

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE



“PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* Mill) SUMINISTRANDO MICRONANOBURBUJAS AL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO”

Presentada por:

EDUARDO ARIEL CASTRO BLANDIN

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO MAGISTER
SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE**

Lima, Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE

**“PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*
Mill) SUMINISTRANDO MICRONANOBURBUJAS AL SISTEMA DE
RIEGO POR GOTEO”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO MAGISTER
SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE**

Presentada por:

EDUARDO ARIEL CASTRO BLANDIN

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Absalón Vásquez Villanueva

PRESIDENTE

Mg.Sc. Miguel Sánchez Delgado

ASESOR

Mg. Sc. David Ascencios Templo

MIEMBRO

Mg.Sc. Luis Tomassini Vidal

MIEMBRO

DEDICATORIA

A mi **DIOS TODO PODEROSO** por darme la oportunidad de salir adelante con éxitos, demostrarme día con día su infinito amor y misericordia, dándome sabiduría y fortalezas para cumplir cada meta propuesta.

A mis preciados padres **Mirian Lourdes Blandin** y **Willian Omar Cárcamo**, a ellos debo todo mis logros alcanzados, los amo, respeto, y brindo toda mi admiración.

A mi hermano **Santiago Antonio Blandin** siempre me ha brindado su apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida.

A mi tía **Dina Ruth Blandin** por estar disponible siempre en los momentos que la he necesitado y ser una madre para mí.

AGRADECIMIENTO

A **DIOS TODO PODEROSO**, por brindarme la oportunidad de existir y permitirme cumplir cada una de mis metas propuestas hasta hoy, tener cuidado de mi vida y darme la orientación para que cada actividad emprendida salga bien.

A mis preciados padres **Mirian Lourdes Blandin** y **Willian Omar Cárcamo**, por brindarme la orientación adecuada para enfrentar la vida, gracias a sus esfuerzos, sacrificios y dedicación.

A la **Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)**, a cada miembro del personal técnico, docente y administrativo y a cada una de las personas que contribuyeron a mi formación en esta noble institución, mil gracias.

Al **Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral (CIHNM)**, por brindar las condiciones para complementar mi formación académica.

Al **Ph.D.** Alfredo Rodríguez, por su colaboración y orientación en mi formación académica y científica.

A mi patrocinador de tesis **Mg.Sc.** Miguel Sánchez, **Mg.Sc.** David Ascencios y **Mg.Sc.** Luis Tomassini por brindarme su apoyo y orientación para realizar mi trabajo de tesis.

A la empresa **Acquamas Perú. S.A.C.** por su crucial colaboración brindando el equipo generador de micronanoburbujas.

A mis amigos, por compartir gratas experiencias y brindar su colaboración cuando fue requerida.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. HIDROPONÍA	4
2.1.1. Técnicas de sustratos (orgánicos e inorgánicos).....	4
2.2. INVESTIGACIONES DE SUMINISTRO DE OXÍGENO EN HIDROPONÍA	8
2.2.1. En cultivos haciendo incorporación de oxígeno al sistema	9
2.2.2. Empleando equipos generadores de micronanoburbujas.....	12
2.2.3. Nanotecnología para generar micronanoburbujas (MNB)	13
2.3. CULTIVO DE TOMATE.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. UBICACIÓN	19
3.1.1. Parámetros climáticos durante la investigación.....	20
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	20
3.3. MÉTODOS	21
3.3.1. Población y muestra.....	21
3.3.2. Procedimiento de la investigación	23
3.3.3. Análisis estadístico	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1. VARIABLES BIOMÉTRICAS.....	34
4.1.1. Altura de planta.....	34
4.1.2. Días a floración.....	37
4.1.3. Días a fructificación.....	37
4.1.4. Días a cosecha.....	37
4.1.5. Longitud de raíz.....	37
4.1.6. Peso fresco de raíz	38
4.1.7. Peso seco de raíz	38

4.2.	COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DE RENDIMIENTO.....	39
4.2.1.	Números de frutos por planta	40
4.2.2.	Peso fresco promedio de fruto (g)	42
4.2.3.	Peso seco promedio de fruto (g)	43
4.2.4.	Peso fresco de fruto por planta (g).....	44
4.2.5.	Peso seco de fruto por planta (g)	45
4.3.	PRODUCCIÓN DE TOMATE EN HIDROPONÍA CONVENCIONAL Y SUMINISTRANDO MNB A LA SN EN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN DOS SUSTRATOS	46
4.3.1.	Rendimiento (Kg.m ⁻²).....	46
4.3.2.	Frutas no comerciales	48
4.3.3.	Requerimientos hídricos del cultivo de tomate.....	49
V.	CONCLUSIONES	52
VI.	RECOMENDACIONES.....	53
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
VIII.	ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Cuadro 1: Propiedades físicas de algunos sustratos	5
Cuadro 2: Formulación de la solución nutritiva (g.L^{-1}) en las etapas fenológicas del cultivo de tomate.....	7
Cuadro 3: Distribución de la población a evaluar	21
Cuadro 4: Análisis de varianza.....	33
Cuadro 5: Crecimiento del cultivo de tomate indeterminado, incorporando MNB a la solución nutritiva, cultivado en dos sustratos.....	34
Cuadro 6: Rendimiento alcanzado del cultivo de tomate indeterminado, incorporando MNB a la solución nutritiva, cultivado en dos sustratos.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Ubicación del experimento	19
Figura 2: Condiciones climáticas en el CIHNM durante la investigación	20
Figura 3: Distribución de los tratamientos en campo	22
Figura 4: Colocación de malla sombra	23
Figura 5: Instalación del tanque de solución nutritiva y el sistema generador de MNB	24
Figura 6: Componentes del sistema de riego en las mangas	25
Figura 7: Lavado de sustratos	26
Figura 8: Preparación del sustrato cascarilla de arroz más arena	26
Figura 9: Semillero de plántulas de tomate	27
Figura 10: Trasplante de plántulas de tomate	27
Figura 11: Medición de oxígeno disuelto	28
Figura 12: Sistema de tutorado para cultivo de tomate indeterminado	28
Figura 13: Longitud de raíz	30
Figura 14: Frutos de tomate incorporando micronanoburbujas	31
Figura 15: Frutos de tomate sin incorporar micronanoburbujas	31
Figura 16: Secado de fruto en estufa	32
Figura 17: Efecto de la incorporación de MNB en la en la solución nutritiva sobre la altura de planta (cm) de tomate cultivado en dos sustratos	36
Figura 18: Número de frutos por cosecha Con y Sin MNB a la solución nutritiva, cultivado en dos sustratos	41
Figura 19: Peso fresco promedio de fruto (g) alcanzado del cultivo de tomate incorporando MNB a la solución nutritiva, cultivado en dos sustratos	43
Figura 20: Peso fresco de frutos por planta (g) alcanzado por el cultivo de tomate incorporando MNB a la solución nutritiva, cultivado en dos sustratos	44
Figura 21: Peso seco de frutos por planta (g) alcanzado por el cultivo de tomate incorporando MNB a la solución nutritiva cultivado en dos sustratos.	45
Figura 22: Efecto de la incorporación de MNB a la solución nutritiva en el rendimiento (Kg.m^{-2}) de tomate cultivado en dos sustratos	46

Figura 24: Efecto de la incorporación de MNB a la solución nutritiva en el número de frutos no comerciales de tomate cultivado en dos sustratos	48
Figura 23: Consumo y uso del agua de riego (solución nutritiva).....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1: Condiciones metereologicas en el CIHNM del 08 de marzo al 07 de julio 2018	62
Anexo 2: Formulación de la solución nutritiva para 600 L.....	65
Anexo 3 Análisis de agua con la cual se preparó solución nutritiva	66
Anexo 4: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura de planta (cm).....	67
Anexo 5: Parámetros hídricos de los sustratos	67
Anexo 6: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable día a floración	68
Anexo 7: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable días a fructificación	68
Anexo 8: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable días a cosecha	68
Anexo 9: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable longitud de raíz (cm).....	68
Anexo 10: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso fresco de raíz (g).....	68
Anexo 11: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso seco raíz (g)	69
Anexo 12: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable número de frutos por planta..	69
Anexo 13: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso fresco promedio de	
fruto (g).....	69
Anexo 14: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso seco promedio de fruto (g)	
.....	69
Anexo 15: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso fresco de fruto por planta	
(g)	69
Anexo 16: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso seco de fruto por planta (g)	
.....	70
Anexo 17: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable rendimiento (Kg.m ⁻²).....	70
Anexo 18: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable frutos no comerciales.....	70
Anexo 19: Requerimiento y consumo de agua (solución nutritiva) del cultivo de tomate .	70

RESUMEN

Se evaluó el efecto en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill) cultivado mediante hidroponía suministrando micronanoburbujas (MNB) al sistema de riego por goteo (solución nutritiva) en dos sustratos: arena (Ar) y mezcla de cascarilla de arroz con arena (CAr), en el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Nacional Agraria la Molina durante el periodo marzo a agosto 2018. La fase experimental concluyó con la quinta cosecha del cultivo en un ciclo de producción, se empleó un diseño completamente al azar con cuatro y 15 repeticiones. Se estudiaron las variables biométricas cuantificando, altura de planta, días a floración, fructificación y cosecha; longitud, peso seco y fresco de raíz. También se hizo evaluación de variables de rendimiento, determinando frutos por planta, peso fresco y seco promedio de fruto, peso fresco y seco de frutos por planta, rendimiento, y frutos no comerciales. Las MNB tuvieron un efecto positivo en la mayoría de las variables de producción, a excepción de días a floración, fructificación y cosecha; el número de frutos por planta fue superior con 20.33 (ConMNB en CAr) a 16.60 (SinMNB en Arn), un peso fresco de fruto por planta de 2,558.6 g (ConMNB en CAr) versus a 1,961.33 g (SinMNB en CAr), mayor peso seco de frutos con 129.88 g (ConMNB en CAr) a 117.33 g (SinMNB en CAr); de igual manera el rendimiento fue superior obteniendo 9.47 Kg.m⁻² (ConMNB en CAr) sobre 7.26 Kg.m⁻² (SinMNB en CAr), el empleo de MNB redujo el número de frutos no comerciales. Las micronanoburbujas pueden ser empleadas para mejorar la producción de tomate hidropónico.

Palabras claves: Micronanoburbujas, solución nutritiva, hidroponía, sustrato, producción, riego.

ABSTRACT

The effect on tomato production (*Solanum lycopersicum* Mill) cultivated by hydroponics was evaluated by supplying micronanobubbles (MNB) to the drip irrigation system (nutritive solution) in two substrates: sand (Ar) and rice husk mixture with sand (CAr), at the Mineral Hydroponics and Nutrition Research Center of the National Agrarian University of La Molina during the period March to August 2018. The experimental phase concluded with the fifth crop harvest in a production cycle, a completely randomized design was used with four treatments and 15 repetitions. Biometric variables were studied by quantifying, plant height, days to flowering, fruiting and harvest; Length, dry and fresh root weight. Evaluation of performance variables was also made, determining fruits per plant, average fresh and dry fruit weight, fresh and dry fruit weight per plant, yield, and non-commercial fruits. The MNB had a positive effect on most of the production variables, except for days to flowering, fruiting and harvesting; the number of fruits per plant was higher with 20.33 (ConMNB in CAr) to 16.60 (SinMNB in Arn), a fresh weight of fruit per plant of 2,558.6 g (ConMNB in CAr) versus 1,961.33 g (SinMNB in CAr), greater weight dried fruit with 129.88 g (ConMNB in CAr) at 117.33 g (SinMNB in CAr); Similarly, the yield was higher, obtaining 9.47 Kg.m⁻² (ConMNB in CAr) over 7.26 Kg.m⁻² (SinMNB in CAr), the use of MNB reduced the number of non-commercial fruits. Micronanobubbles can be used to improve hydroponic tomato production.

Key words: Micronanobubbles, nutritive solution, hydroponics, substrate, production, irrigation.

I. INTRODUCCIÓN

El creciente aumento demográfico mundial ha provocado una mayor demanda de alimentos, obligando al sector productivo a buscar estrategias para aumentar la producción, sin afectar los ecosistemas existentes. La hidroponía ofrece una alternativa viable, ya que en este sistema se pueden producir alimentos de calidad, sin requerir de grandes áreas de terreno; la producción no depende de la calidad del suelo, pero si requiere de una fuente de agua de calidad. El éxito de la producción hidropónica dependerá de múltiples factores que intervienen en el sistema.

La disponibilidad de oxígeno en la solución nutritiva afecta la absorción de nutrientes y agua, una baja concentración provoca un déficit en el desarrollo de los cultivos producidos en sistemas hidropónicos, reduciendo rendimientos en la producción e incidencia de enfermedades; esto impacta de manera directa en la rentabilidad del proyecto (Martínez *et al.* 2012).

Toda actividad biológica que tiene lugar en la zona de raíz necesita oxígeno, las plantas lo consumen de manera gradual (disuelto en la solución nutritiva), pudiendo incurrir en problemas de hipoxia. La deficiencia de oxígeno disuelto puede ser perjudicial para el crecimiento de raíces y las actividades de la planta que lo requieren para su funcionamiento. Las raíces solo toman el oxígeno disuelto en el agua (poros llenos de aire en el sustrato) (Fernández 2013).

El oxígeno insuficiente dentro de las zonas de raíz de la planta puede disminuir en gran medida la productividad. Aunque muchas veces no se observan síntomas visibles en hojas y tallos, el contenido de clorofila foliar es mayor en concentraciones de oxígeno disuelto 40 mg.L⁻¹, que con 20 y 30 mg.L⁻¹ en experimentos en cultivo de tomate (Zheng *et al.* 2007). Los procesos metabólicos son afectados por la deficiencia de oxígeno disuelto, como la respiración y metabolismo de nutrientes. Cuando hay baja disponibilidad de oxígeno en la zona radicular, los niveles de productos de la respiración ascienden (dióxido de carbono y

etileno), afectando el ciclo del ácido tricarboxílico, así pasa a funcionar parcialmente y en ambas direcciones, debido a la ausencia de un receptor electrónico terminal en la cadena de electrones, dándose la glicólisis y produciendo la acidificación del citosol y el piruvato, transformándose en lactato y etanol, estas representan las principales reacciones fermentativas de las plantas, así, también la alanina que es el tercer producto más importante del metabolismo anaeróbico, que se deriva de altas tasas de interconversión entre los aminoácidos (Sousa y Sodek 2002).

En hidroponía, los sustratos sustituyen el suelo, proporcionando a la planta el medio para desarrollar las raíces; por lo que este debe de poseer las propiedades físicas adecuadas para que la planta tenga un óptimo desarrollo. El empleo de un sustrato estará en función de su disponibilidad, inactividad química, baja salinidad, pH neutro, capacidad de intercambio catiónico, que no se desintegre, libre de microorganismos y contaminantes (OASIS 2017; Soriano 2012).

1.1.JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Un adecuado manejo agronómico del cultivo y niveles óptimos de oxígeno dentro de la zona de crecimiento de raíces (sustrato), contribuye a mantener un estado fisiológico óptimo de las plantas, al desarrollo radicular, menor incidencia de enfermedades asociadas con la falta de oxígeno, mayor absorción de agua y nutrientes; estos factores son determinantes en el crecimiento y desarrollo del cultivo en sistemas hidropónicos en sustrato, así se obtendrá una buena productividad y mayor disponibilidad de alimentos, reduciendo los costos de producción y generando mayores ingresos.

La seguridad y soberanía alimentaria son el fundamento del desarrollo económico. Para los países en desarrollo, la agricultura constituye una alternativa relevante para el desarrollo (FAO 2013). La alimentación saludable es un tema mundial de mucha relevancia en la actualidad, la agricultura y el consumo de productos orgánicos están en proceso de expansión en los últimos años, debido a esto hay una mayor demanda, justificando la búsqueda de alternativas que optimicen la utilización racional de recursos naturales (Díaz *et al.* 2015).

Debido a la necesidad de producir alimentos por parte de poblaciones que no poseen tierras fértiles para cultivar, pero si cuentan con fuentes hídricas, la hidroponía en los últimos años

ha demostrado ser una técnica eficiente para la producción de hortalizas, pastos y ornamentales; debido a que no se necesitan grandes áreas de terreno y no depende de la calidad del suelo, pero sí de la solución (Saavedra *et al.* 2010). Aumentar la productividad en sistemas hidropónicos es un reto, debido a que se produce sin la utilización de pesticidas. Para lograr esto se debe cultivar en ambientes protegidos y hacer investigación de métodos que permitan reducir las pérdidas, mediante la adopción de nuevas tecnologías.

Una inadecuada oxigenación en la solución nutritiva afecta la absorción de nutrientes y agua; para resolver este problema se puede incorporar oxígeno en el sistema hidropónico, mediante un método que produzca micronanoburbujas de tamaño uniforme, que permitan una adecuada concentración oxígeno disponible en la solución nutritiva (Martínez *et al.* 2012). La utilización de un equipo que produce micronanoburbujas distribuye mejor el contenido de oxígeno, por lo tanto, se espera que las micronanoburbujas mejoren los entornos agrícolas, ayudando a controlar problemas de podredumbre de la raíz, disponibilidad de oxígeno y absorción de nutrientes (Nakashima *et al.* 2012).

Objetivo General

Evaluar el efecto en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill) cultivado mediante hidroponía suministrando micronanoburbujas con el sistema de riego por goteo en dos sustratos: arena y mezcla de cascarilla de arroz con arena, en el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral en el 2018.

Objetivos Específicos

- Evaluar los indicadores agronómicos del tomate (altura de planta, cantidad de frutos, peso de frutos, materia fresca y seca) en hidroponía convencional y suministrando micronanoburbujas con el sistema de riego por goteo en los sustratos de arena y mezcla de cascarilla de arroz con arena.
- Determinar los días a floración, fructificación y a cosecha del tomate en hidroponía convencional y suministrando micronanoburbujas con el sistema de riego por goteo en los sustratos de cascarilla de arroz con arena.
- Evaluar la producción de tomate en hidroponía convencional y suministrando micronanoburbujas con el sistema de riego por goteo en los sustratos de arena y mezcla de cascarilla de arroz con arena.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.HIDROPONÍA

La palabra hidroponía deriva del griego hidro (agua) y ponos (labor o trabajo), lo cual significa trabajo en agua. Consiste en producir, mediante la adopción de técnicas que permitan a los cultivos crecer y desarrollarse en un medio libre de suelo, haciendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes; adaptando los cultivos al medio (sustrato o en sistemas con aportes de solución circulante o estáticos). Se puede mejorar la producción mediante el aumento de la densidad de siembra (Beltrano y Giménez 2015).

Ante la carencia de suelos fértiles y agua de buena calidad, se ha innovado para generar sustratos, tomando mucho auge en los últimos años, ya que mejoran la cantidad y calidad de los productos. En comparación con cultivos en sistema convencionales en invernadero, la producción de cultivos en sistemas hidropónicos son factibles, ya que hay mejoras significativas en cuanto a mayores rendimientos, floración más temprana, mejor calidad de productos, mayor ahorro de la cantidad de agua utilizada en la producción (Albaho *et al.* 2008). La producción de cultivos hidropónicos se puede llevar a cabo mediante diferentes métodos o sistemas de sustitución del suelo, tratando de adecuarse a las formas, tamaños, procesos fisiológicos y crecimiento de las plantas.

2.1.1. Técnicas de sustratos (orgánicos e inorgánicos)

Parecido al sistema de cultivo tradicional en suelo, pero en este sistema se emplean sustratos, el cual no contiene nutrientes y solo se requiere como medio de sostén para las plantas, permitiendo que las plantas tengan suficientes niveles de agua y oxígeno para un óptimo desarrollo de cultivo. En este sistema se tiene un volumen limitado; por lo que los sistemas radiculares demandan mayor cantidad de oxígeno por unidad de volumen de la rizósfera, si se compara con el suelo (Vence 2008).

a. Sustrato

Es cualquier medio empleado para el cultivo de plantas en contenedores, sustituyendo el suelo. El sustrato debe tener las propiedades adecuadas que permita un medio poroso para

la germinación de semillas, desarrollo de las raíces (proporcionando anclaje) con niveles suficientes de disponibilidad de agua, oxígeno y nutrientes. Los sustratos pueden ser orgánicos e inorgánicos (Vence 2008; OASIS 2017).

Para lograr un desarrollo óptimo de las plantas, es necesario considerar las propiedades físicas de los sustratos como porosidad total (superior al 85%), capacidad de aireación, agua fácilmente disponible, distribución del tamaño de las partículas (solo uno o diferentes tamaños), densidad aparente (0.33 Mg.m^{-3}). Para que un sustrato funcione correctamente debe tener 15% de materia sólida y 85% de espacio poroso total. Se debe tener en cuenta una inactividad química, baja salinidad, pH neutro, capacidad de intercambio catiónico, que no se desintegre, colores oscuros, que no contenga microorganismos perjudiciales, libre de contaminación, fácil de conseguir y que no represente un peligro a quien lo manipule (OASIS 2017; Soriano 2012).

Al seleccionar un sustrato para la producción hidropónica se deben conocer las propiedades físicas de este, (cuadro 1), cada sustrato con propiedades diferentes. La arena tiene partículas pequeñas, por lo tanto tiene un menor espacio poroso, el cual será ocupado por el agua y el oxígeno. La densidad aparente es la relación entre la masa y volumen ocupado por esta; la cascarilla de arroz tiene baja densidad aparente, debido a que el tamaño del grano es grande, este tiene un mayor espacio poroso y mayor capacidad de aireación.

Cuadro 1: Propiedades físicas de algunos sustratos

Propiedades	Arena	Grava	Cascarilla de arroz
Tamaño de grano (mm)	0.5 – 2.0	5 – 10	3 – 6
Densidad aparente (Mg.m^{-3})	1.4 – 1.6	1.6 – 2.0	0.12
Espacio poroso total (%)	38 - 42	40	85 – 95
Capacidad de aireación	5 - 20	36	40 – 60
Agua fácilmente disponible AFD (% volumen)	15 – 35	2	5 – 15
Agua de reserva AR (% volumen)	1 – 2	1	1 – 5
Agua difícilmente disponible ADD (% volumen)	0.1 – 0.5	0.1 – 0.5	0.5
Capilaridad	Buena	Mala	Mala

FUENTE: Calderón y Cevallos (2002).

b. Solución nutritiva

Es una solución acuosa con oxígeno disuelto y todos los nutrientes minerales esenciales y no esenciales que la planta requiere para su crecimiento y desarrollo, disueltos en una forma inorgánica completamente dissociada. El éxito del cultivo hidropónico depende en gran parte de la formulación de la solución nutritiva, la relación existente entre los diferentes iones minerales, la conductividad eléctrica y el pH. Es importante que el agua sea de buena calidad (Baixauli 2002; Beltrano y Giménez 2015).

