeda, M. d., & Martínez, J. (2010). Producción hidropónica de Nopal Verdura. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 1(5), 15.

- Weerakkody, W., Wakui, K., & Nukaya, A. (2011). Plant nutrient uptake in recirculation culture of tomato under growth stage based electrical conductivity adjustments. *National Science Foundation of Sri Lanka*, 39(2), 139-147.
- Yucra, M., Gasco, M., Rubio, J., & Gonzales, G. (2008). Exposición ocupacional a plomo y pesticidas órganofosforados: efecto sobre la salud reproductiva masculina. *evista peruana de medicina experimental y salud pública*, 25(4), 394-402.
- Zoran, I., Nikolaos, K., & Ljubomir, Š. (2014). Tomato fruit quality from organic and conventional production. *Agricultural and Biological Sciences*, "organic Agriculture towards sustainability, edited by Vytautas Pilipavivius, Lithunia, InTech Publisher(148-169). doi:dx.doi.org/10.5772/58239

ANEXOS



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme, Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

<p>DATOS DEL PROPIETARIO</p> <p>Nombre : Universidad Estatal Peninsula de Sta. Elena Dirección : Ciudad : La Libertad Teléfono : 042781732 Fax :</p>	<p>DATOS DE LA PROPIEDAD</p> <p>Nombre : Universidad Estatal Peninsula Provincia : Santa Elena Cantón : Libertad Parroquia : Ubicación :</p>
<p>DATOS DEL LOTE</p> <p>Superficie : Identificación : Tratamiento I F1</p>	<p>PARA USO DEL LABORATORIO</p> <p>Nº Reporte : 1532 Nº Muestra Lab. : 1208 Fecha de Muestreo : 20/02/2018 Fecha de Ingreso : 20/02/2018 Fecha de Reporte : 06/03/2018</p>

Parámetro	Unidad	Contenido	Interpretación
CE	dS/m	3,00	Puede Causar Restricción en el uso
TSD	mg/l	1.465,00	Puede Causar Restricción en el uso
Ca	mg/l	356,40	Puede Causar Restricción en el uso
Mg	mg/l	98,00	Puede Causar Restricción en el uso
Na	mg/l	17,40	Normal(Sin Restricciones en el uso)
K	mg/l	130,19	Puede Causar Restricción en el uso
CO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
HCO ₃	mg/l	1.007,70	Puede Causar Restricción en el uso
Cl	mg/l	469,00	Puede Causar Restricción en el uso
SO ₄	mg/l	7,50	Normal(Sin Restricciones en el uso)
NO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Fe	mg/l	0,78	Puede Causar Restricción en el uso
B	mg/l	1,37	Puede Causar Restricción en el uso
pH		7,50	Puede Causar Restricción en el uso
RAS	(meq/l)½	0,21	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Dureza	mg/l	1.299	Muy Dura

Interpretación de pH
 pH < 4.5 ó pH > 8 (Severa restricción en el uso)

Unidades:
 dS/m = deciSiemens/metro
 mg/l = miligramos/litro = ppm
 meq/l = miliequivalentes/litro
 (meq/l)½ = raíz cuadrada de meq/l
 ppm = partes por millón

OBSERVACIONES
 C4 Agua de salinidad muy alta, que en muchos casos no es apta para el riego. S1. Agua con bajo contenido en Sodio. Pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio

La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados



[Signature]
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

[Signature]
 RESPONSABLE LABORATORIO

Figura 1 A. Análisis químico de drenaje a los 24 días después del trasplante (Hoagland).