La solución nutritiva es un conjunto de sales minerales disueltas en el agua, que puede variar su proporción dependiendo de la especie y la etapa fenológica de la planta. Los minerales requeridos son los elementos esenciales: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo). También requiere en bajas proporciones elementos no esenciales: sodio (Na), silicio (Si), aluminio (Al), cobalto (Co), níquel (Ni) y selenio (Se). La solución nutritiva se debe encontrar en un pH entre 5.5 y 6 para que la mayoría de los nutrientes estén disponibles (OASIS 2017).

La metodología para preparar las soluciones concentradas A y B es la siguiente: se requiere de recipientes plásticos (uno de 1.5 L y dos de 10 L), tres baldes plásticos de 10 L, probeta graduada de 1000 ml, balanza de 0.0001 a 2000 g, agitador de vidrio o PVC, dos cucharas plásticas (grande y pequeña) y bolsas o papel para pesar elementos (Palomino 2008).

Las soluciones se preparan de manera independiente. Los elementos que componen la solución concentrada A: fosfato mono amónico, nitrato de calcio, nitrato de potasio y la solución concentrada B: sulfato de magnesio, sulfato de cobre, sulfato de manganeso, sulfato de zinc, ácido bórico y molibdato de amonio.

Requerimientos para preparar 10 litros solución concentrada A:

- 340 g de fosfato mono amónico
- 2080 g de nitrato de calcio
- 1100 g de nitrato de potasio
- 10 litros de agua.

Requerimientos para preparar 4 litros solución concentrada b:

- 492 g sulfato de magnesio

- 0.48 g de sulfato de cobre
- 2.48 g de sulfato de magnesio
- 1.20 g de sulfato de zinc
- 6.20 g de ácido bórico
- 0.02 g de molibdato de amonio
- 50 g de quelato de hierro (Palomino 2008).

En una investigación se evaluó el efecto de dos soluciones nutritivas sobre el crecimiento de tomate, utilizando diferentes formulaciones de acuerdo con las etapas fenológicas del cultivo, teniendo los mejores resultados con la siguiente solución nutritiva.

Cuadro 2: Formulación de la solución nutritiva (g.L⁻¹) en las etapas fenológicas del cultivo de tomate

Fertilizantes	Etapas fenológicas				
	Crecimiento vegetativo	Floración	Fructificación		
			I	II	III
Nitrato de potasio	0.41	0.416	0.416	0.416	0.416
Nitrato de amonio	0.28	0.16	0.16	0.28	0.350
Fosfato monopotásico	0.155	0.230	0.230	0.230	0.230
Nitrato de calcio	0.376	0.376	0.376	0.376	0.376
Sulfato de potasio	-	0.06	0.300	0.300	0.300
Sulfato de magnesio	0.310	0.310	0.310	0.310	0.430
Quelato de hierro	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
Solución micronutrientes	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

FUENTE: Cruzado (2005).

c. Agua

Se debe de disponer de agua de buena calidad y hacer los análisis correspondientes para conocer la cantidad de cationes presentes (grado de dureza). Para preparar la solución nutritiva el agua debe contener cantidades mínimas de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, SO_4^{2-} y NO_3^- , aunque también se puede aceptar cantidades mínimas de Fe, trazas de Mn, Zn y B. Es importante conocer esta relación para determinar la resistencia del agua a la acidificación, debido a que es necesario agregar ácido para reducir el pH a valores cercanos a 5.5 – 6.0 para su uso en hidroponía (Beltrano y Giménez 2015).

d. pH

El pH de una solución nutritiva define el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones. La mayoría de las aguas en condiciones normales tiene un pH de 7.0 (neutro), en estas condiciones se puede dar insolubilidad y precipitados, provocando una baja disponibilidad de nutrientes para las plantas. Un pH menor a 5 puede presentar deficiencias de N, K, Ca, Mg y con valores superiores a 6.5 de Fe, P, Mn, B, Zn y Cu. Es necesario bajar el pH a valores cercanos a 5.0 ya que los cultivos absorben los nutrientes con una solución entre 5.5 y 6.0 (mejor disolución de iones). Para tomate se requiere un pH en la solución nutritiva en un rango de 5.8 a 6.5. Es recomendable determinar el pH cada 4 u 8 días y corregirlo (Baixauli 2002; Beltrano y Giménez 2015; OASIS 2017).

e. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica y permite cuantificar de manera indirecta la concentración de aniones (cloruros y sulfatos) o cationes (potasio, calcio, magnesio, etc.) en el agua. El valor se expresa en $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y un rango aceptable para el agua (para preparar la solución nutritiva) está entre 0.75 y 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Es una medida aproximada para saber si se está aplicando la cantidad suficiente de nutrientes en la solución nutritiva y si el cultivo los está asimilando. Una CE adecuada será cuando la diferencia entre ambas sea de una unidad. La CE ideal para cada cultivo puede variar significativamente dependiendo de la especie cultivada y etapa fenológica del mismo, para tomate se considera de acuerdo a la etapa fenológica: crecimiento vegetativo 2.0 – 2.20, floración 2.30 – 2.50 y fructificación 2.50 – 2.80 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Baixauli 2002; OASIS 2017).

f. Oxígeno disuelto

La disponibilidad de oxígeno disuelto juega un rol fundamental en la absorción iónica. La falta de aireación puede producir acumulación de dióxido de carbono en el medio radicular, disminuyendo la absorción de nutrientes. La disponibilidad de oxígeno en la solución nutritiva es fundamental para el normal crecimiento y funcionamiento de las raíces (Beltrano y Giménez 2015). Una planta adulta requiere de 56 a 184 mg de oxígeno por hora, por lo tanto, se debe mantener estos niveles en los sustratos (Clifford *et al.* 2006).

2.2.INVESTIGACIONES DE SUMINISTRO DE OXÍGENO EN HIDROPONÍA

Se han realizado investigaciones en diferentes áreas, donde el suministro de oxígeno mediante la utilización de diversos métodos ha resultado efectivo para mejorar las

condiciones del medio. En investigaciones en cultivos se ha incorporado oxígeno al sistema por diversos métodos y empleando equipos generadores de micronanoburbujas, en diversas áreas de estudio.

2.2.1. En cultivos haciendo incorporación de oxígeno al sistema

Se investigó la incorporación de oxígeno en un sistema hidropónico recirculante por dos métodos pasivos: aumentando la pendiente del contenedor y agregando saltos hidráulicos en cultivos de tomate y lechuga. La investigación se llevó a cabo en un invernadero, ubicado en los valles centrales de Oaxaca, México, de junio 2008 a diciembre 2009. Los tratamientos fueron: pendientes del contenedor (2 y 4 %) y cuatro saltos hidráulicos (0, 1, 2 y 3) de 5 cm de altura de la solución nutritiva. Al aumentar la oxigenación mediante contenedores con 4 % de pendiente y dos o tres saltos hidráulicos, se incrementó significativamente el rendimiento de lechuga en 180 por ciento y en tomate en más de 200 por ciento (Martínez *et al.* 2012).

Una adecuada oxigenación de la solución nutritiva puede mejorar la absorción de nutrientes y agua, con ello aumentar la producción, tanto en hortalizas de hoja verde, como en hortalizas de crecimiento indeterminado. Hay diferentes mecanismos para incorporar oxígeno a la solución nutritiva, así, obtener una mayor aireación en la zona radicular del cultivo, la aplicación en el campo hidropónico dependerá de lo práctico que sea y la rentabilidad, en este caso al aumentar la producción en un 200 por ciento en tomate y un 180 por ciento en lechuga, siendo ambos cultivos de importancia económica se justifica la adopción de la tecnología (Martínez *et al.* 2012).

En las instalaciones de la Finca Experimental de la Universidad de Almería – Anecoop, se estudió el comportamiento de distintos tipos de sustratos de lana de roca, en respuesta al aumento de oxígeno disuelto en la solución nutritiva respecto a la producción y calidad de un cultivo de tomate. La investigación se realizó durante la campaña 08/2009. Se utilizó un compresor para inyectar aire a presión en la tubería del agua de riego. Las variables evaluadas fueron producción ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), producción por planta ($\text{Kg}\cdot\text{planta}^{-1}$), número de frutos por área ($\text{frutos}\cdot\text{m}^{-2}$), número de frutos por planta ($\text{frutos}\cdot\text{planta}^{-1}$). Concluyendo que el aporte de oxígeno no tuvo influencia sobre ninguno de los parámetros evaluados (Hernández 2013).

Al no tener efecto alguno en la producción significa que la metodología empleada no se adapta al sistema hidropónico en sustrato para la producción de tomate, en la conclusión no debería de ser la incorporación de oxígeno en sí, ya que hay muchas investigaciones que evidencian que la incorporación de oxígeno a la solución nutritiva tiene efectos significativos, sino que, el método empleado no es el más apropiado para dicho sistema, debiendo evaluar la solubilidad del oxígeno en la solución y la cantidad de oxígeno por tiempo que se encuentra disponible para la raíz de los cultivos.

Se observó el efecto de diferentes niveles de aireación de la solución nutritiva sobre el crecimiento y la calidad de canónigos y berros cultivados en bandejas flotantes, en la Estación Experimental Agroalimentaria Tomas Ferro, en La Palma, municipio de Cartagena, provincia de Murcia, España. La investigación se realizó en el período 01 de diciembre 2010 al 12 de febrero 2011. Las variables evaluadas fueron altura de planta, número de hojas por planta, área foliar, peso fresco y peso seco. Se concluyó que aplicando una alta aireación, se mejoró el crecimiento de las plantas de canónigos y en el berro solo se obtuvo un mayor número de hojas, siendo este último el tratamiento más efectivo, ya que el berro es una *baby leaf* cuyo valor comercial radica en sus hojas (Fernández 2013).

En esta metodología de bandejas flotantes, la solución nutritiva está en contacto continuo con la raíz de los cultivos, en donde no hay un flujo continuo de la solución (agua estática), de esta manera la cantidad de oxígeno disponible dependerá directamente de la aireación, así, entre mayor es la aireación, mayor será el efecto en el crecimiento del cultivo.

Inyectar peróxido de hidrógeno a través del sistema de riego a un suelo con bajo contenido de oxígeno aumentó significativamente la biomasa de las porciones aéreas de la planta y la eficiencia del uso del agua. La investigación se realizó en árboles de aguacate plantados en un suelo franco arcilloso al aire libre, en el Centro Regional de Investigación INIA en La Cruz, región de Valparaíso, Chile. El experimento se llevó a cabo desde noviembre 2006 hasta marzo 2007 (temporada primavera-verano) (Gil *et al.* 2012).

Esta metodología tiene efectos significativos en la producción de aguacates, pero hay que analizar los costos y disponibilidad del peróxido de hidrógeno para hacer la aplicación en extensiones con fines comerciales, para fines de investigación puede ser justificable, pero ya en campo se debe buscar que las metodologías empleadas para aumentar la producción sean rentables.

Se estimó el efecto de la oxigenación en la irrigación en el cultivo de piña, por medio de la inyección de aire (inyectores de aire Massei) al sistema y suministrando peróxido de hidrógeno. El estudio se llevó a cabo en Yeppoon, Australia, del 24 de octubre 2007 al 14 de abril 2009. Las variables estudiadas fueron respiración del suelo, crecimiento de planta, rendimiento y eficiencia en el uso del agua (Xinming *et al.* 2010).

Se concluyó que la oxigenación del suelo es una aplicación que beneficia ampliamente el cultivo de piña; ya que la respiración del suelo aumentó en un 100 por ciento con la oxigenación, también hubo efectos significativos en ganancia de biomasa fresca, materia seca, producción de la industria y el índice de cosecha, el rendimiento total de la fruta y el rendimiento comercial aumentó en un 17.3 por ciento. No hubo efecto en la eficiencia del uso del agua.

Se demostró el efecto de la oxigenación en tres cultivos (algodón, piña y trigo), mediante la inyección de aire utilizando el principio de Venturi y suministro de peróxido de hidrógeno en la zona de raíz, ambos utilizando el sistema de riego por goteo, en CQ University, Australia, desde el 03 de agosto 2008 al 14 de abril 2009. Este estudio cuantificó los efectos de la oxigenación con respecto a la influencia de la profundidad de emisor en el contenido de oxígeno en la zona radicular, evaluando la respuesta fisiológica de la planta y el rendimiento de biomasa (Xinming *et al.* 2011).

Resultando que el contenido de oxígeno del suelo y la respiración del suelo aumentaron significativamente con los tratamientos de oxigenación; la concentración de oxígeno en la zona de la raíz del cultivo aumentó en 2.4-32.6 por ciento, la respiración del suelo aumento en 42-100 por ciento, el peso seco de la hoja y materia seca total aumentaron significativamente con la oxigenación, la eficiencia en el uso del agua de riego aumentó en trigo; en algodón aumentó el rendimiento en semilla, biomasa fresca y materia seca; en piña aumentó el rendimiento total de la fruta; se llegó a la conclusión que los beneficios de la oxigenación son notables para los tres cultivos.

En ambas investigaciones se utilizó peróxido de hidrógeno con un sistema de inyección de aire, aunque se obtienen resultados positivos, es la misma condición de la investigación realizada por Gil *et al.* (2012), hay que analizar el costo y disponibilidad del peróxido de hidrógeno, ya que su uso dependerá directamente de la rentabilidad.

2.2.2. Empleando equipos generadores de micronanoburbujas

Se analizó el efecto de la utilización de agua fangosa de río, tratada con nanomizer (equipo que produce agua activada, ionizada) de burbujas micronano, las cuales provocan una mayor oxidación y reducción, siendo éste un método efectivo para la purificación del medio acuático contaminado por algas verdeazuladas. El resultado de este estudio fue que el agua activada que contiene micronanoburbujas es efectiva para acelerar el crecimiento de la raíz del pasto sin ser afectada por la pudrición de raíz y mejor crecimiento de la planta (Nakashima *et al.* 2012).

El campo de aplicación de los sistemas que producen micronanoburbujas es muy amplio, van desde el aumento de oxigenación en la solución nutritiva hasta ayudar en el tratamiento de aguas contaminadas, teniendo efectos significativos en ambos casos, logrando reducir problemas relacionados con el ataque de patógenos. Para adquirir el equipo se requiere de alta inversión, la ventaja es que el equipo puede ser utilizado en varios ciclos del cultivo.

Se ha comprobado que la utilización de equipos de micronanoburbujas ayuda a prevenir enfermedades en algunos cultivos, combinando técnicas de micronanoburbujas con la desinfección de ozono para determinar la variabilidad de la aplicación de agua ozonificada para prevenir enfermedades del tomate en el aire. La investigación se realizó en la Universidad Agrícola de China en Pekín el 2013. Los resultados obtenidos demuestran que con una concentración de ozono disuelto de 1.6 mg.L^{-1} , hubo una reducción logarítmica de 5.2 a 3.3 en los conidios de *Alternaria solani* y con una concentración de 1.8 mg.L^{-1} , hubo una reducción logarítmica de 5.0 a 3.7 en los conidios de *Cladosporium fulvum*. La pulverización de agua ozonificada no tuvo efectos negativos sobre el crecimiento del tomate en un rango de 0.6 a 1.8 mg.L^{-1} (He *et al.* 2014).

La adopción de técnicas que ayuden a reducir la incidencia de patógenos en cultivos de importancia económica como lo es el tomate, son una alternativa viable para lograr producir de manera orgánica, mejorando la producción en cuanto a cantidad y calidad.

En el distrito de Carhuaz, Perú, durante el 2016, se investigó el efecto de un generador de micronanoburbujas de aire-ozono en la reducción de coliformes en aguas residuales domésticas, las que se vierten al río Santa. Se obtuvo una reducción de coliformes fecales y totales presentes en aguas residuales, mediante la aplicación de micronanoburbujas de aire-

ozono; con un 99.58 por ciento para coliformes fecales y 99.01 por ciento de coliformes totales (Cruz y Valverde 2017).

2.2.3. Nanotecnología para generar micronanoburbujas (MNB)

a. Características de las micronanoburbujas (MNB)

La MNB tienen diversas propiedades intrínsecas, entre ellas largo tiempo de duración dentro del fluido, esto debido a su superficie cargada negativamente, y su alta solubilidad del gas en el líquido debido a su alta presión interna (Ebina *et al* 2013). Takahashi (2005) demostró el potencial de microburbujas en soluciones acuosas, revelando que las burbujas se cargaron negativamente en un amplio rango de condiciones de pH.

Tamaño pequeño: El tamaño de las MNB varía en un rango de 1 μm - 200 nm (dependiendo del campo de aplicación y equipo generador) (Ebina *et al* 2013; Takahashi 2005).

Velocidad de subida bajo: Takahashi (2005) concluyó que Las características físicas de los fluidos determinan la velocidad de subida de la MNB, considerando que su forma es esférica; por tal razón, los resultados experimentales han seguido la ecuación de Stokes con la siguiente expresión: $U = \rho g d^2 / 18\mu$.

Donde:

U= velocidad ascendente (cm.h^{-1})

d= diámetro de la burbuja

ρ = densidad del líquido

μ = viscosidad del líquido.

g= aceleración gravitacional

Disminución de la fricción de arrastre: La fricción del flujo bifásico de gas-líquido disminuye al aumentar la fracción de volumen de MNB en el flujo de tubería vertical (Kodama *et al.* 2007).

Presión alta dentro de los MNB: Este es un efecto de autocompresión, la presión circundante de la burbuja es de 1 atm. Para Takahashi (2005), con la disminución del tamaño de la burbuja, la presión en la burbuja aumenta; por ejemplo, las presiones internas de las burbujas cuyos diámetros son 1 μm y 100 nm son 3.87 y 29.7 atm, respectivamente. Usando la ecuación de Young – Laplace se demuestra, mediante la siguiente expresión: $\Delta P = 4\sigma/d$

Donde:

ΔP = Presión en la burbuja

σ = Tensión superficial

d = Diámetro de la burbuja.

Área interfacial grande: La disminución del diámetro de burbuja provoca un aumento y contribución de disolución de gas; se obtiene dividiendo el área interfacial de burbuja entre el volumen (Ebina *et al* 2013).

Gran disolución de gas: Esto debido a la velocidad de transferencia de masa del gas al líquido, expresado mediante la siguiente ecuación: $N = K_L A(p - p')$ /H

Donde:

N = Velocidad de disolución (mol.s⁻¹)

K_L = coeficiente de transferencia de masa en fase líquida (m.s⁻¹)

A = área de la superficie de la burbuja (m²)

p = presión parcial del componente disuelto en la burbuja (Pa),

p' = Presión parcial del equilibrio de la fase gaseosa componente disuelto en líquido (Pa)

H = Constante de Henry ($p=HC$)

K_L Es determinado mediante la ecuación $Re > 1$ y U (Velocidad ascendente ecuación de Stokes), siguiendo la siguiente expresión: $K_L = \frac{D_L}{d} \left[1 + \left(1 + \frac{DU}{D_L} \right)^{1/3} \right]$

Donde:

D_L = Coeficiente de difusión del gas en fase líquida (2.60×10^{-9} m²s⁻¹ en agua).

Con el cambio de diámetro de la burbuja de 1 μ m a 1 mm (sistema oxígeno-agua) el coeficiente K_L se convierte en 10^{-4} – 10^{-3} m.s⁻¹. Con la disgregación de la burbuja (10 μ m y 100 nm de diámetro), los números de burbuja aumentan en 10^6 y 10^{12} veces; así, la burbuja de 1 mm tendrá un área de superficie equivalente a 1; y las de 10 μ m y 100 nm aumentan el área de superficie a $6 \cdot 10^4$ y $6 \cdot 10^{10}$, respectivamente. Al disminuir la velocidad de subida, las velocidades de transferencia de masa de las burbujas de 10 μ m y 100 nm se convierten en 108 y 1018 veces (Clifl *et al.* 1978).

Disolución y contracción: Las MNB se forman bajo la presión combinada de la presión atmosférica y la presión estática; están presurizadas por el líquido y comienzan a contraerse, esto debido a la alta presión y la alta temperatura (Muroyama *et al.* 2012).

Superficie con carga negativa: Takahashi (2005) midió los potenciales de superficie de las MNB usando la configuración experimental de las células de electroforesis, demostrando estas están cargadas negativamente con un promedio de potencia promedio entre -30 y -40 mV independientemente del diámetro de la burbuja; de esta manera, la interfaz gas-agua está cargada negativamente. Una explicación a esto es que la adsorción de OH^- en la interfaz por la diferencia en la energía del hidrógeno entre H^+ y OH^- o por la orientación de los dipolos de agua en la interfaz.

Los átomos de hidrógeno que apuntan hacia la fase acuosa y los átomos de oxígeno hacia la fase gaseosa provocan la atracción de los aniones a la interfaz. La carga superficial de la interfaz gas-agua es fuertemente afectada por el pH del agua, ya que, a pH ácido fuerte, el potencial de es 0 mV, mientras que a pH base fuerte, es -100 mV (Takahashi 2005).

Trituración y formación de radicales libres: Al introducir electrodos al agua, aplastando los MNB por las ondas de choque formadas, se crearon cinco radicales. Cuando se comparó la resonancia del espín del electrón, el número de radicales libres es dos o tres órdenes mayor en comparación con el caso de la radiación por ultrasonidos en agua, por tal razón, hay un aumento en concentración de iones alrededor de la MNB (formando iones en exceso), de igual manera, se forman radicales a consecuencia del aumento del potencial zeta durante la compresión (Takahashi *et al* 2007).

b. Usos de la MNB

Sector alimentario: La seguridad alimentaria es un tema de relevancia mundial, ya que esta se encuentra amenazada; por lo que, se requiere una mejora de la baja tasa de autosuficiencia alimentaria. La producción de hortalizas juega un papel importante en la alimentación; pero, en los últimos años varios factores (parámetros de calidad y alta demanda de alimentos) han provocado una reducción progresiva en la ingesta (Schnitzler 2012; Nanoplanet 2018).

La producción hidropónica es una alternativa viable, aunque en la actualidad aún no ha superado el cultivo del suelo. Se emplea de MNB en el sector alimentario (producción

hidropónica) debido a que se emplean fertilizantes inorgánicos y pesticidas orgánicos, el líquido circula a través de todos los acuarios en una forma de plena circulación. La temperatura del agua se controla alrededor de 20 °C (condiciones óptimas para el crecimiento del microorganismo), altas densidades de siembra, verduras de mejor sabor (Nanoplanet 2018).

El empleo de MNB en el campo de los alimentos puede promover el crecimiento de los vegetales (Seok y Kurata 2009), mejorar el sabor (sabor más suave y más natural), mejorar la concentración de oxígeno disuelto, disminuye el crecimiento de algas verdes que se hayan producido (Nanoplanet 2018; Ebina *et al* 2013).

La nanotecnología es disciplina tecnológica que estudia las propiedades de los nanomateriales naturales y artificiales, aplicaciones, técnicas para su caracterización, procesos de integración y transformación en ecosistemas. Son dispositivos que mediante la combinación de diferentes sistemas y técnicas genera nanomicroburbujas, teniendo amplias aplicaciones en diversos campos de estudio. Existen diferentes métodos para producirlas y dependerá del equipo utilizado (Francisco 2015; Cruz y Valverde 2017).

Las microburbujas pueden aumentar el valor del oxígeno disuelto y de la conductividad eléctrica en el agua; pudiendo disminuir la presión osmótica; por lo tanto, se espera que las microburbujas mejoren los entornos agrícolas. Algunos problemas como la podredumbre de la raíz pueden evitarse, se entiende que la podredumbre de la raíz se produce cuando se usa agua agrícola con oxígeno disuelto de menos de 5.0 mg.L⁻¹. El agua con microburbujas puede evitar la oxidación del suelo y aumentar el valor de la base reemplazable en el coloide del suelo (Nakashima *et al.* 2012).

2.3. CULTIVO DE TOMATE

El género *Lycopersicum* se localiza en la región andina (desde el sur de Colombia al norte de Chile. las investigaciones argumentan que fue domesticado en México, es la segunda hortaliza más cultivada en el mundo. Pertenece a la familia *Solanaceae*, especie *Solanum lycopersicum* Mill; planta perenne de porte arbustivo anual, se desarrolla en forma rastrera, semi-erecta o erecta. Seccionando transversalmente la raíz principal de afuera hacia adentro se localiza la epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes. Posee un tallo principal con un grosor de 2 a 4 cm en su base, de donde se comienzan a desarrollar hojas, tallos secundarios e inflorescencias (Palomino 2008; Lesur 2006).

Las hojas son compuestas e imparipinadas, dispuestas en forma alternada en el tallo, con folios peciolados, lobulados y con bordes dentados, en número de siete a nueve, recubiertos con pelos glandulares. Flores perfectas, regular o hipógina, con cinco o más sépalos, igual número de pétalos de color amarillo dispuestos en forma helicoidal, igual número de estambres unidos de manera alterna con los pétalos formando un cono estaminal que envuelve al gineceo y un ovario bi o plurilocular (Palomino 2008).

Se realizó un análisis comparativo entre los sistemas de producción: a cielo abierto y bajo agricultura protegida (sistema hidropónico) para la producción de tomate variedad en el estado de Querétaro. Demostrando que en un área de 1000 m² en ambos sistemas se obtuvo una producción de 12 toneladas a cielo abierto y 40 toneladas bajo invernadero hidropónico lo cual representa un 330 por ciento de diferencia y 33 por ciento menos tiempo bajo condiciones protegidas (12 contra 16 meses). Finalmente, hubo diferencias en la calidad de la cosecha (García Ramírez, 2015).

La temperatura óptima requerida está entre 20 y 30 °C durante el día y 1 a 17 °C durante la noche. El marco de plantación más utilizado de manera convencional es de 1.5 m entre líneas y 0.5 m entre planta. En plantas de porte medio se utiliza el marco 1 m entre líneas y 0.5 m entre plantas. Se debe realizar tutorado y poda de formación (variedades de crecimiento indeterminado) se realiza después del trasplante, con la aparición de los primeros tallos laterales (estos serán eliminados), igual las hojas viejas, dejar 1 o 2 tallos, hacer aclareo de frutos para homogenizar y aumentar el tamaño de los frutos restantes (Palomino 2008; Lesur 2006).

Hacer detección temprana de plagas en el cultivo de tomate, entre ellas: araña roja (*Tetranychus, vastae, Aculops*); mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*), pulgón (*Aphis gossypii*), trips (*Flankliniella occidentalis*), minadores de la hoja (*Liriomyza trifolii*), orugas (*Spodoptera exigua*), nematodos (*Meloidogyne spp*). Se debe establecer un control preventivo: eliminación de malas hierbas, vigilancia durante los primeros días de desarrollo, desinfectar ropa y calzado, eliminar plantas muy afectadas, colocar trampas, colocar mallas en los extremos de las instalaciones, utilizar variedades resistentes, utilizar plantas sanas, mantener una adecuada fertilización de los cultivos (FAO 2013).

El cultivo de tomate es atacado por enfermedades entre ellas: Moho gris (*Botrytis cinérea*), oidiopsis (*Leveilluela taurica*), podredumbre blanca (*Sclerotina sclerotiorum*), mildiu (*Phytophthora infestans*), alternariosis (*Alternaria solani*), fusarium (*Fusarium oxysporum*). También la deficiencia de nutrientes puede provocar alteraciones en fruto: podredumbre apical, tejido blanco interno, rajado del fruto y cicatriz leñosa. Establecer un control preventivo: eliminación de malas hierbas, utilización de plantas sanas, realizar cortes limpios en la poda, manejo adecuado de la ventilación y el riego, eliminación de plantas enfermas, utilizar variedades resistentes (INIA 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral (CIHNM) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicada en la provincia de Lima, Perú. Geográficamente está a 12° 05' 06" latitud sur y 76° 57' 00" longitud oeste, a 238 m de altitud (Figura 1).



Figura 1: Ubicación del experimento

EL CIHNM fue creado en 1994 para promover y difundir la hidroponía, primero como herramienta de enseñanza e investigación entre los alumnos de las diferentes facultades que ofrece la UNALM, igual, funciona con fines educativos, sociales, terapéuticos y comerciales a nivel local, nacional y regional.

3.1.1. Parámetros climáticos durante la investigación

Las condiciones climáticas durante el desarrollo de la fase experimental (periodo verano-invierno) fueron tomadas de la estación automática Davis Vantage Pro2 ubicada en el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral (ANEXO 1), la red proporciona lecturas promedio medio horarias de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, precipitación entre otros; para los parámetros climáticos durante la etapa de crecimiento del tomate se obtuvo una temperatura máxima promedio de 24.92 ± 4.46 °C, temperatura mínima 16.37 ± 1.90 °C, velocidad del viento se mantuvo en un rango $0.00-2.14$ (m.s⁻¹), precipitación máxima de 1.4 mm y una humedad relativa promedio 84.61 ± 6.89 por ciento (Figura 2).

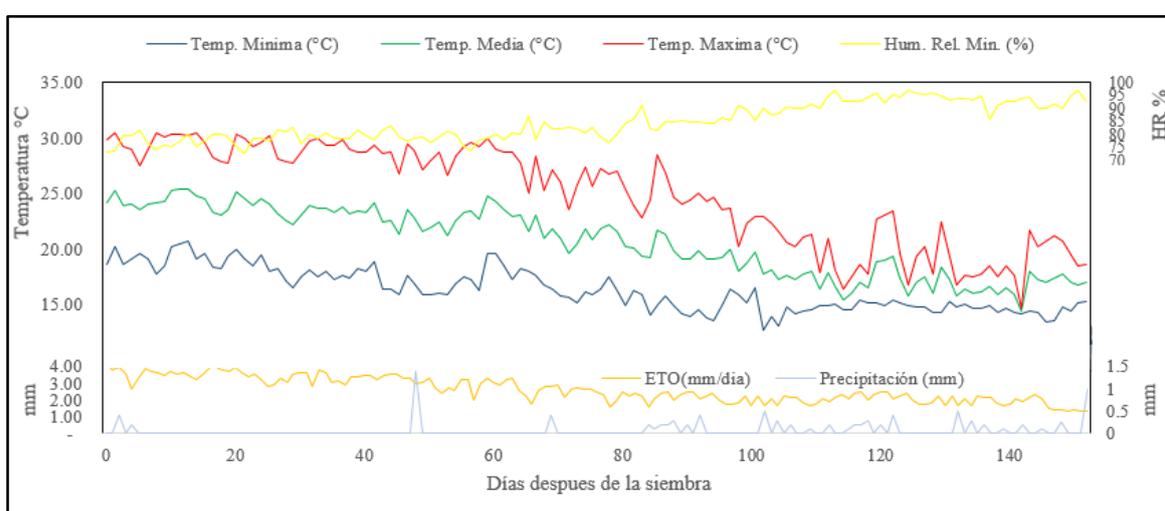


Figura 2: Condiciones climáticas en el CIHNM durante la investigación

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

En la investigación se emplearon los siguientes materiales y equipos:

- Semillas de tomate híbrido, tipo indeterminado variedad Yarden
- Vasos térmicos de 8 onzas
- Sustratos (arena de cantera y cascarilla de arroz)
- Mangas de polietileno color blanco, calibre 500
- Cable de acero galvanizado de 2 mm de diámetro para el tutorado
- Rafia agrícola
- Agua
- Sistema de riego por goteo
- Equipo generador de micronanoburbujas

- Tanques para preparar solución nutritiva
- Conductímetro
- pHchímetro
- Balanza digitalRegla
- Cámara digital
- Estufa para secado de muestras
- Calculadora
- Computadora
- *Software* para análisis estadístico y tabulación de datos.
- Libreta de apuntes, lápiz, bolsas de papel manila y papel bond.
- Insumos para la preparación de la solución nutritiva (ANEXO N° 2).

3.3. MÉTODOS

La parte experimental de la investigación se inició en marzo 2018 y se culminó en agosto 2018. Se evaluó el cultivo de tomate indeterminado durante cinco cosechas de un ciclo de producción.

3.3.1. Población y muestra

La población total fue de 96 plantas de tomate cultivado en dos sustratos (cuadro 3).

Cuadro 3: Distribución de la población a evaluar

Incorporación de micronanoburbujas (Con MNB)		Testigo (Sin MNB)	
Sustratos		Sustratos	
Arena de cantera (TS1)	Cascarilla de arroz (50% del volumen total) + arena (50% del volumen total) (TS2)	Arena de cantera (T1)	Cascarilla de arroz (50% del volumen total) + arena (50% del volumen total) (T2)
24	24	24	24

Cada línea correspondió a un tratamiento que constó de 24 plantas, en cada línea se colocaron 12 mangas, cada una con dos plantas, a una distancia de 40 cm. Cada cinta de riego alimentó a dos líneas, las cuales estuvieron colocadas a una distancia de 3.00 cm cada una; las distancias entre los tratamientos y las repeticiones fueron de 80 cm (figura 3).

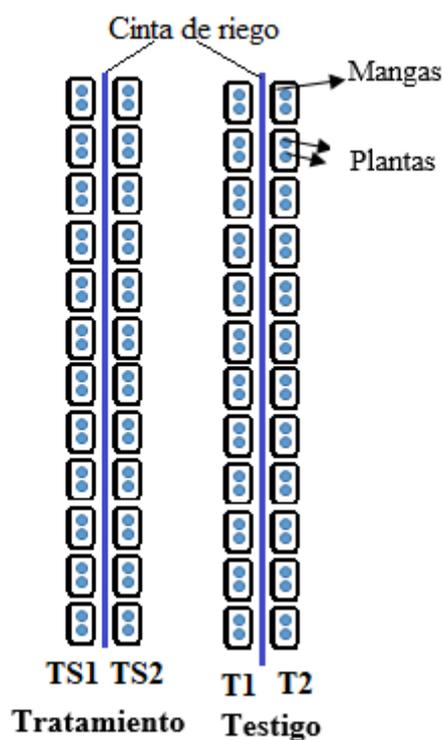


Figura 3: Distribución de los tratamientos en campo

a. Muestra

Para este estudio se utilizó una proporción el 62.5 por ciento para todas las variables a estudiar (15 plantas por tratamiento), a excepción de la variable materia seca de fruto y variables de la raíz, para las cuales se empleó una población de 5 plantas por tratamiento (20 por ciento), utilizando la siguiente ecuación para determinar la proporción:

$$P = \frac{a}{a + b} = \frac{a}{N}$$

a = número de elementos con características de interés

b = número de elementos sin características de interés

p = proporción

N = universo o población (Celis y Labrada 2014).

3.3.2. Procedimiento de la investigación

a. Preparación del terreno

Para el trabajo de investigación se empleó un área de 26 m², antes del trasplante se hizo una nivelación general del terreno, depositando una capa de grava en la superficie del terreno de 5.00 cm de espesor; se delimitó el terreno para luego colocar los marcos del tutorado, instalando tres marcos por dos líneas de mangas. Se preparó el área donde se colocaron las mangas, elaborando una especie de cama con una pendiente de 1.5 por ciento para el drenaje. Se utilizó plástico blanco de polietileno para cubrir las camas, sobre el cual se colocaron las mangas (en ellas se trasplantó el tomate).

Debido a que la fase experimental inicio en la estación de verano, la alta radiación afecta el desarrollo del cultivo, fue necesario colocar malla sombra (50 % de sombra); la cual se retiró en la entrada de la estación de invierno.



Figura 4: Colocación de malla sombra

b. Instalación del sistema de riego

Se instalaron dos tanques para la preparación de la solución nutritiva, uno con capacidad de 600 l (sistema MNB), este sistema estuvo instalado dentro del tanque y otro con capacidad de 1000 l para el testigo. La solución nutritiva de los tanques fue impulsado por una electrobombas de 0.5 Hp, colocadas en la parte externa de los tanques, dispuestas sobre una base en la superficie del suelo. Se mantuvo una presión de operación en el sistema de 1.5 bar. En el tanque con capacidad de 600.00 l se colocó el sistema MNB (Figura N° 5).

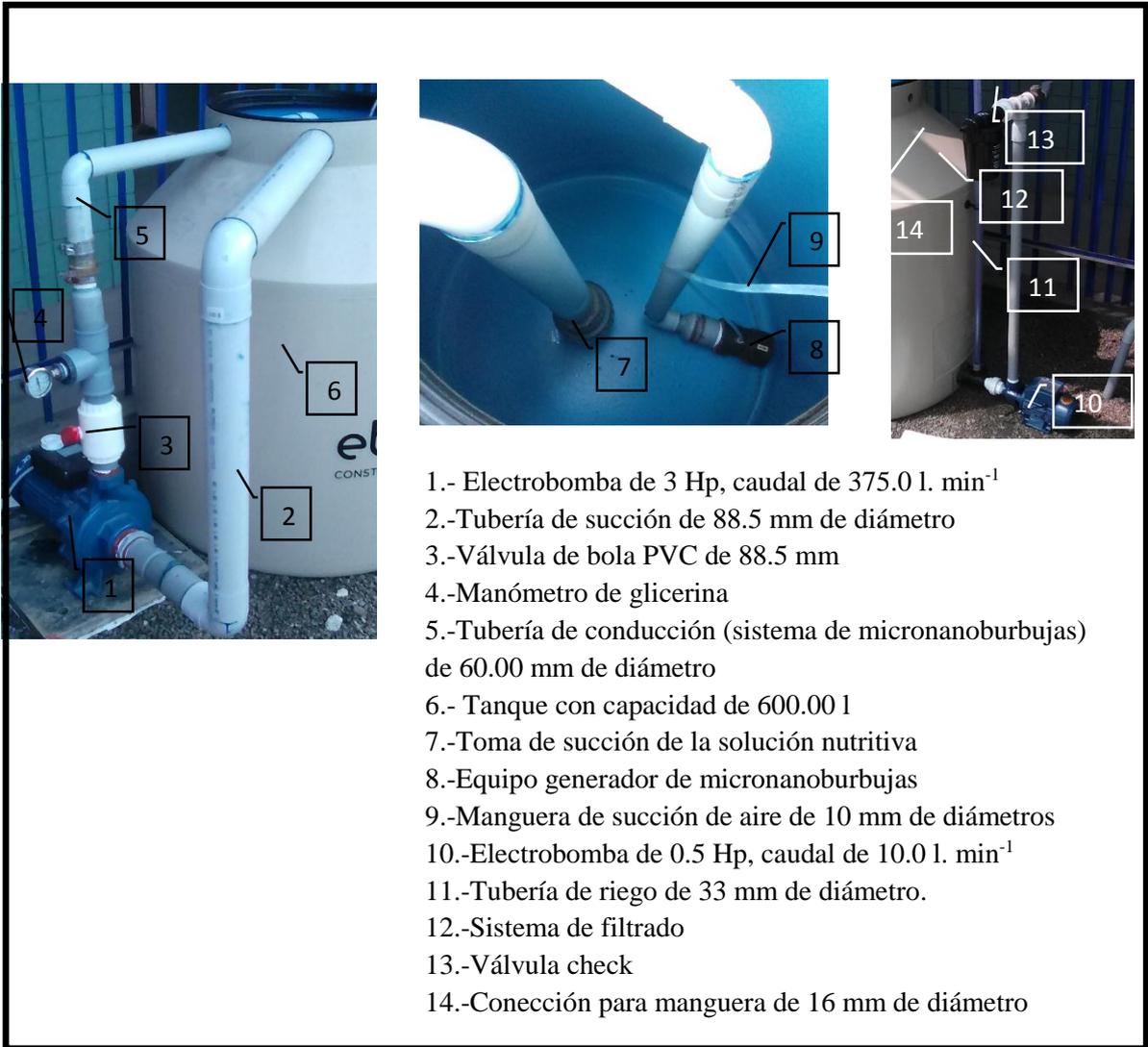


Figura 5: Instalación del tanque de solución nutritiva y el sistema generador de MNB

Para el sistema de riego se empleó manguera lisa, color negro de 16.00 mm de diámetro, en las cuales se instalaron goteros auto compensados con caudal de 4 L.h⁻¹, la disposición de goteros fue cada 40 cm. La manguera fue colocada al centro de las dos líneas de manga de tal manera que cada gotero alimentara dos planta, una a cada lado. Se instaló el kit de gotero, el cual consistió en: una cruceta para distribuir el riego hacia las dos planta, microtubo de 4.0 mm de 30.0 cm de longitud, y dos agujetas, la cual sirve para sujetar el microtubo al sustrato para que el agua gotee cerca de la raíz de la planta (Figura N° 6)

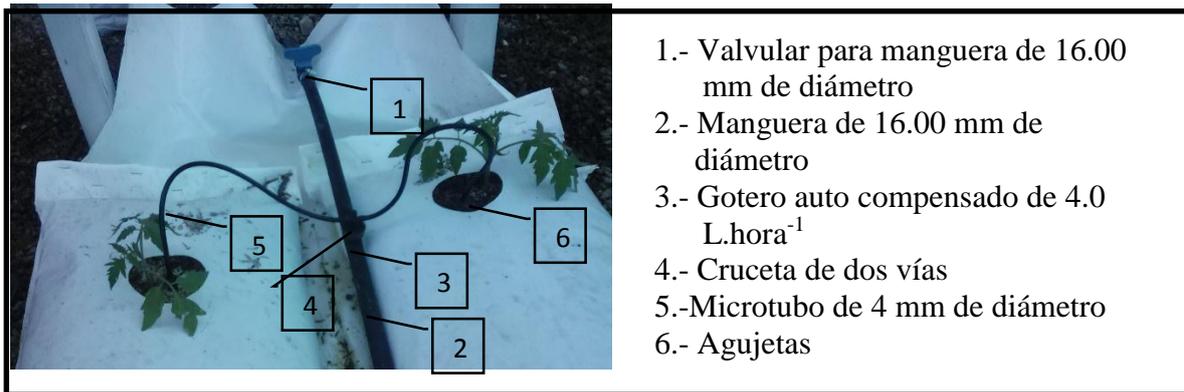


Figura 6: Componentes del sistema de riego en las mangas

El riego se realizó diariamente a través de un programador de riego, se aplicaron ocho riegos por día durante todo el ciclo de cultivo; variando los tiempos de riego, del 04 de abril al 30 de mayo del 2017 (estación de verano) la duración de cada riego fue de 5 minutos, del 30 de mayo al 07 de agosto el tiempo de duración del riego fue de 3 minutos (estación de invierno). Los riegos se efectuaron de manera simultánea en el tratamiento y el testigo a partir de las 8.00 am (un riego cada hora). El sistema generador de MNB inició su funcionamiento 5 minutos antes iniciar el riego y se apagó al mismo tiempo de la culminación del riego.

c. Equipo generador de MNB

El sistema generador de MNB emplea el método de flujo de líquido en rotación. El flujo de líquido se produce en el cilindro; según el teorema de Bernoulli, la parte central del cilindro se convierte en baja presión producida por el flujo de líquido de rotación, y el aire se aspira automáticamente. Se forma un flujo de aire y las MNB se producen cerca de la salida del cilindro. El caudal de líquido es de aproximadamente $350 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

El agua y el aire son aspirados simultáneamente por la bomba. Un poco de aire se disuelve en agua antes de transportarse al generador. El agua a presión luego se descomprime a través del generador de MNB con una alta velocidad de rotación.

d. Preparación del sustrato

Antes de usarse, los sustratos se remojaron en agua con lejía por un período mínimo de 24 horas, luego se procedió a lavar con agua hasta que quede limpio. Se hizo la mezcla para preparar el primer sustrato agregando cascarilla de arroz más arena en una proporción del 50% cada uno en base a volumen; el segundo sustrato fue arena. Se llenaron las mangas con

los sustratos (sustrato cascarilla de arroz más arena y sustrato arena), se colocaron en filas distanciadas a 3 cm. En el campo se distribuyeron en 4 filas.



Figura 7: Lavado de sustratos



Figura 8: Preparación del sustrato cascarilla de arroz más arena

e. Semillero

El material genético a utilizar en la investigación fue la variedad Yarden (tomate de crecimiento indeterminado).

Se puso a germinar las semillas en vasos térmicos perforados en su base y llenos a la mitad con arena (dos semillas por vaso). Se dio un manejo por 25 días después de la emergencia, haciendo riegos diarios con solución nutritiva, tratando de mantener un medio de raíces a capacidad de campo y haciendo control de malezas manual y control preventivo de plagas y enfermedades.



Figura 9: Semillero de plántulas de tomate

f. Trasplante

A los 25 días después de la germinación de la semilla se hizo el trasplante de las plántulas a las mangas, colocando dos plántulas por manga a una distancia entre plantas de 40 cm.



Figura 10: Trasplante de plántulas de tomate

g. Preparación de la solución nutritiva

Las plantas fueron regadas con una solución nutritiva la cual se preparó de acuerdo a los requerimientos nutricionales por etapa de desarrollo (ANEXO N° 2). Se monitoreó de manera constante la conductividad eléctrica (CE) y el pH, con el uso de un conductímetro y un pHchímetro respectivamente; manteniendo una CE en un rango de 2 a 2.8 dS.m⁻¹ (dependió de la etapa fenológica del cultivo) y un pH de 5.8 a 6.5.