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

<p>DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : Universidad Estatal Península de Sta. Elena Dirección : Ciudad : La Libertad Teléfono : 042781732 Fax :</p>	<p>DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : Universidad Estatal Península Provincia : Santa Elena Cantón : Libertad Parroquia : Ubicación :</p>
<p>DATOS DEL LOTE Superficie : Identificación : Tratamiento 1 F2</p>	<p>PARA USO DEL LABORATORIO Nº Reporte : 3745 Nº Muestra Lab. : 1211 Fecha de Muestreo : 20/02/2018 Fecha de Ingreso : 20/02/2018 Fecha de Reporte : 05/03/2018</p>

Parámetro	Unidad	Contenido	Interpretación
CE	dS/m	3,99	Puede Causar Restricción en el uso
TSD	mg/l	19,56	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Ca	mg/l	507,90	Puede Causar Restricción en el uso
Mg	mg/l	122,20	Puede Causar Restricción en el uso
Na	mg/l	13,20	Normal(Sin Restricciones en el uso)
K	mg/l	148,96	Puede Causar Restricción en el uso
CO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
HCO ₃	mg/l	1.173,60	Puede Causar Restricción en el uso
Cl	mg/l	717,50	Puede Causar Restricción en el uso
SO ₄	mg/l	5,70	Normal(Sin Restricciones en el uso)
NO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Fe	mg/l	0,54	Puede Causar Restricción en el uso
B	mg/l	1,62	Puede Causar Restricción en el uso
pH		7,40	Puede Causar Restricción en el uso
RAS	(meq/l)½	0,14	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Dureza	mg/l	1.778	Muy Dura

Interpretación de pH
 pH < 4.5 ó pH > 8 (Severa restricción en el uso)

OBSERVACIONES
 C4 Agua de salinidad muy alta, que en muchos casos no es apta para el riego. S1 Agua con bajo contenido en Sodio. Pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio

Unidades:
 dS/m = deciSiemens/metro
 mg/l = miligramos/litro = ppm
 meq/l = miliequivalentes/litro
 (meq/l)½ = raíz cuadrada de meq/l
 ppm = partes por millón

La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados



X. W. [Signature]
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

[Signature]
 RESPONSABLE LABORATORIO

Figura 2 A. Análisis químico de drenaje a los 38 días después del trasplante (Hoagland).



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf. 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

<p align="center">DATOS DEL PROPIETARIO</p> <p>Nombre : Universidad Estatal Peninsula de Sta. Elena Dirección : Ciudad : La Libertad Teléfono : 042781732 Fax :</p>	<p align="center">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> <p>Nombre : Universidad Estatal Peninsula Provincia : Santa Elena Cantón : Libertad Parroquia : Ubicación :</p>
<p align="center">DATOS DEL LOTE</p> <p>Superficie : Identificación : Tratamiento 2 F1</p>	<p align="center">PARA USO DEL LABORATORIO</p> <p>N° Reporte : 3745 N° Muestra Lab. : 1209 Fecha de Muestreo: 20/02/2018 Fecha de Ingreso : 20/02/2018 Fecha de Reporte : 05/03/2018</p>

Parámetro	Unidad	Contenido	Interpretación
CE	dS/m	3,68	Puede Causar Restricción en el uso
TSD	mg/l	1.805,00	Puede Causar Restricción en el uso
Ca	mg/l	461,00	Puede Causar Restricción en el uso
Mg	mg/l	111,60	Puede Causar Restricción en el uso
Na	mg/l	16,94	Normal(Sin Restricciones en el uso)
K	mg/l	142,97	Puede Causar Restricción en el uso
CO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
HCO ₃	mg/l	1.141,90	Puede Causar Restricción en el uso
Cl	mg/l	630,00	Puede Causar Restricción en el uso
SO ₄	mg/l	5,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
NO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Fe	mg/l	0,51	Puede Causar Restricción en el uso
B	mg/l	1,39	Puede Causar Restricción en el uso
pH		7,40	Puede Causar Restricción en el uso
RAS	(meq/l) ^{1/2}	0,18	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Dureza	mg/l	1.617	Muy Dura

Interpretación de pH
 pH < 4.5 ó pH > 8 (Severa restricción en el uso)

Unidades:
 dS/m = deciSiemens/metro
 mg/l = miligramos/litro = ppm
 meq/l = miliequivalentes/litro
 (meq/l)^{1/2} = raíz cuadrada de meq/l
 ppm = partes por millón

OBSERVACIONES

C4 Agua de salinidad muy alta, que en muchos casos no es apta para el riego. S1. Agua con bajo contenido en Sodio. Pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio

La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados



X. W. [Signature]
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

[Signature]
 RESPONSABLE LABORATORIO

Figura 3 A. Análisis químico de drenaje a los 24 días después del trasplante (Sonneveld).