Se dio un manejo agronómico adecuando durante el ciclo de cultivo, control de malezas manual, control preventivo de plagas y enfermedades, riegos frecuentes (manteniendo el medio a capacidad de campo). Se evaluó de manera constante, observando las diferencias de crecimiento de planta y registrando mediante toma de fotografías una vez por semana.

h. Medición de oxígeno disuelto mg.L⁻¹

Para conocer DBO (demanda bioquímica de oxígeno) se empleó equipo HI 9829 (medidor multiparamétrico), haciendo previa calibración en laboratorio. Se hicieron tres lecturas por tanque en diferentes horas, teniendo una lectura promedio de 7.64-7.84 mg.L⁻¹ en el tanque con MNB y 6.12-7.26 mg.L⁻¹ en el tanque sin MNB.



Figura 11: Medición de oxígeno disuelto

i. Tutorado

La variedad utilizada es de crecimiento indeterminado por lo que fue necesario construir una estructura para darle guiado desde la etapa de vegetativa hasta cosecha.



Figura 12: Sistema de tutorado para cultivo de tomate indeterminado

j. Poda

Consistió en eliminar hojas viejas por debajo de los frutos maduros, los tallos laterales, frutos no comerciales y partes enfermas. Esta práctica se realizó con una tijera de podar desinfectada.

k. Aplicaciones foliares

Éstas se realizaron para diferentes propósitos; para corregir desórdenes fisiológicos, haciendo aplicaciones de nitrato de calcio, ácido bórico y sulfato de cobre a razón de 1.00,

0.5. 0.5 g.l⁻¹ de agua respectivamente; dirigido a los frutos verdes y flores principalmente; ya que, el movimiento del calcio se da mayormente hacia las hojas por la corriente transmigratoria (floema).

El calcio es necesario para la elongación celular en brotes y raíces; también es responsable de la estabilización de la pared celular con un aumento de la rigidez; el boro es necesario para integridad de la membrana y la pared celular y el cobre para la síntesis de lignina, fomenta la integridad de la membrana, así como la síntesis de proteínas (Broadley *et al* 2012; Burstrom 2008). Para prevenir ataque de plagas y enfermedades se hicieron aplicaciones preventivas de productos orgánicos.

1. Medición de las variables biométricas

Altura de planta: Se midió la distancia entre el límite más alto de los tejidos fotosintéticos principales y el nivel de suelo, expresado en metros (Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013). Se utilizó una regla de aluminio graduada para la medición, a partir del primer día de trasplante; haciendo mediciones cada 15 días hasta que se hizo bajado de plantas, en este momento, la planta alcanzo la altura de los cables de guiado; al terminar la cosecha se hizo una última medición, antes de la eliminación de las plantas.

Días a floración, fructificación y cosecha: Para determinar esta variable se contabilizo los días a partir del trasplante, hasta que las plantas llegaron a la etapa floración (comenzaron a desarrollar el primer ramo floral), fructificación (desarrollo de primeros frutos) y cosecha (primero cosecha).

Longitud de raíz (cm): Se sacó la raíz de las mangas, teniendo cuidado de no dañarlas, se lavó con suficiente agua hasta dejarlas completamente limpias, sin restos de sustrato. La medición se realizó con una regla graduada, midiendo desde la base de tallo (donde comienzan a salir las primeras raicillas) hasta el extremo más largo de raíces.

Peso fresco de raíz (g): Se colocó la raíz en un lugar seco y ventilado para secar durante 1.0 hora; luego con una balanza se cuantifico el peso en gramos del total de la raíz.

Peso seco de raíz (g): Se colocó la raíz en una bolsa de papel manila (rotulada), se pesó y se introdujo en la estufa durante 48 horas; después de esto se extrajo y se pesó de nuevo, obteniendo el peso seco de raíz mediante la siguiente expresión:

$$PSR = (P_{t_0} - P_{t_{48}}) - PB$$

Donde:

PSR= Peso seco de raíz (g); P_{t_0} = Peso de la raíz más bolsa antes de meter a la estufa (g);

$P_{t_{48}}$ =Peso de la raíz más bolsa al sacar de la estufa (g); PB= Peso de la bolsa.

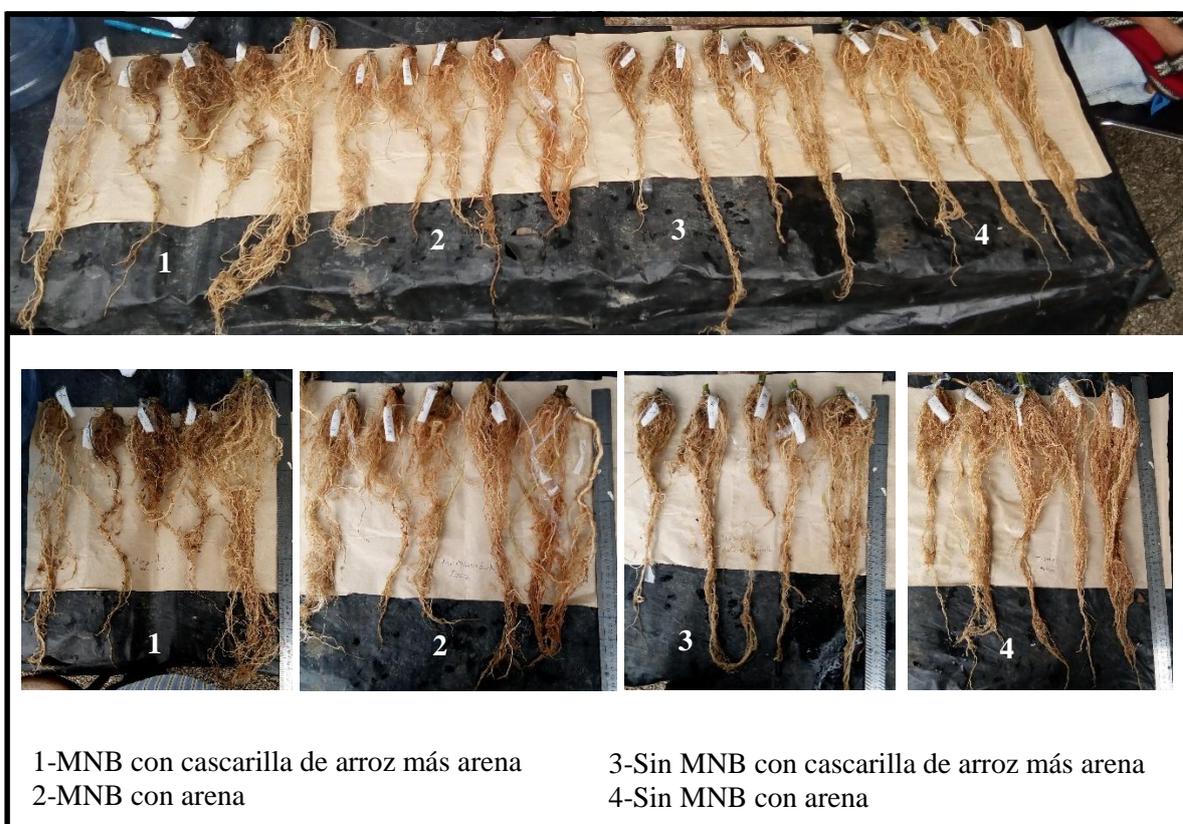


Figura 13: Longitud de raíz

m. Medición de variables de rendimiento y sus componentes

Número de frutos por planta: Se contabilizó el número de frutos comerciales en cada cosecha.



Figura 14: Frutos de tomate incorporando micronanoburbujas



Figura 15: Frutos de tomate sin incorporar micronanoburbujas

Peso fresco promedio de fruto (g): Se cuantificó el peso fresco de frutos de cada cosecha y se dividió entre el número de frutos correspondientes a esa cosecha; este procedimiento se realizó para cada cosecha; luego se promedió el peso fresco promedio de fruto para cinco cosechas.

Peso seco promedio de fruto (g): En cada cosecha se tomó el fruto de cinco plantas por tratamiento y factor; en una bandeja de aluminio previamente rotulada se introdujo en la estufa para el secado durante 96 horas. El peso seco de fruto se obtuvo mediante la siguiente expresión.

$$PSF = (PT_0 - PT_{96}) - PB$$

Donde:

PSF= Peso seco de fruto (g); PT_0 = Peso total de la bandeja con tomates antes de meter a la estufa (g); PT_{96} = Peso total de la bandeja con tomates al sacar estufa (g)

Se cuantifico el peso seco de frutos de cada cosecha y se dividió entre el número de frutos correspondientes a esa cosecha; este procedimiento se realizó para cada cosecha; luego se promedió el peso seco promedio de fruto para cinco cosechas.



Figura 16: Secado de fruto en estufa

Peso fresco de frutos por planta (g): Se acumuló el peso de fruto fresco de cada planta por las cinco cosechas.

Peso seco de frutos por planta (g): Se acumuló el peso seco de los frutos de cada planta por las cinco cosechas.

Rendimiento (Kg.m⁻²): Se calculó el rendimiento promedio por planta de cada uno de los tratamientos; considerando que la densidad de siembra empleada fue de 3.7 Plantas.m⁻², por regla de tres se calculó el rendimiento por metro cuadrado.

Frutos no comerciales: Se contabilizó todos los frutos no aptos para el mercado por cosecha, al igual que aquellos obtenidos producto de la poda.

Los datos de cada una de las variables evaluadas fueron tabulados en tablas de Excel, para su respectivo análisis.

3.3.3. Análisis estadístico

Se aplicaron cuatro tratamientos; suministro de MNB a la solución nutritiva en sustrato arena, suministro de MNB a la solución nutritiva en el sustrato arena más cascarilla de arroz, sin suministro de MNB a la solución nutritiva en el sustrato arena y sin suministro de MNB a la solución nutritiva en el sustrato arena más cascarilla de arroz. La incorporación de MNB a la solución nutritiva aplicada al cultivo se realizó mediante el sistema de riego por goteo.

Se realizó una investigación experimental prospectiva, interaccionando las variables X del estudio y observando la reacción Y. Se correlacionó el efecto en la producción de tomate hidropónico en sistema convencional y empleando un sistema generador de MNB. Con el estudio se logró comprobar el efecto de las MNB en la producción de tomate y sobre el desempeño de los sustratos, mediante un análisis estadístico descrito a continuación:

a. Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y 15 repeticiones; sin embargo, las repeticiones experimentales no se realizaron en orden aleatorio completo debido a que solo se disponía de un equipo generador de MNB, el cual se empleó para suministrar las MNB al sistema de riego por goteo y así a los sustratos. Para la prueba de comparación múltiple de medias se aplicó la prueba de Tukey. Para realizar el análisis estadístico se utilizó el *Software SAS 9.4*. A continuación se describe esquema del diseño:

a. Modelo aditivo lineal

$$y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Leyenda

y_{ij} = Valor observado en la j-esima observación del i-esimo tratamiento.

μ = Efecto de la media general.

T_i = Efecto de la i-esimo tratamiento sobre la j-esima observación.

E_{ij} = Efecto del error experimental

b. Análisis de varianza

Cuadro 4: Análisis de varianza

Para 15 repeticiones		Para 5 repeticiones	
Factor de variabilidad	Grados de libertad	Factor de variabilidad	Grados de libertad
Tratamiento	3	Tratamiento	3
Error	56	Error	16
Total corregido	59	Total corregido	19

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.VARIABLES BIOMÉTRICAS

Los datos de crecimiento del cultivo de tomate indeterminado se observan en el cuadro N° 5.

Cuadro 5: Crecimiento del cultivo de tomate indeterminado, incorporando MNB a la solución nutritiva, cultivado en dos sustratos

Variables	Tratamiento			
	ConMNB		SinMNB	
	Ar	CAr	Ar	CAr
Altura (cm)	203.93 b	233.67 a	230.73 ab	233.33 ab
Días a floración	14.00 a	14.00 a	14.00 a	14.00 a
Días a fructificación	28.67 a	28.00 b	28.53 ab	28.00 b
Días a cosecha	87.13 a	87.13 a	87.13 a	86.60 a
Longitud de raíz (cm)	46.4 a	53.4 a	50.8 a	50.2 a
Peso fresco raíz (g)	55.8 a	69.3 a	69.5 a	71.58 a
Peso seco raíz (g)	27.54 ab	31.82 a	22.72 b	21.92 b

*MNB: Micronaburujas, Ar: Arena, CAr: Cascarilla de Arroz más arena. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes por prueba de medias de Tukey al 5 %.

4.1.1. Altura de planta

Según el análisis de varianza ANOVA (Anexo N° 4) para la variable altura de planta existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos a un 95 % de significancia y un coeficiente de variación de 13.59 %; para los tratamientos ConMNB en el sustrato cascarilla de arroz más arena (CAr) se encontró una altura promedio de planta de 233.37 cm y 203.93 cm para el sustrato arena (Ar); en los tratamientos SinMNB en el sustrato cascarilla de arroz más arena (CAr) se obtuvo altura promedio de planta de 233.33 cm y 230.73 cm para el sustrato arena (Ar).

La incorporación de MNB en la solución nutritiva (SN) no tuvo efecto en el crecimiento de planta en sustrato CAr; ya que, el crecimiento promedio de planta fue similar, con una diferencia de 0.34 cm respectivamente; contrario a lo que paso en el sustrato Ar, donde el suministro de MNB a la SN afecto el crecimiento de las plantas de tomate, encontrando una diferencia de 26.8 cm cuando no sin incorporar MNB.

La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que se encontro diferencia significativas, los mejores resultado se obtuvieron en el tratamiento ConMNB en el sustrato CAr, aunque con diferencias mínimas (Cuadro N° 5).

La incorporación de MNB a la SN no tiene efecto en el crecimiento de planta de tomate que fue cultivada en sustrato CAr; ya que, se encontraron resultados similares con y sin MNB en la SN; similares efectos encontraron Martínez *et al.* (2012) al incrementar el oxígeno disuelto en la SN por métodos pasivos en sistemas hidropónicos recirculantes; al igual, Bonochela *et al.* (2010) no tuvo efecto en la biomasa aérea de tomate al emplear oxigenación; en el cultivo de pimienta evaluado por Ehret *et al.* (2010) al emplear tratamientos enriquecidos con oxígeno no tuvo efecto.

Sin embargo, (Chérif *et al.* 1997) demostró que hay un aumento marcado de la altura de plantas de tomate incorporando oxígeno a la solución nutritiva, argumenta que ese efecto se debe a un aumento de actividad de la lipoxigenasa; ya que su actividad se elevo cuando se aumentó la concentración de oxígeno en la solución nutritiva.

Las MNB tienen un efecto en el crecimiento de cultivos hidropónicos de hoja, mayor que en hortalizas producidas sobre sustratos; Seok y Kurata (2009) explican que empleando MNB en produjeron lechugas obtuvo 2.1 y 1.7 veces más grandes con respecto al testigo; atribuyendo que este resultado puede darse porque el área de superficie específica de las NMB es grande y poseen cargas negativas, lo cual fue demostrado por Takahashi (2005) y Ebina *et al.* (2013).

La respuesta favorable del sustrato CAr en la altura de planta con respecto al sustrato Ar podría estar relacionado a que Ar tiene baja capacidad de retención de agua debido al tamaño de sus partículas y densidad aparente alta (Anexo N°5), hay una menor proporción de micro poros con respecto a los macro poros; el agua disponible para las plantas se encuentra

retenida en los micro poros y los macro poros sirven para la circulación de agua y aire (Calderón y Cevallos 2002). El sustrato CAr tiene una densidad aparente de 0.85 Mg.m^{-3} , con respecto a 1.25 Mg.m^{-3} que tiene el sustrato Ar.

Hiden y Torrez. (2004) indican que empleando una mezcla de perlitas más cascarilla de arroz carbonizado genera un efecto positivo en algún parámetro productivo con respecto a lana de roca, corteza de ciprés y coco.

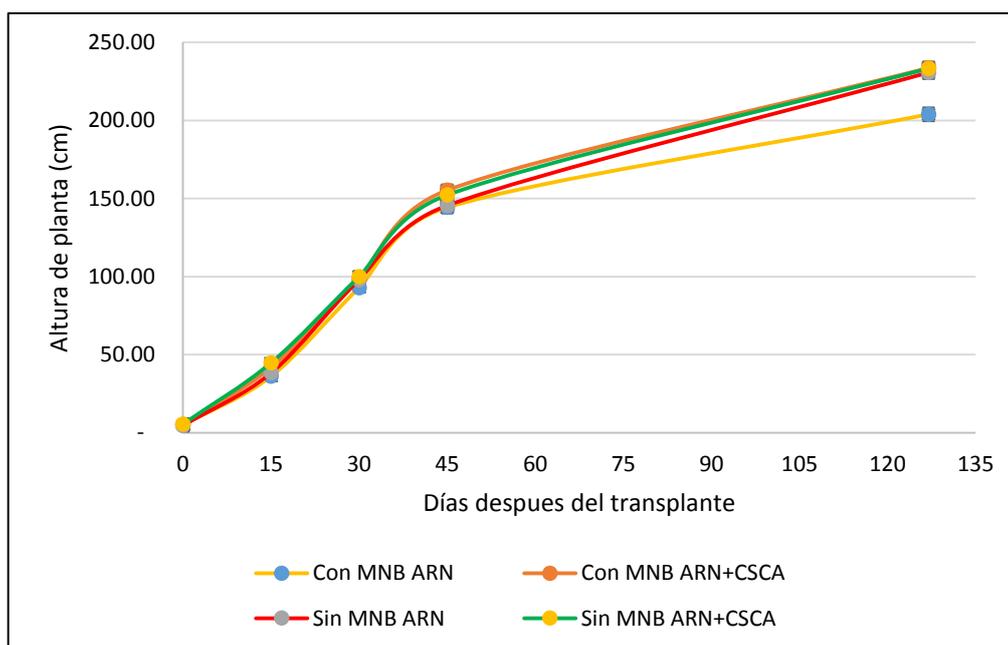


Figura 17: Efecto de la incorporación de MNB en la en la solución nutritiva sobre la altura de planta (cm) de tomate cultivado en dos sustratos

El comportamiento inicial de la planta de tomate fue similar para cada tratamiento, hasta los 30 días después del trasplante (DDT), ya que a partir de ahí se notaron diferencias con respecto al tipo de sustrato, teniendo mejores resultados en el tratamiento Con MNB en CAr, quedando evidenciado que la planta se desarrolla mejor con respecto a los demás tratamientos, al igual que al momento de la cosecha los resultados fueron los mejores (Figura N° 17).

Inden y Torrez (2004) también demostraron que al emplear cascarilla de arroz carbonizado más perlita se producen plantas con mayor tamaño de hoja al igual que mayor peso fresco y seco; de esta manera las plantas tienen un mayor desarrollo foliar, con respecto a otros tres sustratos.

4.1.2. Días a floración

El análisis de varianza ANOVA (ANEXO N° 6) indica que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, ya que los resultados fueron similares, toda la población llegó a floración a los 14 DDT (Cuadro N° 5). La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que no hay diferencia significativa al entre los tratamientos (Anexo N° 4).

4.1.3. Días a fructificación

Para la variable días a fructificación, según el análisis de varianza ANOVA (ANEXO N° 7), se encontró diferencias altamente significativas entre los tratamientos a un 95 % de significancia con un coeficiente de variación de 2.36 %, los tratamientos obtuvieron un promedio de 28.67 DDT ConMNB en CAr y 28.00 DDT ConMNB en Ar respectivamente; en los tratamientos SinMNB en Ar se obtuvo un promedio de 28.53 DDT y SinMNB en CAr 28.00 DDT respectivamente (Cuadro N° 5). La diferencia de días a fructificación es menor a 1; por lo que, no es un efecto relevante.

La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que hay diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro N° 5).

4.1.4. Días a cosecha

Para la variable días a cosecha no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro N° 5), ya que los resultados fueron similares, con un promedio de 87.13 DDT en el tratamiento ConMNB tanto en el sustrato CAr como Ar y para los tratamientos SinMNB en CAr 86.60 DDT respecto a 88.73 DDT en Ar respectivamente. La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que no hay diferencia significativa (Cuadro N° 5).

4.1.5. Longitud de raíz

Según el análisis de varianza ANOVA (ANEXO N° 9), para la variable longitud de raíz no existen diferencias significativas entre los tratamientos a un 95 % de significancia, con un coeficiente de variación de 25.49 %.

La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que no hay diferencia significativas entre los tratamientos (Cuadro N° 5).

4.1.6. Peso fresco de raíz

El análisis de varianza ANOVA (ANEXO N° 10) indica que para la variable peso fresco de raíz no existen diferencias significativas de los tratamientos y factores a un 95 % de significancia, con un coeficiente de variación de 34.94 %.

La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que no hay diferencia significativa para la variable peso fresco de raíz al incorporar MNB a la solución nutritiva y con respecto al sustrato (Cuadro N° 5).

4.1.7. Peso seco de raíz

Hay mayor acumulación de materia seca por parte de la raíz cuando se incorpora MNB a la SN en los sustratos CAR y Ar, el análisis de varianza ANOVA (ANEXO N° 11) comprueba que existen diferencias significativas entre los tratamientos a un 95 % de significancia, con un coeficiente de variación de 19.10 % El tratamiento ConMNB en el sustrato CAR provocó que el peso seco de raíz fuera superior con un promedio de 31.82 g con respecto al sin MNB en el sustrato CAR con un promedio de 21.92 g de materia seca; de igual manera el tratamiento ConMNB en Ar acumuló 27.54 g de materia seca, superando al tratamiento SinMNB en Ar con 22.72 g respectivamente.

La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que hay diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo mejores resultados al incorporar MNB a la SN (Cuadro N° 5).

Resultados similares encontraron Chérif *et al.* (1997) en tomate, obteniendo un aumento marcado en el peso de los brotes y las raíces al emplear oxígeno. Este efecto se podría atribuir a que las MNB adheridas a la raíz estimula positivamente el crecimiento de la raíz ya que estas poseen cargas eléctricas negativas (Takahashi, 2005), y puede ayudar a las raíces a absorber o atraer nutrientes, ya que las MNB alrededor de la raíz tienen el potencial de atraer iones cargados positivamente (calcio, magnesio, potasio y amonio); en el caso de los sustratos por su naturaleza (inertes) no poseen cargas (capacidad de intercambio catiónico) no retienen iones y podría facilitar el lavado de estos nutrientes, las MNB podrían ayudar en este aspecto.

Las MNB provocan la formación de radicales hidroxilo (OH) creados por la descomposición de vapor de agua. La carga superficial de cada MNB puede ser determinado por la velocidad y dirección de su movimiento en la presencia de un potencial eléctrico y puede ser evaluada por el valor de la (U) potencial. (Takahashi *et al.* 2007); también las MNB poseen alta solubilidad del gas en el líquido debido a su alta presión interna y una superficie específica más grande (Ebina *et al.* 2013).

El oxígeno es extremadamente importante para la absorción de nutrientes en las plantas ya que es responsable para transportar nutrientes a través de la pared celular y hacia las raíces de la planta, se mejorará la absorción de nutrientes. La raíz del cultivo necesita bastante oxígeno para mantener el metabolismo propio y el crecimiento de toda la planta (Abdella *et al.* 2018).

También, se ha demostrado que el agua con MNB provoca un estímulo hacia la explosión de los genes relacionados con la división celular, aflojamiento de la pared de células, reacción cuantitativa en cadena de la polimerasa; ejemplo los genes que codifican las peroxidasas, esto se da por un aumento de radicales hidroxilo exógenos (OH) producidos por el agua con MNB, aumentando significativamente expresión de genes relacionados con la peroxidasa y NADPH lo que lleva a un aumento de anión superóxido endógeno (Liu *et al.* 2017).

4.2.COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DE RENDIMIENTO

El comportamiento productivo del cultivo de tomate indeterminado se muestra el cuadro (N° 6).

Cuadro 6: Rendimiento alcanzado del cultivo de tomate indeterminado, incorporando MNB a la solución nutritiva, cultivado en dos sustratos

Variables	Tratamiento			
	ConMNB		SinMNB	
	Ar	CAr	Ar	CAr
Nº frutos por planta	19.27 a	20.33 a	16.60 b	17.60 ab
Peso fresco promedio de fruto (g)	119.29 a	129.88 a	124.12 a	117.33 a
Peso seco promedio de fruto (g)	6.174 a	5.788 a	5.93 a	5.858 a
Peso fresco de frutos por planta (g)	2,178.71 b	2,558.64 a	1,998.31 b	1,961.33 b
Peso seco de frutos por planta (g)	121.68 a	113.06 ab	108.48 ab	97.04 b
Rendimiento (Kg.m ⁻²)	8.06 b	9.47 a	7.39 b	7.26 b

*MNB: Micronaburbujas, Ar: Arena, CAr: Cascarilla de Arroz más arena. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes por prueba de medias de Tukey al 5 %.

4.2.1. Números de frutos por planta

Se obtuvo mayor cantidad de frutos por planta en los tratamientos ConMNB en los sustratos CAr y Ar con promedios de frutos por planta de 20.33 y 19.27; para los tratamientos SinMNB en Car y Ar se obtuvo un promedio de frutos por planta de 17.60 y 16.60 respectivamente. El análisis de varianza ANOVA (ANEXO N° 12) indica que se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos con un 95 % de significancia y un coeficiente de variación de 12.37 %.

Estos resultados contradicen lo demostrado por Bonochela *et al.* (2010), ya que no encontraron diferencias significativas en el peso de la fruta aumentando el contenido de oxígeno mediante el enriquecimiento de oxígeno en la solución nutritiva.

El desempeño del sustrato se vio influenciado por la incorporación de MNB a la SN, ya que el tratamiento ConMNB en el sustrato CAr fue superior con 2.73 frutos por planta con respecto al tratamiento SinMNB en el sustrato CAR; de igual manera el tratamiento

ConMNB en el sustrato AR fue superior por 2.67 frutos por planta con respecto al tratamiento SinMNB en el sustrato AR, quedando evidenciado las plantas producen mayor cantidad de frutos por planta cuando se incorpora MNB a la SN en ambos sustratos.

El análisis de varianza ANOVA (ANEXO 12) indica que hay diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Hiden y Torrez. (2004) indico que al emplear perlititas más cascarilla de arroz carbonizado se obtiene mayor número de frutos por planta, en comparación con los sustratos lana de roca, corteza de ciprés y coco.

El mejor tratamiento para el variable número de frutos por planta fue ConMNB en el sustrato CAr, La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que hay diferencia altamente significativas (Cuadro N° 6).

Para el análisis de esta variable solo se cuantificaron los frutos comerciales; como manejo del cultivo se eliminaron todos los frutos defectuosos. La evaluación del cultivo se hizo en un periodo de tiempo de 127 días a partir del trasplante (42 días de cosecha). Dentro del grupo de frutos defectuosos (no comerciales) están los frutos afectados por enfermedades, podredumbre apical (deficiencia de calcio por efecto de humedad relativa alta), mal formación (principalmente deficiencia de boro) (Broadley *et al* 2012; Burstrom 2008).

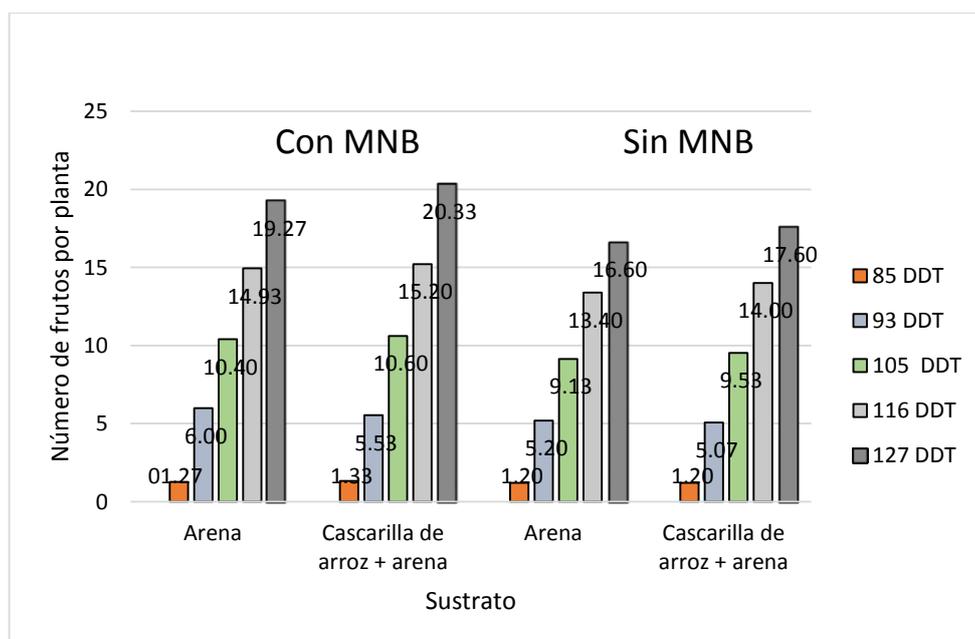


Figura 18: Número de frutos por cosecha Con y Sin MNB a la solución nutritiva, cultivado en dos sustratos

Hay una relación directa del número de frutos por planta con el rendimiento, a medida que aumenta la cantidad de frutos por planta mayor es el rendimiento. La incorporación de MNB tiene un efecto directo en la cantidad de frutos comerciales producidos mayormente en el sustrato CAr (figura N° 18); ya que al hacer la comparación se puede apreciar que: Se obtuvo un 5.50 % (1.06 frutos por planta) más que en el tratamiento ConMNB en el sustrato Ar; para los tratamientos Sin MNB se contabilizó un 6.02 % (1 fruto por planta) más de frutos por plantas en el sustrato CAr con respecto a Ar, esto indica que el sustrato CAr es mejor que el sustrato Ar y esta diferencia se ve más marcada cuando se incorporó MNB a la SN.

El comportamiento de los sustratos incorporando MNB a la solución nutritiva (Figura N° 18) muestra que; el tratamiento ConMNB en el sustrato Ar superó en un 16.08 % (2.67 frutos por planta) a SinMNB en el sustrato Ar y en el tratamiento ConMNB en el sustrato CAr se logró observar una diferencia de 15.51 % (2.73 frutos por planta) con respecto a SinMNB en el sustrato CAr. El mejor tratamiento para la variable número de frutos por planta es ConMNB en el sustrato CAr, ya que este obtuvo un 22.47 % (3.73 frutos por planta) más que el tratamiento SinMNB en el sustrato Ar (menor número de frutos por planta).

4.2.2. Peso fresco promedio de fruto (g)

El análisis de varianza ANOVA (Anexo N° 13), muestra que para la variable peso fresco promedio de fruto no existen diferencias significativas entre los tratamientos a un 95 % de significancia, con un coeficiente de variación de 13.29%; sin embargo, el tratamiento ConMNB en el sustrato CAr tuvo un desempeño superior con respecto al peso fresco promedio de fruto con un promedio de 129.88 g; 10.59 g más que el tratamiento ConMNB en Ar; 5.76 g más que el tratamiento SinMNB en Ar y 12.5 g que el tratamiento SinMNB en CAr.

La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro N° 6).

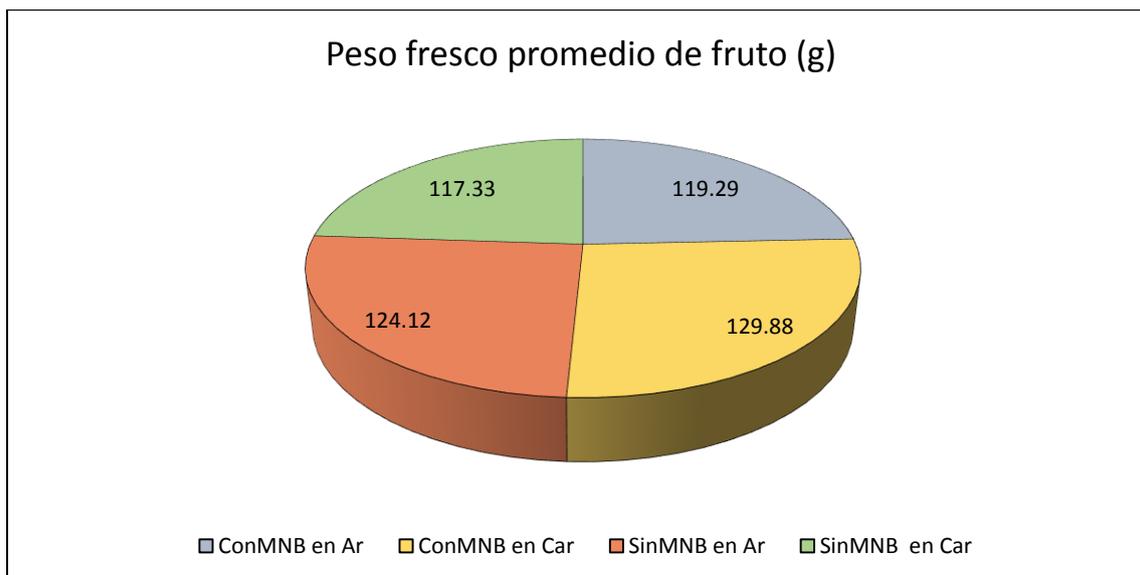


Figura 19: Peso fresco promedio de fruto (g) alcanzado del cultivo de tomate incorporando MNB a la solución nutritiva, cultivado en dos sustratos

Al incorporar MNB a la solución nutritiva se obtiene un incremento en el peso fresco promedio de fruto, obteniendo el mejor resultado cuando se empleó el sustrato CAR, un 8.88 % más que en el sustrato Ar, lo cual equivale a 10.59 g por fruto más; esto significa que el sustrato CAR tiene un mejor desempeño que el sustrato Ar; caso contrario cuando no se incorporan MNB; ya que se obtuvo un 5.79 % más de peso fresco por fruto en el sustrato Ar con respecto al sustrato CAR, lo que representa 6.79 g por fruto (Figura 19).

Las MNB provocaron un efecto marcado sobre el desempeño del sustrato, ya que el tratamiento ConMNB en CAR mostro resultados superiores que el tratamiento ConMNB en Ar.

4.2.3. Peso seco promedio de fruto (g)

El comportamiento de los tratamientos fue similar para la variable peso seco promedio de fruto, ya que el análisis de varianza ANOVA (Anexo N° 14), indica que no existen diferencias significativas a un 95 % de significancia entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 11.08%. La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que no hay diferencia, ya que los resultados fueron similares y sin mucha variación (Cuadro N° 6); sin embargo, El tratamiento ConMNB en Ar fue superior con 6.48 g de materia seca por fruto, con respecto a 5.88 g, 6.24 g y 6.02 g para los tratamientos ConMNB en CAR, SinMNB en Ar y SinMNB en CAR respectivamente.

4.2.4. Peso fresco de fruto por planta (g)

El mayor peso fresco de fruto por planta se logró en el tratamiento ConMNB en el sustrato CAr con un peso promedio de 2,558.64 g con respecto a 2178.71 g para el tratamiento ConMNB en Ar, lo que evidencia que hay un mejor desempeño del sustrato CAr. El tratamiento SinMNB en Ar fue superior con un promedio de 1,998.31 g con respecto a 1961.33 en el tratamiento SinMNB en CAr.

El análisis de varianza ANOVA (Anexo N° 15) demuestra que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos a un 95 % de significancia, con un coeficiente de variación de 17.28 %. La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que solo hay diferencia significativas entre los tratamientos (Cuadro N° 6).

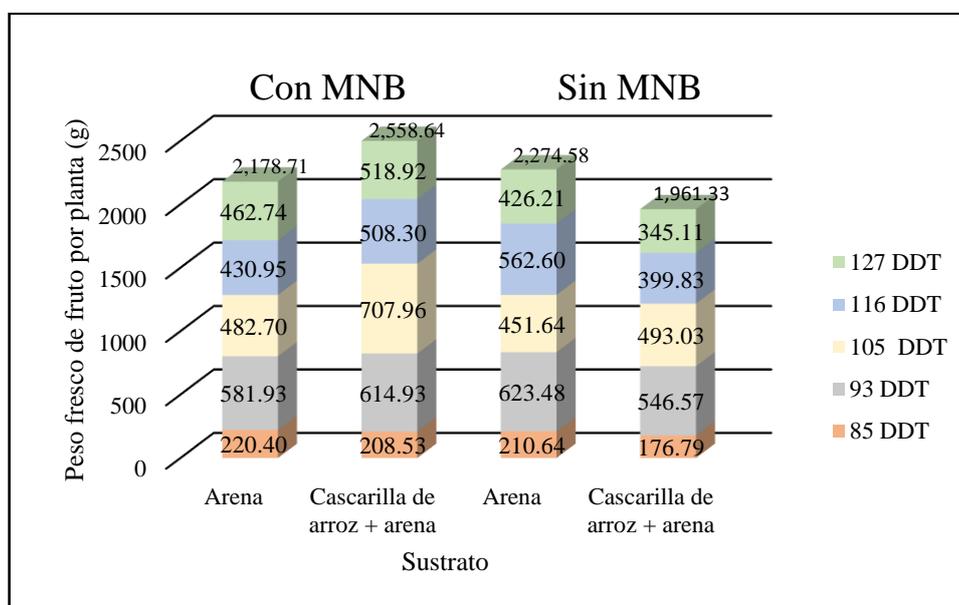


Figura 20: Peso fresco de frutos por planta (g) alcanzado por el cultivo de tomate incorporando MNB a la solución nutritiva, cultivado en dos sustratos.

La producción total por planta (peso fresco) fue superior con el tratamiento ConMNB en el sustrato CAr, con 597.31 g más que SinMNB en el sustrato CAr (Figura N° 19). Esto se debe a que con el tratamiento MNB se obtuvo mayor cantidad de frutos por planta (Figura N° 18) y mayor peso fresco por fruto (Figura N° 19). El tratamiento ConMNB en Ar fue superior a Sin MNB en CAr con una diferencia de 180.40 g de peso fresco por fruto por planta (Figura n° 20).

El efecto de la incorporación de MNB a la SN tiene un efecto marcado en el desempeño del sustrato ya que el tratamiento SinMNB en Ar fue superior a Sin MNB en CAr en 33.98 g respectivamente, contrario a lo que paso cuando se incorpora MNB a la SN en ambos sustratos.

4.2.5. Peso seco de fruto por planta (g)

El análisis de varianza ANOVA (Anexo N° 16) demuestra que para la variable peso seco de fruto por planta existen diferencias significativas entre los tratamientos a un 95 % de significancia, con un coeficiente de variación de 11.01%.

Para el tratamiento ConMNB en Ar se obtuvo un promedio mayor de peso seco de fruto por planta (121.68 g), el tratamiento ConMNB en CAr obtuvo un promedio de 113.06 g; siendo estos superiores respecto a los tratamiento SinMNB en Ar y SinMNB en CAr con promedios de 108.48 g y 97.04 g respectivamente.

Se comprobó mediante prueba estadística de Tukey al 5 % que hay diferencia significativas entre los tratamientos, dando mejores resultados cuando se incorpora MNB a la SN nutritiva (Cuadro N° 6).

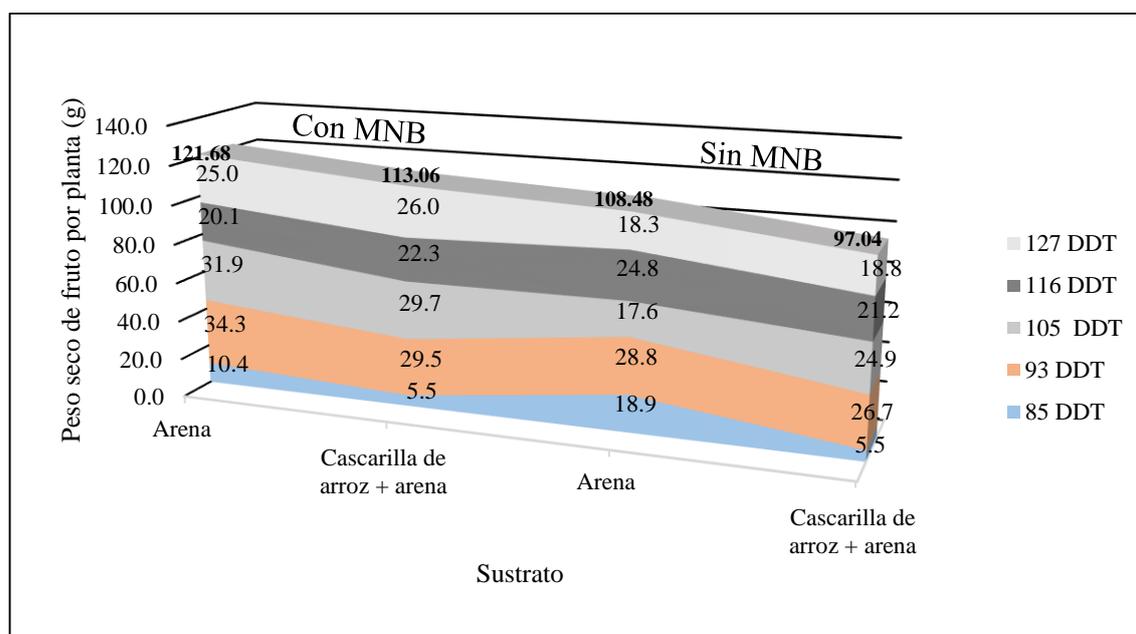


Figura 21: Peso seco de frutos por planta (g) alcanzado por el cultivo de tomate incorporando MNB a la solución nutritiva cultivado en dos sustratos.

En la figura (N° 21) se observa el comportamiento de cada uno de los tratamientos sobre el peso seco promedio de fruto por planta, El tratamiento ConMNB en Ar fue superior a los demás con 6.82 g, 13.2 g y 24.64 g para los tratamientos ConMNB en CAr, SinMNB en Ar y SinMNB en CAr respectivamente. De esta manera se evidencia el efecto positivo que tiene la incorporación de MNB a la SN, ya que aumenta el peso seco de fruto en ambos sustratos.

4.3.PRODUCCIÓN DE TOMATE EN HIDROPONÍA CONVENCIONAL Y SUMINISTRANDO MNB A LA SN EN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN DOS SUSTRATOS

4.3.1. Rendimiento (Kg.m⁻²)

La población con mayor rendimiento se logró en el tratamiento ConMNB en el sustrato CAr, alcanzando un rendimiento promedio de 9.47 Kg.m⁻² y cuando no se incorporó MNB 7.39 Kg.m⁻²; lo cual se evidencia mediante el análisis de varianza (ANEXO 17), ya que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos a un 95 % de significancia, con un coeficiente de variación de 17.28 %. La prueba estadística de Tukey al 5 % comprueba que hay diferencia entre los tratamientos (Cuadro N° 6).

Martinez *et al.* (2012) explica que al oxigenar por medios pasivos la SN incremento significativamente el rendimiento tomate en más de 200 %. Hiden y Torrez. (2004) con el sustrato perlitas más cascarilla de arroz carbonizado obtuvieron mejores resultados con respecto a otros tres sustratos evaluados.

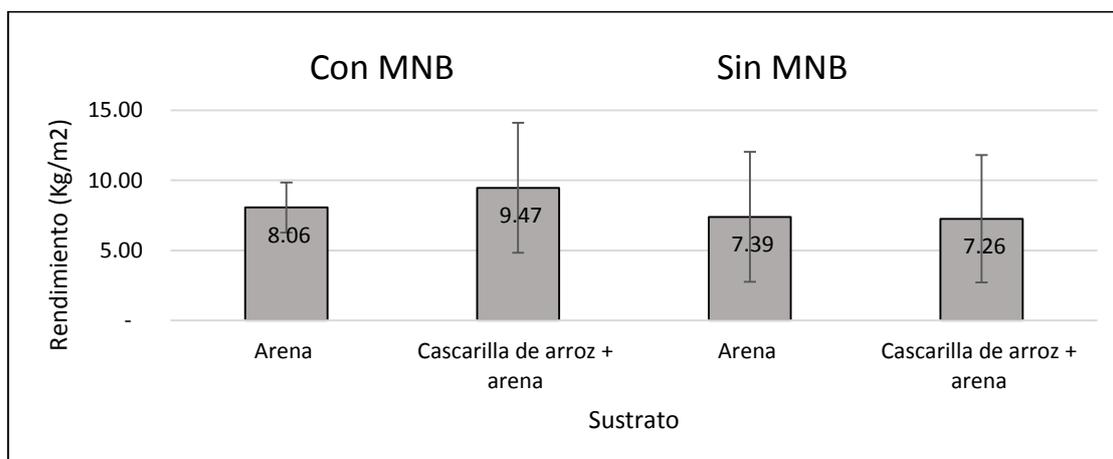


Figura 22: Efecto de la incorporación de MNB a la solución nutritiva en el rendimiento (Kg.m⁻²) de tomate cultivado en dos sustratos

El tratamiento ConMNB en el sustrato CAr obtuvo un mejor desempeño con un rendimiento superior de 2.21 Kg.m⁻² respecto al tratamiento SinMNB en CAr lo que equivale a 22.1 Ton.ha⁻¹ más en producción de tomate; queda evidenciado que la incorporación de MNB a la SN influye en el desempeño del sustrato para la variable rendimiento (Figura 22).

La diferencia en cuanto a rendimiento del tratamiento ConMNB en el sustrato CAr versus ConMNB en Ar es de 1.41 Kg.m⁻², lo que equivale a 14.1 Ton.ha⁻¹, siendo superior el rendimiento en el sustrato CAr, siendo este el más recomendable cuando se emplea la tecnología de incorporación de MNB a la SN. Los resultados de los tratamientos SinMNB en el sustrato Ar y SinMNB en el sustrato CAr son similares ya que solo hay una diferencia de 0.13 Kg.m⁻², lo que equivale a 1.3 Ton.ha⁻¹ (Figura 22).