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

<p align="center">DATOS DEL PROPIETARIO</p> <p>Nombre : Universidad Estatal Peninsula de Sta. Elena Dirección : Ciudad : La Libertad Teléfono : 042781732 Fax :</p>	<p align="center">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> <p>Nombre : Universidad Estatal Peninsula Provincia : Santa Elena Cantón : Libertad Parroquia : Ubicación :</p>
<p align="center">DATOS DEL LOTE</p> <p>Superficie : Identificación : Tratamiento 2 F2</p>	<p align="center">PARA USO DEL LABORATORIO</p> <p>Nº Reporte : 3745 Nº Muestra Lab. : 1212 Fecha de Muestreo : 20/02/2018 Fecha de Ingreso : 20/02/2018 Fecha de Reporte : 05/03/2018</p>

Parámetro	Unidad	Contenido	Interpretación
CE	dS/m	3,52	Puede Causar Restricción en el uso
TSD	mg/l	10,81	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Ca	mg/l	463,40	Puede Causar Restricción en el uso
Mg	mg/l	94,70	Puede Causar Restricción en el uso
Na	mg/l	12,94	Normal(Sin Restricciones en el uso)
K	mg/l	140,97	Puede Causar Restricción en el uso
CO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
HCO ₃	mg/l	1.063,80	Puede Causar Restricción en el uso
Cl	mg/l	619,50	Puede Causar Restricción en el uso
SO ₄	mg/l	2,20	Normal(Sin Restricciones en el uso)
NO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Fe	mg/l	1,48	Puede Causar Restricción en el uso
B	mg/l	1,52	Puede Causar Restricción en el uso
pH		7,40	Puede Causar Restricción en el uso
RAS	(meq/l)½	0,14	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Dureza	mg/l	1.553	Muy Dura

Interpretación de pH
 pH < 4.5 ó pH > 8 (Severa restricción en el uso)

Unidades:
 dS/m = deciSiemens/metro
 mg/l = miligramos/litro = ppm
 meq/l = miliequivalentes/litro
 (meq/l)½ = raíz cuadrada de meq/l
 ppm = partes por millón

OBSERVACIONES
 C4 Agua de salinidad muy alta, que en muchos casos no es apta para el riego. S1. Agua con bajo contenido en Sodio. Pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio

La muestra será guardada en el laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados.



X. W. Amb...
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

[Signature]
 RESPONSABLE LABORATORIO

Figura 4 A. Análisis químico de drenaje a los 38 días después del trasplante (Sonneveld).



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf. 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

<p align="center">DATOS DEL PROPIETARIO</p> <p>Nombre : Universidad Estatal Península de Sta. Elena Dirección : Ciudad : La Libertad Teléfono : 042781732 Fax :</p>	<p align="center">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> <p>Nombre : Universidad Estatal Península Provincia : Santa Elena Cantón : Libertad Parroquia : Ubicación :</p>
<p align="center">DATOS DEL LOTE</p> <p>Superficie : Identificación : Tratamiento 3 F1</p>	<p align="center">PARA USO DEL LABORATORIO</p> <p>N° Reporte : 3745 N° Muestra Lab. : 1210 Fecha de Muestreo : 20/02/2018 Fecha de Ingreso : 20/02/2018 Fecha de Reporte : 05/03/2018</p>

Parámetro	Unidad	Contenido	Interpretación
CE	dS/m	6,90	Puede Causar Restricción en el uso
TSD	mg/l	3.454,00	Puede Causar Restricción en el uso
Ca	mg/l	1.036,63	Puede Causar Restricción en el uso
Mg	mg/l	141,50	Puede Causar Restricción en el uso
Na	mg/l	13,13	Normal(Sin Restricciones en el uso)
K	mg/l	188,10	Puede Causar Restricción en el uso
CO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
HCO ₃	mg/l	1.659,20	Puede Causar Restricción en el uso
Cl	mg/l	1.438,50	Puede Causar Restricción en el uso
SO ₄	mg/l	32,80	Normal(Sin Restricciones en el uso)
NO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Fe	mg/l	0,55	Puede Causar Restricción en el uso
B	mg/l	1,58	Puede Causar Restricción en el uso
pH		76,00	Puede Causar Restricción en el uso
RAS	(meq/l)½	0,10	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Dureza	mg/l	3.181	Muy Dura