Según García Ramírez (2015); en un sistema de hidropónico NFT (tomate variedad “El cid”) alcanzó una producción de 40 Kg.m⁻², con una duración de 12 meses (20 cosechas); en este experimento se evaluó el cultivo de tomate durante 6 meses (5 cosechas); por lo que, la producción obtenía es aceptable (Figura 22).

Sánchez *et al.* (2014); comparo el rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes en la Universidad Autónoma Chapingo, obteniendo un máximo rendimiento con el método de escalera con 7 plantas·m⁻¹; obteniendo un rendimiento 29.7 Kg.m⁻²; el experimento se llevó a cabo desde julio de 2011 a febrero de 2012 (8 meses de evaluación). Haciendo una comparación con los datos obtenidos en esta investigación en 5 cosechas se obtuvo una relación en la producción de 32% (9.47 Kg.m⁻²) (Figura 18 y 22).

Ortega *et al.* (2010), evaluo el efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero, el experimento se llevó a cabo en Puebla, Mexico; obteniendo el mejor resultado con el tratamiento aserrín más composta con una densidad de 4 Kg.planta⁻¹, con un rendimiento de 25.00 Kg.m⁻²; considerando que se evaluó durante todo un ciclo de producción. Por lo que, al comparar con los datos obtenidos en este estudio, en cinco cosechas y con densidad de 3.7 plantas.m⁻² se logra igualar en un 38% de la producción (Figura 22).

Rodríguez (2007); en investigación a campo abierto en cultivo de tomate realizada en el norte de Kanto, Japon, obtuvo un máximo rendimiento de 2.5 Kg.planta⁻¹ (tratamiento de paja de arroz y salvado); lo que equivale a 9.25 Kg.m⁻² empleando la densidad de 3.7 plantas.m⁻². En esta investigación se supera el rendimiento obtenido por Rodríguez (2007); ya el rendimiento obtenido es de 9.47 Kg.m⁻², considerando que solo se evaluó 5 cosechas (Figura 18 y 22).

Villegas Cota *et al.* (2004) compara los sistemas de producción de tomate en invernadero y a campo abierto, empleando diferentes densidades de siembra; el mayor rendimiento obtenido fue en la densidad de 6.8 plantas.m⁻², con 26.9 kg m⁻²; respecto 5.39 kg.m⁻² en campo con densidad de siembra de 1.1 plantas.m⁻². En esta investigación, aunque no se evaluó calidad de frutos, el rendimiento obtenido es mayor al obtenido en campo y representa un 35.2 % de la producción en invernadero hasta la cosecha 5 (Figura 18 y 22).

4.3.2. Frutas no comerciales

Se obtuvo mayor cantidad de frutos no comerciales (FNC) para los tratamientos SinMNB en CAr y SinMNB en Ar con promedios de 11.40 FNC y 9.60 FNC, con respecto a 6.06 FNC y 5.53 FNC para los tratamientos ConMNB en Car y ConMNB en Ar, obteniendo diferencias altamente significativas entre los tratamiento (ANOVA) con un 95 % de significancia, con un coeficiente de variación de 35.30 % (ANEXO N° 18). Mediante prueba estadística de Tukey 5 % comprueba que los sustratos sin incorporación de MNB a la SN obtuvieron mayor cantidad de frutos no comerciales.

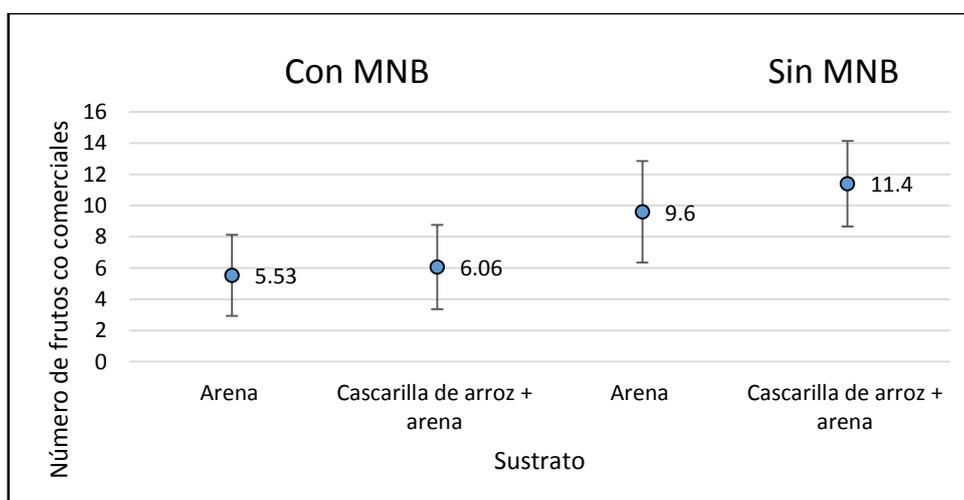


Figura 23: Efecto de la incorporación de MNB a la solución nutritiva en el número de frutos no comerciales de tomate cultivado en dos sustratos

La incorporación de MNB reduce sustancialmente la cantidad de frutos no comerciales en ambos sustratos, siendo mayor la reducción en el sustrato Ar. Según Ehret *et al.* (2010) Al emplear SN enriquecida con oxígeno en pepinos y pimientos, la vida útil de las frutas se extendió.

Papadopoulos *et al.* (2012) expresa que utilizando medios de cultivo de lana de roca y bonote los rendimientos fueron mayores con al incrementar la cantidad de oxígeno de la SN (75 ppm); argumentando que el oxígeno puede sostener la productividad en condiciones de estrés por envejecimiento; para Morard *et al.* (2000) en el cultivo de tomate la deficiencia de oxígeno de la SN no tiene efectos inmediatos en el consumo de agua y nutrientes de toda la planta; pero, la asfixia de la raíz causa una disminución del 20 al 30% de la absorción de agua después de 48 horas. Comenta que el potasio (K) es uno de los nutrientes más sensible a la privación de oxígeno La captación de nitrato fue la menos afectada por la deficiencia de oxígeno.

4.3.3. Requerimientos hídricos del cultivo de tomate

Los requerimientos hídricos del cultivo de tomate se muestran en la figura 23; al igual que el consumo de agua (solución nutritiva) hasta la cosecha 5 (153 días a partir de la siembra)

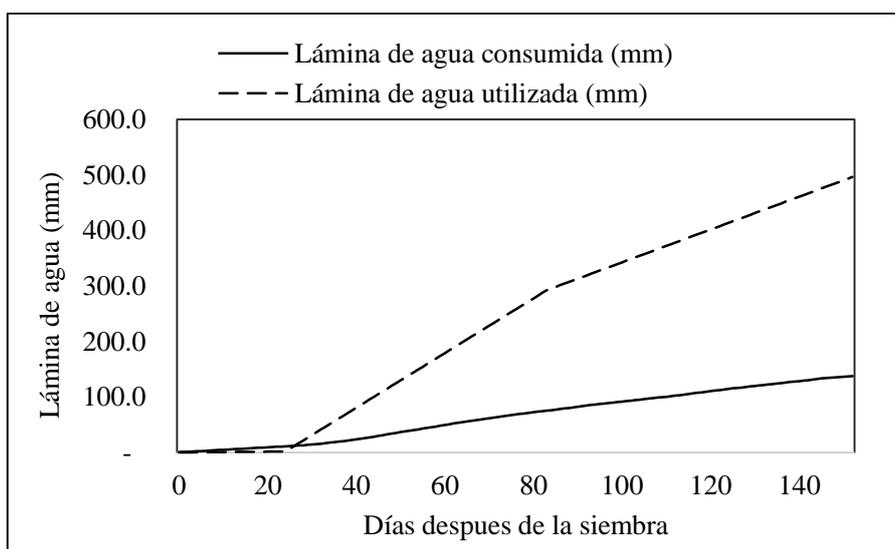


Figura 24: Consumo y uso del agua de riego (solución nutritiva).

El cultivo de tomate tuvo un consumo total de agua de 3,578.5 litros (ANEXO 19), en un área de 26 m²; con 10.6 m² de área evaporante; lo cual equivale a una lámina de 137.63 mm, 1,376.30 m³.Ha⁻¹; el suministro de solución nutritiva al cultivo de tomate fue de 12,899.2

litros; equivalente a 496.12 mm y 4,961.20 m³.Ha⁻¹ respectivamente. Haciendo una comparación, se empleó 9,320.70 litros solución nutritiva más que lo requerido, esto debido a que se emplea una lámina adicional para drenaje; así, mantener de manera constante las raíces en contacto con solución nutritiva, esto equivale a 358.49 mm y 3,584.9 m³.Ha⁻¹.

Para Yara (2019), en Perú bajo situaciones de campo, los tomates necesitan de 2,000.00 a 6,600.00 m³.ha⁻¹ de agua por temporada para tener una producción alta. En invernaderos, cada planta consume aproximadamente de 1 a 2 litros de agua por día, el equivalente a 10.000.00 m³.ha⁻¹ por año. En esta investigación en un lapso de tiempo de 152 días (0.42 años) se utilizó un total de agua de 4,961.20 m³.Ha⁻¹, siendo esta cantidad aceptable según el consumo planteado en invernadero.

Mientras que para Antón *et al.* (2002); en una comparación de las necesidades de agua del cultivo de tomate en invernadero y al aire libre; quienes, determinaron un consumo de agua en campo al aire libre de 392.4, L.m⁻² (3,924.00 m³.Ha⁻¹), mientras que en invernadero de 336.5 L.m⁻² (3,365.5 m³.Ha⁻¹); consumo por debajo a lo obtenido en esta investigación (4,961.20 m³.Ha⁻¹) (ANEXO 19).

Según Affi *et al.* (2012), en la zona mediterránea se emplea un promedio de agua para la producción de tomate de 8,000.00 m³ para un ciclo de producción de 8-9 meses de duración; un rango similar al obtenido en esta investigación si se hubiese evaluado durante el mismo tiempo; ya que en 152 días representa un 60 % del consumo de agua planteado por Affi *et al.* (2012).

Para Parameshwarareddy *et al.* (2018), el consumo de agua del cultivo de tomate en condiciones de invernadero en riego por goteo es de 37.65 L.planta⁻¹, considerando densidad de siembra de 3.7 plantas.m² (densidad de siembra del tomate sujeto a investigación), se estima un consumo de agua de 1,393.05 m³.Ha⁻¹, bastante menor a lo empleado en esta investigación (4,961.20 m³.Ha⁻¹) (ANEXO 19).

a. Contenido neto de agua virtual del cultivo de tomate (m³.Ton⁻¹)

Siendo que el máximo rendimiento obtenido fue de 9.47 Kg.m⁻² para el tratamiento de MNB en el sustrato CAr, lo cual equivale a 94.7 Ton.Ha⁻¹, con un consumo de agua de 4,961.20 m³.Ha⁻¹; por lo que el contenido neto de agua virtual del cultivo de tomate es de 52.39 m³.Ton⁻¹.

¹. Para los tratamientos con MBN en Ar sería de $61.55 \text{ m}^3 \cdot \text{Ton}^{-1}$; sin MNB en CAr $68.34 \text{ m}^3 \cdot \text{Ton}^{-1}$; sin MNB en Ar $67.13 \text{ m}^3 \cdot \text{Ton}^{-1}$ respectivamente (Figura 22).

Suchoff *et al.* (2018), en investigación realizada en cultivo de tomate en Carolina del Norte, Estados Unidos de América, para el tratamiento del 100 % de lámina de riego ($137.89 \text{ m}^3 \cdot \text{Ha}^{-1}$); obtuvieron un rendimiento de $27.08 \text{ Ton} \cdot \text{Ha}^{-1}$; lo cual, equivale a un contenido neto de agua virtual del cultivo de $5.09 \text{ m}^3 \cdot \text{Ton}^{-1}$, bastante por debajo a lo obtenido en esta investigación; de igual manera para el tratamiento del 50 % de lámina de riego ($68.938 \text{ m}^3 \cdot \text{Ha}^{-1}$); obtuvieron un rendimiento de $40.8 \text{ Ton} \cdot \text{Ha}^{-1}$; obteniendo un 144.6% más de ingresos netos cuando se empleó una lámina del 50 % de riego, con un contenido neto de agua virtual del cultivo de $1.69 \text{ m}^3 \cdot \text{Ton}^{-1}$.

V. CONCLUSIONES

1. Las micronanoburbujas (MNB) incorporadas a la solución nutritiva no tuvieron efecto sobre la variable altura de planta; sin embargo, en el sustrato mezcla de cascarilla de arroz con arena se obtuvieron los mejores resultados.
2. No se evidenció efecto de las MNB incorporadas a la solución nutritiva en los sustratos arena y mezcla de cascarilla de arroz con arena sobre las variables longitud y peso fresco de raíz; días de fructificación, floración y cosecha, tuvieron similar desempeño.
3. Las MNB suministradas a la solución nutritiva estimularon una mayor acumulación de materia seca por parte de la raíz en ambos sustratos; sin embargo, el sustrato mezcla de cascarilla de arroz con arena tuvo un desempeño superior con respecto al sustrato arena.
4. Se produce mayor cantidad de frutos por planta y mayor peso fresco de fruto incorporando las MNB en la solución nutritiva en el sustrato cascarilla de arroz con arena; sin embargo, para la variable materia seca de fruto se obtienen mejores resultados en el sustrato arena.
5. Al incorporar las MNB a la solución nutritiva en el sustrato arena se obtiene menor peso fresco por fruto; sin embargo, se produce mayor cantidad de frutos, pero no tiene relevancia ya que estos son más pequeños, por lo tanto el rendimiento es menor.
6. El suministro de las MNB a la solución nutritiva tiene un efecto directo en el desempeño del sustrato, ya que el sustrato mezcla de cascarilla de arroz con arena tiene mejores resultados; pero al no incorporar las MNB a la solución nutritiva el sustrato arena se desempeña mejor.
7. El sustrato mezcla de cascarilla de arroz con arena produce un desempeño mejor cuando se dispone de un medio de oxigenación de la solución nutritiva, a diferencia del sustrato arena que tiene un mejor desempeño cuando no se emplea un medio de oxigenación de la solución nutritiva.

VI. RECOMENDACIONES

1. En futuras investigaciones cuantificar el efecto del suministro de las micronanoburbujas (MNB) a la solución nutritiva sobre las variables fisiológicas de las plantas; al igual que evaluar parámetros de calidad del fruto de tomate.
2. Evaluar el efecto del suministro de las MNB, la temperatura, altitud, pH y conductividad eléctrica sobre el contenido de oxígeno disuelto de la solución nutritiva.
3. Medir el tamaño de las MNB suministradas a la solución nutritiva y evaluar el efecto por tamaño.
4. En sistemas abiertos en sustrato el suministro de las MNB a la solución nutritiva puede ser una opción para retener iones, debido a sus propiedades (cargadas negativamente) y evitar pérdidas de estos por lavado del sustrato.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdella Ahmed, AK; Shi, X; Hua, L; Manzueta, L; Qing, W; Marhaba, T; Zhang, W. 2018. Influences of Air, Oxygen, nitrogen, and carbon dioxide nanobubbles on seeds germination and plants growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66(20): 5117-5124.
- Affi, N; El Fadl, A; El Otmani, M; Benismail, MC; El Mastor, A. 2012. Improvement of Tomato Water Productivity by the Use of a Partial Rootzone Drying Irrigation Strategy. *Acta Horticulturae* 1838: 359-366.
- Albaho, M; Thomas, C. 2008. Evaluation of hydroponic techniques on growth and productivity of greenhouse grown bell pepper and strawberry. *International Journal of Vegetable Science* 14(1): 23-40.
- Antón, A; Montero, Ji; Munoz, P. 2001. Necesidades de agua del cultivo de tomate en invernadero. Comparación con el cultivo al aire libre. *Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria*: 369-374.
- Baixauli, C; Aguilar, J. 2002. Cultivos sin suelo de hortalizas: Principales sustratos empleados, características y propiedades. 1 ed. Valencia, España, Generalitat Valenciana. 110 p. Serie Divulgación Técnica. N° 53.
- Beltrano, J; Giménez, D. 2015. Cultivo en hidroponía: Introducción al cultivo hidropónico. 1 ed. Buenos Aires, Argentina. Editorial de la Universidad de la Plata. 181 p.
- Bonachela, A; Quesada, RA; Acuña, A; Maga'n, B; Marfa'c, O. 2010. Oxyfertilization of a greenhouse tomato crop grown on rockwool slabs and irrigated with treated wastewater: Oxygen content dynamics and crop response. *Agricultural Water Management* 97(3): 433-438.

- Broadley , M; Brown, P; Cakmak, I; Rengel, Z; Zhao, F. Function of Nutrients: Micronutrients. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: 191-248.
- Burström, HG. 2008. Calcium and plant growth. *Biological Reviews* 43(3): 287-316.
- Calderón, F; Cevallos, F. 2002. Los sustratos (en línea). Bogotá, Colombia. 12 p. Consultado 01 dic. 2017. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm.
- Celis, A; Labrada, V. 2014. Bioestadística. 3 ed. Ciudad de México, México. El Manual Moderno. 338 p.
- Chérif , M; Tirilly, Y; Bélanger, R. 1997. Effect of oxygen concentration on plant growth, lipidperoxidation, and receptivity of tomato roots to *Pythium F* under hydroponic conditions. *European Journal of Plant Pathology* 103(3): 255-264.
- Clift, R; Grace, JR; Weber, ME. 1978. Bubbles, Drops, and Particles. New York, Estados Unidos de America. dover publications. 384 p.
- Clifford, J; Sopher, C; Owen-Going, T; Liu, W; Grodzinski, B; Hall, J; Bemchamol, R. 2006. Etiology and epidemiology of *Pythium* root rot in hydroponic crops: current knowledge and perspectives. *Summa Phytopathologica* 32(4): 307-321.
- Cruz, R; Valverde, J. 2017. Reduction of coliforms presents in domestic residual waters by air-ozone micro-nanobubbles in Carhuaz city, Perú. *Journal of Nanotechnology* 1(1): 9-17.
- Cruzado, RK. 2005. Efecto de dos soluciones nutritivas sobre el crecimiento y rendimiento de dos cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum MILL*) bajo cultivo hidropónico. Tesis Facultad de Ciencias. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 99 p.
- Díaz, V; Schultz, G; Da Silva, M; Talamini, E; Révillion, J. 2015. Mercado de alimentos orgánicos: um panorama quantitativo e qualitativo das publicações internacionais. *Ambiente&Sociedade* 18(1): 181-162.

- Ebina, K; Shi, K; Hirao, M; Hashimoto, J; Kawato, Y; Kaneshiro, S; Morimoto, T; Koizumi, Yoshikawa, H; 2013. Oxygen and Air Nanobubble Water Solution Promote the Growth of Plants, Fishes, and Mice. PLoS One 8(6): e65339.
- Ehret A, DL; Edwards B, D; Helmer A, T; Lina, W; Jones C; J; Dorais D, M; Papadopoulos E; AP. 2010. Effects of oxygen-enriched nutrient solution on greenhouse cucumber and pepper production. *Scientia Horticulturae* 125(4): 602-607.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2006. Estudio fao riego y drenaje 56: Evapotranspiración del cultivo (en línea). Roma, Italia. 323 p. Consultado 10 de sep. 2018. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>.
- FAO (Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana (en línea). Roma, Italia. 72 p. Consultado 10 de ene. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3359s.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013. FAO Statistical year book: Overview (en línea). Roma, Italia. 307 p. Consultado 27 de nov. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>.
- Fernández Navarro, MA. 2013. Efecto de diferentes niveles de aireación de la solución nutritiva sobre el crecimiento y la calidad de canónigos y berros cultivados en bandejas flotantes. Tesis Facultad de Ingeniería Agronómica. Cartagena, España. Universidad Politécnica de Cartagena. 55 p.
- Francisco, L. 2015. Dispositivo para generación de nano burbujas y/o micro burbujas. Patentes, inventos y diseños publicados en España. B05B. 07 feb.
- García Ramírez, M. 2015. Cultivo de tomate hidropónico: Un análisis entre la producción de tomate a cielo abierto y bajo condiciones protegidas (en línea). Guadalajara, México. 7 p. Consultado 01 dic. 2017. Disponible <https://www.horticultivos.com/cultivos/cultivo-de-tomate-hidroponico/>

- Gil, P; Ferreyra, R; Barrera, C; Zúñiga, C; Gurovich, L. 2012. Scientific note: Effect of injecting hydrogen peroxide into heavy clay loam soil on plant water status, net CO₂ assimilation, biomass, and vascular anatomy of avocado trees. Chilean. Journal of Agricultural Research 69(1): 97-106.
- He, H; Zheng, L; Song, W. 2014. Ozone: Science & Engineering: research on the feasibility of spraying micro/nano bubble ozonated water for airborne disease prevention. The Journal of the International Ozone Association 37(1): 78-84.
- Hernández, S. 2013. Estudio del comportamiento de distintos tipos de sustratos de lana de roca, en respuesta al aumento de oxígeno disuelto en la solución nutritiva respecto a la producción y calidad de un cultivo de tomate tipo “cherry pera”. Tesis Facultad de Ciencias Experimentales. Almería, España. Universidad de Almería. 157 p.
- Hiden, H; Torrez, A. 2004. Comparison of Four Substrates on the Growth and Quality of Tomatoes. Acta Horticulturae (644): 205-210.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 2010. Enfermedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) En invernadero en las zonas de salto y bella unión (en línea). Montevideo, Uruguay. 71 p. Consultado 15 feb. 2018. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429230710110412.pdf>.
- Kodama, Y; Kakugawa, A; Takahashi, A; Nagaya, S; Kawamura, T. 2007. Drag Reduction of Ships by Microbubbles. Journal of Chemical Engineering of Japan 71: 186-188.
- Lesur, L. 2006. Manual del cultivo de tomate: Una guía paso a paso. 1 ed. D.F. México, Trillas. 80 p.
- Liu, S; Oshita, S; Kawabata, S; Thuyet, D. 2017. Nanobubble water's promotion effect of barley (*Hordeum vulgare* L.) sprouts supported by RNA-Seq analysis. American Chemical Society 33(43): 12478-12486.

- Martínez Gutiérrez, GA; Ortiz Hernández, YD; López Pozos, R. 2012. Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. Revista Fitotecnia Mexicana 35(5): 49-52.
- Martínez, G; Ortiz, Y; López, R. 2012. Notas científicas: oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. Revista Fitotécnica Mexicana. 35 spe 5: 49-52.
- Morard, P; Lacoste, L; Silvestre, L. 2000. Effect of oxygen deficiency on uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. Journal of Plant Nutrition 23(8):1063-1078.
- Muroyama, K; Oka, Y, Fujiki, R. 2012. Transport Properties of Micro-Bubbles in a Bubble Column. Journal of Chemical Engineering of Japan 45(9): 666-671.
- Nakashima, T; Kobayashi, Y; Hirata, Y. 2012. Method to exterminate blue-green algae in a large pond and to improve plant growth by micro-nano bubbles in activa water: International Society for Horticultural Science: 391-400.
- Nanoplanet 2018. Micro burbuja como material de futuro. Kunisaki, Japon. Consultado 05 abril 2018. Disponible http://www.nanoplanet.co.jp/NP_mirai.html.
- OASIS. 2017. Manual de hidroponía (en línea). Santa Catrina, México. 32 p. Consultado 01 dic. 2017. Disponible http://www.oasiseasyplant.mx/wp-content/uploads/2017/04/Manual-de-hidroponia_Media.pdf
- Ortega Martínez, LD; Sánchez Olarte, J; Ocampo Mendoza, J; Sandoval Castro, E; Salcido Ramos, BL; Manzo Ramos, F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai 6(3): 339-346
- Palomino, K. 2008. Hidroponia comercial: tomates y lechugas. 1 ed. Lima, Perú. Macro EIRL. 134 p.

- Papadopoulos, AP; Yaganza, X; Hao, A ; Martynenko, M; Ramados; Saha. 2012. Effects of Oxygen Super-Saturated Nutrient Solutions on Greenhouse Tomato. *Acta Horticulturae* (952): 713-720.
- Parameshwarareddy, R; Angadi, SS; Biradar, MS; Patil, RH. 2018. Water productivity of tomato as influenced by drip irrigation levels and substrates. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(2): 1343-1346.
- Pérez Harguindeguy, N; Díaz, S; Garnier, E; Lavorel, S; Poorter, H; Jaureguiberry, P; Bret Harte, MS; Cornwel, WK; Craine, JM; Gurvich, DE; Urcelay, C; veneklaash, EJ; reichi, PB; Poorter , L; wrightk, IJ; Ray, P; Enrico, L; Pausas, JG; de Vos, AC; Buchmann, N; Funes, G; Quétier, F; Hodgson, JG; Thompson, K; Morgan, HD; ter Steege, H; van der Heijden MGA; sackt, L; Blonder, B; Poschlod, P; Vaieretti, MV; Conti, G; Staver, AC; Aquino, A; Cornelissen, JHC. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*. 61.167-234.
- Rodríguez Rodríguez, G. 2007. Effect of rice bran padding on cherry tomato growth and yield. *Agricultural Science and Research* 34(3): 225-230.
- Saavedra, P; Richard, R; Ajhuacho, E; Hilarión, Y; Veizaga, N; Bravo, J. 2010. *Agropecuaria: Cultivos hidropónicos de frutilla*. *Revistas Bolivianas* (3): 34-36.
- Sánchez Del Castillo, F; Bastida Cañada, OA; Moreno Pérez, EC; Contreras Magaña, E; Sahagún Castellanos, J. 2014. Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Chapingo Horticulture Series Magazine* 20(3): 239-252
- Seok,J; Kurata, K. 2009. Application of Microbubbles to Hydroponics Solution Promotes Lettuce Growth. *American Society For Horticultural Science* 19(1): 212-215.
- Schnitzler, WH. 2012. Urban Hydroponics for Green and Clean Cities and for Food Security. *Acta Horticulturae* (1004): 13-26.

- Soriano, J. 2012. Hidroponía y acuarista el caribe: ¿Qué es un sustrato? Cancún, México. 51p. Consultado el 01 dic. 2017. Disponible http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_247_Curso%20Hidropon%C3%ADa%20Basica.pdf.
- Sousa, CA; Sodek, L. 2002. Repostas metabólicas de plantas à deficiência de oxigênio. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 14(2): 83-94.
- Suchoff, DH; Schultheis, JR; Kleinhenz, MD; Louws, FJ; Gunter, CC. 2018. Rootstock Improves High-tunnel Tomato Water Use Efficiency. *HortTechnology* 28(3): 344-353.
- Takahashi, M. 2005. Potential of Microbubbles in Aqueous Solutions: Electrical Properties of the Gas-Water Interface. *The Journal of Physical Chemistry B* 109(46): 21858-21864.
- Takahashi, M; Chiba, M; Li, P. 2007. Free-Radical Generation from Collapsing Microbubbles in the Absence of a Dynamic Stimulus. *The Journal of Physical Chemistry B* 111(6), 1343-1347.
- Vence, L. 2008. Disponibilidad de agua-aire en sustrato para las plantas. *Ciencia del suelo* 26(2): 105-114.
- J. Refugio Villegas Cota, JR; González Hernández, VA; Carrillo Salazar, JA; Livera Muñoz, M; Sánchez del Castillo, F; Osuna Enciso, T. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Revista Fitoteca Mexicana* 27 (4): 333-338.
- Xinming, C; Dhungel, J; Bhattarai, S; Toabi, M; Midmore, D. 2010. Impact of oxygation on soil respiration and crop physiological characteristics in pineapple. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering* (6): 543-547.
- Xinming, C; Dhungel, J; Bhattarai, S; Toabi, M; Pendergast, L; Midmore, D. 2011. Impact of oxygation on soil respiration, yield and water use efficiency of three crop species. *Journal of Plant Ecology* 4(4): 236-248.

Yara. 2019. Nutrición vegetal: Tomate (en línea). Lima, Perú. Consultado 12 de oct. 2019. Disponible en <https://www.yara.com.pe/nutricion-vegetal/tomate/principios-agronicos-en-tomate/>

Zheng, Y; Wang, L; Dixon, M. 2007. An upper limit for elevated root zone dissolved oxygen concentration for tomato. *Scientia Horticulturae* 113(2): 162-165.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Condiciones meteorológicas en el CIHNM del 08 de marzo al 07 de julio 2018

Fecha	D DS	Temp. Max. (°C)	Temp. Min. (°C)	Tem. Med. (°C)	Hum. Rel. (%)	Vel. viento (m.s ⁻¹)	Prec. (mm)	Eto (mm.dia ⁻¹)
8/03/2018	1	29.90	18.60	24.25	73.00	1.10	-	4.23
9/03/2018	2	30.50	20.20	25.35	74.00	1.20	-	3.82
10/03/2018	3	29.30	18.60	23.95	79.50	1.10	0.40	4.00
11/03/2018	4	29.00	19.10	24.05	79.50	1.00	-	3.58
12/03/2018	5	27.50	19.60	23.55	81.50	0.80	0.20	2.63
13/03/2018	6	29.00	19.20	24.10	76.50	1.00	-	3.30
14/03/2018	7	30.50	17.80	24.15	74.50	1.10	-	3.91
15/03/2018	8	30.10	18.50	24.30	76.00	0.90	-	3.70
16/03/2018	9	30.40	20.30	25.35	75.50	0.90	-	3.66
17/03/2018	10	30.30	20.50	25.40	77.50	0.90	-	3.49
18/03/2018	11	30.20	20.70	25.45	80.00	1.30	-	3.73
19/03/2018	12	30.50	19.20	24.85	75.50	1.00	-	3.56
20/03/2018	13	29.60	19.60	24.60	77.50	1.10	-	3.61
21/03/2018	14	28.30	18.40	23.35	80.00	0.90	-	3.37
22/03/2018	15	27.90	18.30	23.10	80.00	0.90	-	3.27
23/03/2018	16	27.80	19.40	23.60	79.00	0.90	-	3.54
24/03/2018	17	30.40	20.00	25.20	75.50	1.00	-	3.95
25/03/2018	18	30.00	19.10	24.55	72.50	1.10	-	3.96
26/03/2018	19	29.30	18.50	23.90	78.50	1.10	-	3.79
27/03/2018	20	29.60	19.50	24.55	78.50	1.10	-	3.77
28/03/2018	21	30.20	18.00	24.10	77.50	1.00	-	3.97
29/03/2018	22	28.20	18.30	23.25	81.50	1.00	-	3.69
30/03/2018	23	27.90	17.20	22.55	81.00	0.90	-	3.40
31/03/2018	24	27.80	16.60	22.20	83.00	1.00	-	3.55
1/04/2018	25	28.80	17.50	23.15	76.50	0.80	-	3.20
2/04/2018	26	29.70	18.20	23.95	80.00	0.70	-	2.85
3/04/2018	27	30.00	17.50	23.75	78.50	0.80	-	2.89
4/04/2018	28	29.40	18.10	23.75	80.50	0.90	-	3.34
5/04/2018	29	29.40	17.30	23.35	78.50	0.80	-	3.08
6/04/2018	30	29.90	17.70	23.80	78.50	1.00	-	3.53
7/04/2018	31	29.00	17.40	23.20	78.50	0.90	-	3.69
8/04/2018	32	28.70	18.30	23.50	81.50	0.90	-	3.69
9/04/2018	33	28.70	18.00	23.35	79.50	0.90	-	2.87
10/04/2018	34	29.40	18.90	24.15	78.00	1.20	-	3.78
11/04/2018	35	28.60	16.40	22.50	81.50	1.00	-	3.63
12/04/2018	36	28.70	16.40	22.55	83.50	0.90	-	3.11
13/04/2018	37	26.80	16.00	21.40	79.00	0.80	-	3.13
14/04/2018	38	29.50	17.70	23.60	77.50	0.70	-	2.89

<<Continuación>>								
15/04/2018	39	28.90	16.90	22.90	78.50	0.90	-	3.44
16/04/2018	40	27.20	16.00	21.60	79.00	0.90	-	3.37
17/04/2018	41	28.00	16.00	22.00	77.00	1.20	-	3.46
18/04/2018	42	28.80	16.10	22.45	79.00	1.00	-	3.46
19/04/2018	43	26.70	15.90	21.30	81.00	0.90	-	3.26
20/04/2018	44	28.40	16.90	22.65	80.00	1.00	-	3.46
21/04/2018	45	29.20	17.50	23.35	75.50	0.90	-	3.58
22/04/2018	46	29.60	17.30	23.45	74.00	1.00	-	3.57
23/04/2018	47	29.20	16.30	22.75	78.00	0.90	-	3.33
24/04/2018	48	30.00	19.70	24.85	78.50	0.90	-	3.28
25/04/2018	49	29.00	19.60	24.30	80.00	0.80	1.40	2.98
26/04/2018	50	28.70	18.50	23.60	78.00	0.90	-	3.07
27/04/2018	51	28.70	17.30	23.00	80.50	0.90	-	3.31
28/04/2018	52	27.80	18.30	23.05	80.00	0.80	-	2.74
29/04/2018	53	25.10	18.10	21.60	87.00	0.60	-	2.44
30/04/2018	54	28.40	17.70	23.05	78.00	0.80	-	2.77
1/05/2018	55	25.30	16.80	21.05	85.00	0.96	-	2.55
2/05/2018	56	27.20	16.40	21.80	82.00	0.98	-	3.23
3/05/2018	57	26.10	15.80	20.95	82.00	2.14	-	3.27
4/05/2018	58	23.60	15.70	19.65	82.50	1.04	-	1.98
5/05/2018	59	25.80	15.20	20.50	82.00	1.26	-	2.98
6/05/2018	60	27.40	16.20	21.80	80.50	2.06	-	3.33
7/05/2018	61	25.70	16.00	20.85	82.50	1.34	-	3.08
8/05/2018	62	27.30	16.40	21.85	79.00	1.60	-	2.91
9/05/2018	63	26.80	17.60	22.20	77.00	1.92	-	3.28
10/05/2018	64	27.00	16.30	21.65	80.00	2.04	-	3.34
11/05/2018	65	25.40	15.00	20.20	84.50	1.50	-	2.60
12/05/2018	66	24.00	16.30	20.15	86.00	1.22	-	2.24
13/05/2018	67	22.90	15.90	19.40	91.00	1.14	-	1.79
14/05/2018	68	24.40	14.10	19.25	82.00	0.26	-	2.57
15/05/2018	69	28.50	14.90	21.70	81.50	0.24	-	2.85
16/05/2018	70	26.90	15.80	21.35	85.00	1.16	0.40	2.85
17/05/2018	71	24.70	15.00	19.85	85.00	1.70	-	2.88
18/05/2018	72	24.10	14.20	19.15	85.50	1.08	-	2.14
19/05/2018	73	24.40	14.00	19.20	85.00	1.34	-	2.65
20/05/2018	74	25.10	14.60	19.85	85.00	1.34	-	2.74
21/05/2018	75	24.30	13.90	19.10	84.50	1.24	-	2.70
22/05/2018	76	24.70	13.60	19.15	84.50	1.34	-	2.66
23/05/2018	77	23.60	14.90	19.25	86.50	1.60	-	2.51
24/05/2018	78	23.70	16.40	20.05	85.50	0.98	-	2.31
25/05/2018	79	20.20	15.90	18.05	91.00	1.42	-	1.56
26/05/2018	80	22.30	15.20	18.75	89.50	0.96	-	1.92
27/05/2018	81	23.00	16.60	19.80	85.50	1.30	-	2.53
28/05/2018	82	23.00	12.70	17.85	90.00	0.98	-	2.27
29/05/2018	83	22.30	14.00	18.15	87.50	0.52	-	2.41
30/05/2018	84	21.60	13.10	17.35	88.00	1.06	-	2.23
31/05/2018	85	20.60	14.80	17.70	90.50	0.70	0.20	1.60

<<Continuación>>								
1/06/2018	86	20.30	14.20	17.25	90.00	1.24	0.10	2.13
2/06/2018	87	21.10	14.50	17.80	90.00	0.52	0.20	2.41
3/06/2018	88	21.40	14.60	18.00	91.50	0.90	0.20	2.49
4/06/2018	89	17.90	14.90	16.40	90.00	0.70	0.30	2.00
5/06/2018	90	21.00	14.90	17.95	95.00	0.52	-	2.30
6/06/2018	91	18.20	15.10	16.65	97.00	0.70	0.20	2.47
7/06/2018	92	16.40	14.60	15.50	93.00	1.30	-	2.48
8/06/2018	93	17.60	14.60	16.10	93.00	0.40	0.40	2.12
9/06/2018	94	18.60	15.40	17.00	93.00	0.70	-	2.27
10/06/2018	95	17.80	15.20	16.50	94.50	0.90	-	2.41
11/06/2018	96	22.70	15.20	18.95	96.00	0.52	-	2.03
12/06/2018	97	23.10	14.90	19.00	92.50	0.98	-	1.78
13/06/2018	98	23.40	15.40	19.40	95.50	0.90	-	1.77
14/06/2018	99	19.70	15.20	17.45	94.50	1.30	-	1.82
15/06/2018	100	16.80	14.90	15.85	97.00	0.96	-	2.24
16/06/2018	101	19.40	14.80	17.10	96.00	0.70	-	1.70
17/06/2018	102	20.30	14.80	17.55	95.50	0.70	-	2.29
18/06/2018	103	17.80	14.40	16.10	96.00	0.90	0.50	1.64
19/06/2018	104	22.50	14.30	18.40	95.00	1.30	-	2.09
20/06/2018	105	19.40	15.30	17.35	93.50	0.52	0.30	1.70
21/06/2018	106	16.80	14.80	15.80	94.00	0.90	-	2.24
22/06/2018	107	17.70	15.10	16.40	94.00	0.52	0.20	2.20
23/06/2018	108	17.50	14.70	16.10	93.50	0.70	-	2.14
24/06/2018	109	17.80	14.70	16.25	95.00	0.52	-	1.81
25/06/2018	110	18.50	14.90	16.70	86.00	1.30	0.10	1.69
26/06/2018	111	17.60	14.30	15.95	91.00	1.30	-	1.75
27/06/2018	112	18.50	14.70	16.60	93.00	0.90	-	2.11
28/06/2018	113	17.70	14.30	16.00	93.00	0.52	0.20	1.94
29/06/2018	114	14.70	14.20	14.45	94.00	0.90	-	2.15
30/06/2018	115	21.70	14.50	18.10	94.50	0.70	-	2.33
1/07/2018	116	20.30	14.30	17.30	90.00	1.00	0.10	2.13
2/07/2018	117	20.70	13.50	17.10	90.00	1.50	0.20	2.41
3/07/2018	118	21.20	13.60	17.40	91.50	0.90	0.20	2.49
4/07/2018	119	20.70	14.80	17.75	90.00	0.40	0.30	2.00
5/07/2018	120	19.50	14.50	17.00	95.00	1.00	-	2.30
6/07/2018	121	18.50	15.20	16.85	97.00	-	0.20	2.47
7/07/2018	122	18.70	15.30	17.00	93.00	1.30	-	2.48
8/07/2018	123	20.30	15.80	18.05	93.00	0.40	0.40	2.12
9/07/2018	124	17.00	15.40	16.20	93.00	1.00	-	2.27
10/07/2018	125	17.50	14.70	16.10	94.50	0.40	-	2.41
11/07/2018	126	16.50	14.80	15.65	96.00	0.30	-	2.03
12/07/2018	127	16.80	14.80	15.80	92.50	1.30	-	1.78
13/07/2018	128	17.30	14.90	16.10	95.50	0.90	-	1.77
14/07/2018	129	18.50	14.80	16.65	94.50	1.20	-	1.82
15/07/2018	130	16.20	14.20	15.20	97.00	0.80	-	2.24
16/07/2018	131	17.00	14.30	15.65	96.00	0.90	-	1.70
17/07/2018	132	16.40	14.80	15.60	95.50	0.50	-	2.29

<<Continuación>>								
18/07/2018	133	17.30	14.40	15.85	96.00	1.20	0.50	1.64
19/07/2018	134	17.40	14.30	15.85	95.00	1.30	-	2.09
20/07/2018	135	16.80	13.70	15.25	93.50	1.50	0.30	1.70
21/07/2018	136	18.50	14.40	16.45	94.00	0.90	-	2.24
22/07/2018	137	16.70	14.40	15.55	94.00	0.30	0.20	2.20
23/07/2018	138	17.00	14.70	15.85	93.50	0.40	-	2.14
24/07/2018	139	17.50	14.60	16.05	95.00	1.50	-	1.81
25/07/2018	140	21.40	14.30	17.85	86.00	1.70	0.10	1.69
26/07/2018	141	18.80	14.30	16.55	91.00	1.30	-	1.75
27/07/2018	142	18.50	14.20	16.35	93.00	0.90	-	2.11
28/07/2018	143	16.90	14.10	15.50	93.00	1.50	0.20	1.94
29/07/2018	144	17.50	14.30	15.90	94.00	0.90	-	2.15
30/07/2018	145	19.20	14.20	16.70	94.50	0.70	-	2.33
31/07/2018	146	18.22	14.52	16.37	93.55	0.93	0.09	2.08
1/08/2018	147	20.30	14.20	17.25	88.83	1.03	-	1.49
2/08/2018	148	21.10	14.50	17.80	87.38	1.01	-	1.46
3/08/2018	149	21.40	14.60	18.00	88.13	1.02	0.25	1.44
4/08/2018	150	17.90	14.90	16.40	90.31	1.05	-	1.35
5/08/2018	151	21.00	14.90	17.95	86.23	1.00	-	1.42
6/08/2018	152	18.20	15.10	16.65	89.73	1.04	-	1.36
7/08/2018	153	16.40	14.60	15.50	93.67	1.08	1.00	1.31

Anexo 2: Formulación de la solución nutritiva para 600 L

Etapa fenológica	Nutrientes (ppm)											
	N	K	Ca	Mg	P	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Etapa vegetativa	160	200	160	40	40	100	1	1	0.15	0.1	0.5	0.1
Floración	150	300	200	45	50	100	1	1	0.2	0.15	1	0.1
Fructificación	140	350	200	50	55	100	1	1	0.2	0.15	1	0.1
Fertilizante \ Etapa	Cantidad (g)											
	Etapa vegetativa			Floración			Fructificación					
Nitrato de Potasio	312.00			324.00			-					
Nitrato de potasio	-			417.00			198.00					
Nitrato de amonio	-			130.00			-					
Nitrato de Calcio	240.00			324.00			330.00					
Nitrato de Magnesio	120.00			187.00			156.00					
Fosfato monopotásico	108.00			158.00			132.00					
Sulfato de magnesio	120.00			144.00			120.00					
Sulfato de potasio	-			36.00			240.00					
Quelato de hierro	25.00			25.00			25.00					
Sulfato de manganeso	4.00			0.40			0.40					
Ácido Bórico	4.00			4.50			6.00					
Sulfato de zinc	1.00			1.40			1.40					
Sulfato de cobre	0.60			0.80			8.00					
Molibdato de Amonio	0.20			0.20			0.20					

Anexo 3 Análisis de agua con la cual se preparó solución nutritiva



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE AGUA

SOLICITANTE : DR. OSCAR LOLI FIGUEROA
PROCEDENCIA : LIMA
REFERENCIA : H.R. 65015

No. Laboratorio	569
No. Campo	Dr. Loli Prof. Rodriguez
pH	6.84
C.E	dS/m 0.73
Calcio	meq/L 5.19
Magnesio	meq/L 0.99
Potasio	meq/L 0.08
Sodio	meq/L 1.42
SUMA DE CATIONES	7.68
Nitratos	meq/L 0.01
Carbonatos	meq/L 0.00
Bicarbonatos	meq/L 2.29
Sulfatos	meq/L 4.46
Cloruros	meq/L 1.00
SUMA DE ANIONES	7.76
Sodio	% 18.48
RAS	0.81
Boro	ppm 0.29
Clasificación	C2-S1

La Molina, 25 de Setiembre del 2018



Dr. Sedy García Bendeza
Jefe del Laboratorio

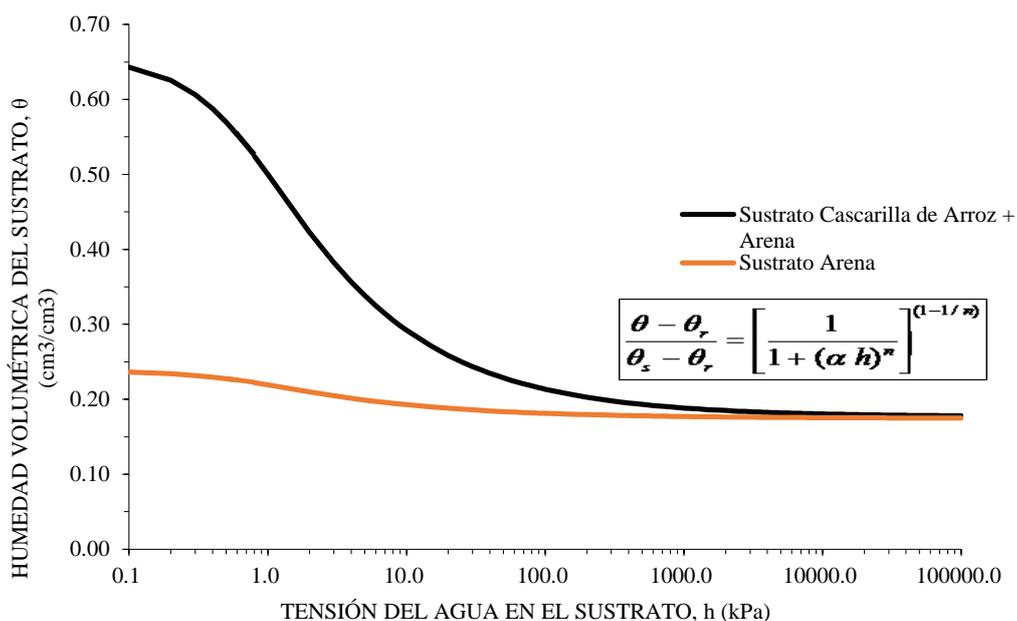
Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 4: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura de planta (cm)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	9308.05	3102.68333	3.3	0.0267 **
Error	56	52586.5333	939.04524		
Total corregido	59	61894.5833			

cv 13.59

Anexo 5: Parámetros hídricos de los sustratos



Tensión (Bar)	Humedad gravimétrica (%)	
	Sustrato arena	Sustrato cascarilla de arroz más arena
0	23.75	65.36
0.33	2.97	10.05
0.66	2.56	8.93
0.99	2.07	7.76
5	1.85	7.27
10	1.70	7.07
15	1.61	6.97
Densidad aparente (g/cm ³)	1.46	0.73
Porosidad total (cm ³ /cm ³)	52.9	67.83