Interpretación de pH
 pH < 4.5 ó pH > 8 (Severa restricción en el uso)

Unidades:
 dS/m = deciSiemens/metro
 mg/l = miligramos/litro = ppm
 meq/l = miliequivalentes/litro
 (meq/l)½ = raíz cuadrada de meq/l
 ppm = partes por millón

OBSERVACIONES
 C6 Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego. S1. Agua con bajo contenido en Sodio. Pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio

La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados



x. W. Infante
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

[Signature]
 RESPONSABLE LABORATORIO

Figura 5 A. Análisis químico de drenaje a los 24 días después del trasplante (Steiner).



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"

LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS

Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24
Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

<p>DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : Universidad Estatal Península de Sta. Elena Dirección : Ciudad : La Libertad Teléfono : 042781732 Fax :</p>	<p>DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : Universidad Estatal Península Provincia : Santa Elena Cantón : Libertad Parroquia : Ubicación :</p>
<p>DATOS DEL LOTE Superficie : Identificación : Tratamiento 3 F2</p>	<p>PARA USO DEL LABORATORIO Nº Reporte : 3745 Nº Muestra Lab. : 1213 Fecha de Muestreo : 20/02/2018 Fecha de Ingreso : 20/02/2018 Fecha de Reporte : 05/03/2018</p>

Parámetro	Unidad	Contenido	Interpretación
CE	dS/m	4,42	Puede Causar Restricción en el uso
TSD	mg/l	3.380,00	Puede Causar Restricción en el uso
Ca	mg/l	614,90	Puede Causar Restricción en el uso
Mg	mg/l	113,10	Puede Causar Restricción en el uso
Na	mg/l	9,65	Normal(Sin Restricciones en el uso)
K	mg/l	143,77	Puede Causar Restricción en el uso
CO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
HCO ₃	mg/l	1.349,30	Puede Causar Restricción en el uso
Cl	mg/l	770,00	Puede Causar Restricción en el uso
SO ₄	mg/l	3,40	Normal(Sin Restricciones en el uso)
NO ₃	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Fe	mg/l	0,44	Puede Causar Restricción en el uso
B	mg/l	1,45	Puede Causar Restricción en el uso
pH		7,60	Puede Causar Restricción en el uso
RAS	(meq/l) ^{1/2}	0,09	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Dureza	mg/l	2.008	Muy Dura

Interpretación de pH
pH < 4.5 ó pH > 8 (Severa restricción en el uso)

OBSERVACIONES
C5 Agua de salinidad excesiva, que solo debe emplearse en casos muy contados, tomando todas las precauciones. S1. Agua con bajo contenido en Sodio. Pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio

Unidades:
dS/m = deciSiemens/metro
mg/l = miligramos/litro = ppm
meq/l = miliequivalentes/litro
(meq/l)^{1/2} = raíz cuadrada de meq/l
ppm = partes por millón

La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados.



X. W. Jiménez
RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

[Signature]
RESPONSABLE LABORATORIO

Figura 6 A. Análisis químico de drenaje a los 38 días después del trasplante (Steiner).

INIRAP
ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km 5 Carretera Quevedo – El Empalme; Apartado 12-02-24
 Quevedo – Ecuador Teléfono : 2783044 Ext.201

Nombre del Propietario :	Universidad Estatal Península de Sta. Elena	Telef :	Reporte N° :	1532	
Nombre de la Propiedad :	Universidad Península de Sta. Elena	Cultivo :	Tomate	Fecha de muestreo :	04/05/2018
Localización :	La Libertad	Santa Elena	Fecha de ingreso:	04/05/2018	
	Parroquia	Cantón	Provincia	Fecha salida resultados:	23/05/2018