Anexo 6: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable día a floración

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	0	0	0	0 NS
Error	56	0			
Total corregido	59	0			

cv 0

Anexo 7: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable días a fructificación

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	5.53333333	1.84444444	4.12	0.0104 **
Error	56	25.0666667	0.44761905		
Total corregido	59	30.6			

cv. 2.36

Anexo 8: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable días a cosecha

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F	NS
Tratamiento	3	38.4	12.8	0.93	0.4307	NS
Error	56	768	13.7142857			
Total corregido	59	806.4				

cv. 4.24

Anexo 9: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable longitud de raíz (cm)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	125.2	41.733333	0.25	0.8567 NS
Error	16	2620	163.75		
Total corregido	19	2745.2			

cv. 25.49

Anexo 10: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso fresco de raíz (g)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F	0
Tratamiento	3	785.6415	261.8805	0.48	0.6979	NS
Error	16	8651.568	540.723			
Total corregido	19	9437.2095				

cv. 34.94

Anexo 11: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso seco raíz (g)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	318.244	106.0813333	4.3	0.021 *
Error	16	394.756	24.67225		
Total corregido	19	713			

cv. 19.10

Anexo 12: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable número de frutos por planta

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	125.3833333	41.79444444	8.03	0.0002 **
Error	56	291.4666667	5.2047619		
Total corregido	59	416.85			

cv. 12.37

Anexo 13: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso fresco promedio de fruto (g)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	1411.4471	470.48237	1.77	0.1635 NS
Error	56	14890.2528	265.89737		
Total corregido	59	16301.6999			

cv. 13.29

Anexo 14: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso seco promedio de fruto (g)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	0.423295	0.14109833	0.33	0.8067 NS
Error	16	6.93048	0.433155		
Total corregido	19	7.353775			

cv. 11.08

Anexo 15: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso fresco de fruto por planta (g)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	336.109682	112.036561	7.94	0.0002 **
Error	56	790.541187	14.116807		
Total corregido	59	1126.65087			

cv. 17.28

Anexo 16: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso seco de fruto por planta (g)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	1580.2055	526.73517	3.45	0.0419 *
Error	16	2446	152.875		
Total corregido	19	4026.2055			

cv. 11.01

Anexo 17: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable rendimiento (Kg.m⁻²)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	46.008699	15.336233	7.94	0.0002 **
Error	56	108.221644	1.9325294		
Total corregido	59	154.230343			

cv. 17.28

Anexo 18: Análisis de varianza (ANOVA) para la variable frutos no comerciales

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Tratamiento	3	357.783333	119.2611111	14.4	<.0001 **
Error	56	463.866667	8.2833333		
Total corregido	59	821.65			

cv. 35.3

Anexo 19: Requerimiento y consumo de agua (solución nutritiva) del cultivo de tomate

DDS	Eto (mm)	Kc	ETC (mm.día ⁻¹)	Datos diarios				Datos acumulados			
				Consumo de agua (L)	Lámina (mm)	Uso de agua (L)	Lámina (mm)	Consumo de agua		Uso de agua (L)	
								Litros	Lámina (mm)	Litros	Lámina (mm)
1	4.23	0.30	1.27	13.46	0.52	1.92	0.07	13.5	0.52	1.9	0.07
2	3.82	0.30	1.15	12.15	0.47	1.92	0.07	25.6	0.99	3.8	0.15
3	4.00	0.30	1.20	12.72	0.49	1.92	0.07	38.3	1.47	5.8	0.22
4	3.58	0.30	1.07	11.39	0.44	1.92	0.07	49.7	1.91	7.7	0.30
5	2.63	0.30	0.79	8.38	0.32	1.92	0.07	58.1	2.23	9.6	0.37
6	3.30	0.30	0.99	10.48	0.40	1.92	0.07	68.6	2.64	11.5	0.44
7	3.91	0.30	1.17	12.42	0.48	1.92	0.07	81.0	3.12	13.4	0.52
8	3.70	0.30	1.11	11.78	0.45	1.92	0.07	92.8	3.57	15.4	0.59
9	3.66	0.30	1.10	11.65	0.45	1.92	0.07	104.4	4.02	17.3	0.66
10	3.49	0.30	1.05	11.10	0.43	1.92	0.07	115.5	4.44	19.2	0.74
11	3.73	0.30	1.12	11.87	0.46	1.92	0.07	127.4	4.90	21.1	0.81
12	3.56	0.30	1.07	11.33	0.44	1.92	0.07	138.7	5.34	23.0	0.89
13	3.61	0.30	1.08	11.49	0.44	1.92	0.07	150.2	5.78	25.0	0.96
14	3.37	0.30	1.01	10.71	0.41	1.92	0.07	160.9	6.19	26.9	1.03
15	3.27	0.30	0.98	10.40	0.40	1.92	0.07	171.3	6.59	28.8	1.11
16	3.54	0.30	1.06	11.27	0.43	1.92	0.07	182.6	7.02	30.7	1.18
17	3.95	0.30	1.19	12.56	0.48	1.92	0.07	195.1	7.51	32.6	1.26
18	3.96	0.30	1.19	12.58	0.48	1.92	0.07	207.7	7.99	34.6	1.33
19	3.79	0.30	1.14	12.04	0.46	1.92	0.07	219.8	8.45	36.5	1.40

<Continuación>>											
20	3.77	0.30	1.13	11.97	0.46	1.92	0.07	231.7	8.91	38.4	1.48
21	3.97	0.30	1.19	12.61	0.49	1.92	0.07	244.3	9.40	40.3	1.55
22	3.69	0.30	1.11	11.74	0.45	1.92	0.07	256.1	9.85	42.2	1.62
23	3.40	0.30	1.02	10.82	0.42	1.92	0.07	266.9	10.27	44.2	1.70
24	3.55	0.30	1.07	11.29	0.43	1.92	0.07	278.2	10.70	46.1	1.77
25	3.20	0.30	0.96	10.18	0.39	1.92	0.07	288.4	11.09	48.0	1.85
26	2.85	0.33	0.95	10.02	0.39	128.00	4.92	298.4	11.48	176.0	6.77
27	2.89	0.36	1.05	11.15	0.43	128.00	4.92	309.5	11.91	304.0	11.69
28	3.34	0.40	1.32	14.01	0.54	128.00	4.92	323.6	12.44	432.0	16.62
29	3.08	0.43	1.32	13.98	0.54	128.00	4.92	337.5	12.98	560.0	21.54
30	3.53	0.46	1.62	17.22	0.66	128.00	4.92	354.8	13.64	688.0	26.46
31	3.69	0.49	1.81	19.23	0.74	128.00	4.92	374.0	14.38	816.0	31.38
32	3.69	0.52	1.94	20.52	0.79	128.00	4.92	394.5	15.17	944.0	36.31
33	2.87	0.56	1.59	16.89	0.65	128.00	4.92	411.4	15.82	1,072.0	41.23
34	3.78	0.59	2.22	23.55	0.91	128.00	4.92	434.9	16.73	1,200.0	46.15
35	3.63	0.62	2.25	23.86	0.92	128.00	4.92	458.8	17.65	1,328.0	51.08
36	3.11	0.65	2.03	21.50	0.83	128.00	4.92	480.3	18.47	1,456.0	56.00
37	3.13	0.68	2.14	22.70	0.87	128.00	4.92	503.0	19.35	1,584.0	60.92
38	2.89	0.72	2.07	21.93	0.84	128.00	4.92	524.9	20.19	1,712.0	65.85
39	3.44	0.75	2.58	27.31	1.05	128.00	4.92	552.2	21.24	1,840.0	70.77
40	3.37	0.78	2.63	27.83	1.07	128.00	4.92	580.1	22.31	1,968.0	75.69
41	3.46	0.81	2.81	29.79	1.15	128.00	4.92	609.8	23.46	2,096.0	80.62
42	3.46	0.84	2.92	30.91	1.19	128.00	4.92	640.8	24.64	2,224.0	85.54
43	3.26	0.88	2.86	30.31	1.17	128.00	4.92	671.1	25.81	2,352.0	90.46
44	3.46	0.91	3.14	33.31	1.28	128.00	4.92	704.4	27.09	2,480.0	95.38
45	3.58	0.94	3.37	35.67	1.37	128.00	4.92	740.1	28.46	2,608.0	100.31

<<Continuación>>											
46	3.57	0.97	3.47	36.81	1.42	128.00	4.92	776.9	29.88	2,736.0	105.23
47	3.33	1.00	3.34	35.42	1.36	128.00	4.92	812.3	31.24	2,864.0	110.15
48	3.28	1.04	3.40	36.07	1.39	128.00	4.92	848.4	32.63	2,992.0	115.08
49	2.98	1.07	3.19	33.78	1.30	128.00	4.92	882.1	33.93	3,120.0	120.00
50	3.07	1.10	3.38	35.82	1.38	128.00	4.92	918.0	35.31	3,248.0	124.92
51	3.31	1.10	3.64	38.62	1.49	128.00	4.92	956.6	36.79	3,376.0	129.85
52	2.74	1.10	3.01	31.91	1.23	128.00	4.92	988.5	38.02	3,504.0	134.77
53	2.44	1.10	2.68	28.44	1.09	128.00	4.92	1,016.9	39.11	3,632.0	139.69
54	2.77	1.10	3.05	32.28	1.24	128.00	4.92	1,049.2	40.35	3,760.0	144.62
55	2.55	1.10	2.80	29.68	1.14	128.00	4.92	1,078.9	41.50	3,888.0	149.54
56	3.23	1.10	3.55	37.63	1.45	128.00	4.92	1,116.5	42.94	4,016.0	154.46
57	3.27	1.10	3.60	38.19	1.47	128.00	4.92	1,154.7	44.41	4,144.0	159.38
58	1.98	1.10	2.18	23.12	0.89	128.00	4.92	1,177.8	45.30	4,272.0	164.31
59	2.98	1.10	3.28	34.74	1.34	128.00	4.92	1,212.6	46.64	4,400.0	169.23
60	3.33	1.10	3.67	38.87	1.49	128.00	4.92	1,251.4	48.13	4,528.0	174.15
61	3.08	1.10	3.38	35.88	1.38	128.00	4.92	1,287.3	49.51	4,656.0	179.08
62	2.91	1.10	3.21	33.98	1.31	128.00	4.92	1,321.3	50.82	4,784.0	184.00
63	3.28	1.10	3.61	38.26	1.47	128.00	4.92	1,359.5	52.29	4,912.0	188.92
64	3.34	1.10	3.68	38.97	1.50	128.00	4.92	1,398.5	53.79	5,040.0	193.85
65	2.60	1.10	2.86	30.31	1.17	128.00	4.92	1,428.8	54.95	5,168.0	198.77
66	2.24	1.10	2.47	26.14	1.01	128.00	4.92	1,455.0	55.96	5,296.0	203.69
67	1.79	1.10	1.97	20.88	0.80	128.00	4.92	1,475.8	56.76	5,424.0	208.62
68	2.57	1.10	2.83	29.99	1.15	128.00	4.92	1,505.8	57.92	5,552.0	213.54
69	2.85	1.10	3.13	33.19	1.28	128.00	4.92	1,539.0	59.19	5,680.0	218.46
70	2.85	1.10	3.13	33.18	1.28	128.00	4.92	1,572.2	60.47	5,808.0	223.38
71	2.88	1.10	3.17	33.63	1.29	128.00	4.92	1,605.8	61.76	5,936.0	228.31

<<Continuación>>											
72	2.14	1.10	2.35	24.90	0.96	128.00	4.92	1,630.7	62.72	6,064.0	233.23
73	2.65	1.10	2.92	30.91	1.19	128.00	4.92	1,661.6	63.91	6,192.0	238.15
74	2.74	1.10	3.02	31.99	1.23	128.00	4.92	1,693.6	65.14	6,320.0	243.08
75	2.70	1.10	2.97	31.44	1.21	128.00	4.92	1,725.1	66.35	6,448.0	248.00
76	2.66	1.10	2.93	31.03	1.19	128.00	4.92	1,756.1	67.54	6,576.0	252.92
77	2.51	1.10	2.76	29.28	1.13	128.00	4.92	1,785.4	68.67	6,704.0	257.85
78	2.31	1.10	2.54	26.96	1.04	128.00	4.92	1,812.3	69.70	6,832.0	262.77
79	1.56	1.10	1.72	18.18	0.70	128.00	4.92	1,830.5	70.40	6,960.0	267.69
80	1.92	1.10	2.11	22.36	0.86	128.00	4.92	1,852.9	71.26	7,088.0	272.62
81	2.53	1.10	2.78	29.45	1.13	128.00	4.92	1,882.3	72.40	7,216.0	277.54
82	2.27	1.10	2.50	26.49	1.02	128.00	4.92	1,908.8	73.42	7,344.0	282.46
83	2.41	1.10	2.65	28.05	1.08	128.00	4.92	1,936.9	74.49	7,472.0	287.38
84	2.23	1.10	2.45	26.01	1.00	128.00	4.92	1,962.9	75.49	7,600.0	292.31
85	1.60	1.10	1.76	18.70	0.72	76.80	2.95	1,981.6	76.21	7,676.8	295.26
86	2.13	1.10	2.34	24.79	0.95	76.80	2.95	2,006.4	77.17	7,753.6	298.22
87	2.41	1.10	2.66	28.15	1.08	76.80	2.95	2,034.5	78.25	7,830.4	301.17
88	2.49	1.10	2.74	29.01	1.12	76.80	2.95	2,063.5	79.37	7,907.2	304.12
89	2.00	1.10	2.21	23.37	0.90	76.80	2.95	2,086.9	80.26	7,984.0	307.08
90	2.30	1.10	2.53	26.86	1.03	76.80	2.95	2,113.7	81.30	8,060.8	310.03
91	2.47	1.10	2.72	28.85	1.11	76.80	2.95	2,142.6	82.41	8,137.6	312.98
92	2.48	1.10	2.72	28.88	1.11	76.80	2.95	2,171.5	83.52	8,214.4	315.94
93	2.12	1.10	2.33	24.70	0.95	76.80	2.95	2,196.2	84.47	8,291.2	318.89
94	2.27	1.10	2.50	26.53	1.02	76.80	2.95	2,222.7	85.49	8,368.0	321.85
95	2.41	1.10	2.65	28.05	1.08	76.80	2.95	2,250.8	86.57	8,444.8	324.80
96	2.03	1.10	2.23	23.68	0.91	76.80	2.95	2,274.4	87.48	8,521.6	327.75
97	1.78	1.10	1.96	20.74	0.80	76.80	2.95	2,295.2	88.28	8,598.4	330.71

<<Continuación>>											
98	1.77	1.10	1.95	20.68	0.80	76.80	2.95	2,315.9	89.07	8,675.2	333.66
99	1.82	1.10	2.00	21.18	0.81	76.80	2.95	2,337.0	89.89	8,752.0	336.62
100	2.24	1.10	2.46	26.07	1.00	76.80	2.95	2,363.1	90.89	8,828.8	339.57
101	1.70	1.10	1.87	19.80	0.76	76.80	2.95	2,382.9	91.65	8,905.6	342.52
102	2.29	1.10	2.52	26.75	1.03	76.80	2.95	2,409.7	92.68	8,982.4	345.48
103	1.64	1.10	1.80	19.12	0.74	76.80	2.95	2,428.8	93.41	9,059.2	348.43
104	2.09	1.10	2.30	24.39	0.94	76.80	2.95	2,453.2	94.35	9,136.0	351.38
105	1.70	1.10	1.87	19.83	0.76	76.80	2.95	2,473.0	95.11	9,212.8	354.34
106	2.24	1.10	2.47	26.17	1.01	76.80	2.95	2,499.2	96.12	9,289.6	357.29
107	2.20	1.10	2.42	25.63	0.99	76.80	2.95	2,524.8	97.11	9,366.4	360.25
108	2.14	1.10	2.35	24.94	0.96	76.80	2.95	2,549.7	98.07	9,443.2	363.20
109	1.81	1.10	1.99	21.08	0.81	76.80	2.95	2,570.8	98.88	9,520.0	366.15
110	1.69	1.10	1.86	19.70	0.76	76.80	2.95	2,590.5	99.63	9,596.8	369.11
111	1.75	1.10	1.93	20.45	0.79	76.80	2.95	2,611.0	100.42	9,673.6	372.06
112	2.11	1.10	2.33	24.65	0.95	76.80	2.95	2,635.6	101.37	9,750.4	375.02
113	1.94	1.10	2.13	22.60	0.87	76.80	2.95	2,658.2	102.24	9,827.2	377.97
114	2.15	1.10	2.36	25.03	0.96	76.80	2.95	2,683.2	103.20	9,904.0	380.92
115	2.33	1.10	2.56	27.13	1.04	76.80	2.95	2,710.4	104.24	9,980.8	383.88
116	2.13	1.10	2.34	24.79	0.95	76.80	2.95	2,735.2	105.20	10,057.6	386.83
117	2.41	1.10	2.66	28.15	1.08	76.80	2.95	2,763.3	106.28	10,134.4	389.78
118	2.49	1.10	2.74	29.01	1.12	76.80	2.95	2,792.3	107.40	10,211.2	392.74
119	2.00	1.10	2.21	23.37	0.90	76.80	2.95	2,815.7	108.30	10,288.0	395.69
120	2.30	1.10	2.53	26.86	1.03	76.80	2.95	2,842.5	109.33	10,364.8	398.65
121	2.47	1.10	2.72	28.85	1.11	76.80	2.95	2,871.4	110.44	10,441.6	401.60
122	2.48	1.10	2.72	28.88	1.11	76.80	2.95	2,900.3	111.55	10,518.4	404.55
123	2.12	1.10	2.33	24.70	0.95	76.80	2.95	2,925.0	112.50	10,595.2	407.51

<<Continuación>>											
124	2.27	1.10	2.50	26.53	1.02	76.80	2.95	2,951.5	113.52	10,672.0	410.46
125	2.41	1.10	2.65	28.05	1.08	76.80	2.95	2,979.6	114.60	10,748.8	413.42
126	2.03	1.10	2.23	23.68	0.91	76.80	2.95	3,003.2	115.51	10,825.6	416.37
127	1.78	1.10	1.96	20.74	0.80	76.80	2.95	3,024.0	116.31	10,902.4	419.32
128	1.77	1.10	1.95	20.68	0.80	76.80	2.95	3,044.7	117.10	10,979.2	422.28
129	1.82	1.10	2.00	21.18	0.81	76.80	2.95	3,065.8	117.92	11,056.0	425.23
130	2.24	1.10	2.46	26.07	1.00	76.80	2.95	3,091.9	118.92	11,132.8	428.18
131	1.70	1.10	1.87	19.80	0.76	76.80	2.95	3,111.7	119.68	11,209.6	431.14
132	2.29	1.10	2.52	26.75	1.03	76.80	2.95	3,138.5	120.71	11,286.4	434.09
133	1.64	1.10	1.80	19.12	0.74	76.80	2.95	3,157.6	121.45	11,363.2	437.05
134	2.09	1.10	2.30	24.39	0.94	76.80	2.95	3,182.0	122.38	11,440.0	440.00
135	1.70	1.10	1.87	19.83	0.76	76.80	2.95	3,201.8	123.15	11,516.8	442.95
136	2.24	1.10	2.47	26.17	1.01	76.80	2.95	3,228.0	124.15	11,593.6	445.91
137	2.20	1.10	2.42	25.63	0.99	76.80	2.95	3,253.6	125.14	11,670.4	448.86
138	2.14	1.10	2.35	24.94	0.96	76.80	2.95	3,278.5	126.10	11,747.2	451.82
139	1.81	1.10	1.99	21.08	0.81	76.80	2.95	3,299.6	126.91	11,824.0	454.77
140	1.69	1.10	1.86	19.70	0.76	76.80	2.95	3,319.3	127.67	11,900.8	457.72
141	1.75	1.10	1.93	20.45	0.79	76.80	2.95	3,339.8	128.45	11,977.6	460.68
142	2.11	1.10	2.33	24.65	0.95	76.80	2.95	3,364.4	129.40	12,054.4	463.63
143	1.94	1.10	2.13	22.60	0.87	76.80	2.95	3,387.0	130.27	12,131.2	466.58
144	2.15	1.10	2.36	25.03	0.96	76.80	2.95	3,412.0	131.23	12,208.0	469.54
145	2.33	1.10	2.56	27.13	1.04	76.80	2.95	3,439.2	132.28	12,284.8	472.49
146	2.08	1.10	2.29	24.29	0.93	76.80	2.95	3,463.5	133.21	12,361.6	475.45
147	1.49	1.10	1.64	17.42	0.67	76.80	2.95	3,480.9	133.88	12,438.4	478.40
148	1.46	1.10	1.61	17.03	0.66	76.80	2.95	3,497.9	134.53	12,515.2	481.35
149	1.44	1.10	1.58	16.80	0.65	76.80	2.95	3,514.7	135.18	12,592.0	484.31

<<Continuación>>											
150	1.35	1.10	1.49	15.74	0.61	76.80	2.95	3,530.4	135.79	12,668.8	487.26
151	1.42	1.10	1.56	16.55	0.64	76.80	2.95	3,547.0	136.42	12,745.6	490.22
152	1.36	1.10	1.49	15.84	0.61	76.80	2.95	3,562.8	137.03	12,822.4	493.17
152	1.34	1.10	1.47	15.62	0.60	76.80	2.95	3,578.5	137.63	12,899.2	496.12
	401.6		337.6	3,578.5	137.6	12,899.2	496.1				

Kc Fuente: FAO (2006)