RESULTADOS E INTERPRETACION DE ANÁLISIS ESPECIAL

Número de Laboratorio	Identificación de las Muestras	M. Seca %	Concentración %						ppm					
			Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre	Sodio	Hierro	Zinc	Cobre	Hierro	Manganeso
66101	Tratamiento 1 R1	93	1.7	0.31	3.29	0.55	0.18							
66102	Tratamiento 2 R1	92	1.9	0.44	3.32	0.56	0.17							
66103	Tratamiento 3 R1	92	2.0	0.29	3.17	0.59	0.18							

Observaciones:

x. w. Carrillo Z.
 Dr. Manuel Carrillo Z
 RESP. DEPARTAMENTO

Efraim Flores
 LABORATORISTA

La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados.

Figura 7 A. Contenido de nutriente del fruto de tomate.

INIRAP
ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km 5 Carretera Quevedo – El Empalme; Apartado 24
 Quevedo – Ecuador Teléfonos: 783044 783128 Ext. 201

Nombre del Propietario :	Universidad Estatal Península Sta. Elena	Telef :	Reporte N° :	1532	
Nombre de la Propiedad :	Universidad Península Sta. Elena	Cultivo :	Tomate Deshidratado	Fecha de muestreo :	04/05/2018
Localización :	La Libertad	Península de Sta. Elena	Fecha de ingreso:	04/05/2018	
	Parroquia	Cantón	Provincia	Fecha salida resultados:	22/05/2018

RESULTADOS E INTERPRETACION DE ANÁLISIS ESPECIAL DE CADMIO Y PLOMO EN TEJIDOS DE TOMATE

Número de Laboratorio	Identificación de las Muestras	Cd	Pb
		$\mu\text{g kg}^{-1}$	mg kg^{-1}
148	Tratamiento 1 R1	2.15	0.11
149	Tratamiento 2 R1	2.39	0.17
150	Tratamiento 3 R1	2.07	0.40

1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ = 1ppb (partes por billón)
 1 mg kg^{-1} = 1ppm (partes por millón)
 1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ = 1 mg kg^{-1} /1000

M. Carrillo Z.
 RESPONSABLE DPTO.



Efraim Flores
 LABORATORISTA

La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados.

Figura 8 A. Contenido de metales pesados del fruto de tomate.



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 12-02-24
 Quevedo - Ecuador Teléfono : 2783044 Ext.201

Nombre del Propietario :	Universidad Estatal Península de Sta. Elena	Telef :	Reporte N° :	1532
Nombre de la Propiedad :	Universidad Península de Sta. Elena	Cultivo :	Fecha de muestreo :	21/02/2018
Localización :	La Libertad	Santa Elena	Fecha de ingreso:	21/02/2018
	Parroquia	Cantón	Provincia	Fecha salida resultados:

RESULTADOS E INTERPRETACION DE ANÁLISIS ESPECIAL

Número de Laboratorio	Identificación de las Muestras	M. Seca %	Concentración %						ppm					
			Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre	Sodio	Boro	Zinc	Cobre	Hierro	Manganeso
65007	Tratamiento 1	12	3.0	0.23	3.48	1.61	0.42							
65008	Tratamiento 2	11	3.3	0.34	2.99	1.86	0.42							
65009	Tratamiento 3	11	3.1	0.20	4.28	2.16	0.51							

Observaciones:

X. 
 Dr. Manuel Carrillo Z
 RESP. DEPARTAMENTO


 LABORATORISTA



La muestra será guardada en el Laboratorio

Figura 9 A. Contenido de nutriente del área foliar del cultivo de tomate.



Figura 10 A. Preparación y acondicionamiento de cajones.



Figura 11 A. Establecimiento del cultivo.



Figura 12 A. Evaluación de datos fenológicos.



Figura 13 A. Visita de maestrantes de la Universidad católica y Almería España.



Figura 14 A. Registro de parámetros químicos de las soluciones fertilizantes.



Figura 15 A. Cosecha.



Figura 16 A. Diagnóstico de plagas y enfermedades.



Figura 17 A. Ataque de plaga (*Prodiplosis logifila*).

