

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**



**PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE APIO (*Apium graveolens*) Y
LECHUGA (*Lactuca sativa*), INYECTANDO MICRONANOBURBUJAS
EN EL RIEGO**

Presentada por:

LUIS ANGEL POZO MOSCOL

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

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**

**PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE APIO (*Apium graveolens*) Y
LECHUGA (*Lactuca sativa*), INYECTANDO MICRONANOBURBUJAS
EN EL RIEGO**

Presentada por:

LUIS ANGEL POZO MOSCOL

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

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios porque me ha sostenido y guiado en esta etapa de mi vida con la finalidad de crecer profesionalmente. A mi tutor de tesis Mg.Sc. Miguel Sánchez Delgado por su apoyo constante y orientación en el transcurso de la investigación. Al Ing. Eduardo Castro por haberme apoyado con el experimento de verano. A la empresa ACQUAMAS PERU SAC por su apoyo en facilitarme el generador de micronabubujas para poder realizar el estudio, sin su aporte nada de esto sería posible. A cada uno de mis docentes de los cuales me llevo lo más valioso que un ser humano puede brindar, que es el conocimiento. A la gloriosa Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) por abrirme sus puertas y brindarme una educación de calidad. A mi esposa Teresa Sánchez Mazacón y mi adorada hija Luigina Pozo Sánchez porque han sido mis fuerzas durante esta travesía. A mis padres Angel Pozo Altamirano y Lourdes Moscol Arguello por sus oraciones y bendiciones.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS	2
1.1	Objetivo general	2
1.2	Objetivos específicos.....	2
II.	MARCO TEÓRICO	3
2.1	CULTIVOS HIDROPÓNICOS	3
2.2	SISTEMA DE CULTIVO NFT	3
2.3	SOLUCIÓN NUTRITIVA	4
2.4	OXÍGENO DISUELTO	4
2.5	AGUA	5
2.6	NANOTECNOLOGÍA.....	6
2.7	SISTEMA DE MICRONANOBURBUJAS	6
2.7.1	Características de las micronanoburbujas	6
2.7.2	Tamaño de las partículas	7
2.7.3	Velocidad de subida lenta	7
2.7.4	Alta presión dentro de las MB.....	8
2.7.5	Área interfacial grande	8
2.7.6	Gran disolución de gas	8
2.7.7	Disolución y contracción.....	9
2.7.8	Superficie con carga negativa de MB.....	10
2.7.9	Trituración y formación de radicales libres.....	11
2.7.10	Cambio de propiedades líquidas por burbujeo de microburbujas (MB)	11
2.7.11	Características del generador de micronanoburbujas	12
2.8	CULTIVO DE APIO.....	12
2.9	CULTIVO DE LECHUGA	13
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1	MATERIALES	16
3.1.1	Ubicación del campo experimental	16
3.1.2	Sistema NFT (Técnica de la película de nutriente)	17
3.1.3	Construcción de semilleros	17
3.1.4	Sistema de Micronanoburbujas	17
3.2	METODOLOGÍA	18
3.2.1	Campañas de investigación	18

3.2.2	Instalación del sistema NFT	18
3.2.3	Instalación del sistema de micronanoburbujas	18
3.2.4	Semilleros.....	19
3.2.5	Trasplante definitivo	19
3.2.6	Operación y mantenimiento	20
3.2.7	Determinación de altura de la planta.....	22
3.2.8	Determinación de peso fresco y seco de los cultivos	22
3.2.9	Análisis estadístico.....	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	23
4.1	ESTACIÓN DE PRIMAVERA	23
4.1.1	Altura de planta en lechuga.....	23
4.1.2	Peso fresco en lechuga	24
4.1.3	Peso seco en lechuga.....	25
4.1.4	Altura de planta en apio	26
4.1.5	Peso fresco en apio.....	27
4.1.6	Peso seco en apio.....	28
4.2	ESTACIÓN DE VERANO	29
4.2.1	Altura de planta en lechuga.....	30
4.2.2	Peso fresco en lechuga	31
4.2.3	Peso seco en lechuga.....	32
4.2.4	Altura de planta en apio	33
4.2.5	Peso fresco en apio.....	34
4.2.6	Peso seco en apio.....	35
4.3	RESUMEN DEL PROMEDIO DE PESO FRESCO AÉREO.....	36
4.4	NÚMERO DE DÍAS A LA COSECHA	37
V.	CONCLUSIONES	39
5.1	PRIMERA CAMPAÑA DE SIEMBRA	39
5.2	SEGUNDA CAMPAÑA DE SIEMBRA.....	39
VI.	RECOMENDACIONES	40
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
VIII.	ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Promedio de altura de parte aérea y radicular, así como altura total de planta para el cultivo de lechuga en la estación de primavera por efecto de los tratamientos.....	23
Tabla 2: Promedio de peso fresco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de lechuga en la estación de primavera por efecto de los tratamientos.....	24
Tabla 3: Promedio de peso seco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de lechuga en la estación de primavera por efecto de los tratamientos.....	25
Tabla 4: Promedio de altura de parte aérea y radicular, así como altura total de planta para el cultivo de apio en la estación de primavera por efecto de los tratamientos.....	26
Tabla 5: Promedio de peso fresco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de apio en la estación de primavera por efecto de los tratamientos.....	27
Tabla 6: Promedio de peso seco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de apio en la estación de primavera por efecto de los tratamientos.....	28
Tabla 7: Promedio de altura de parte aérea y radicular, así como altura total de planta para el cultivo de lechuga en la estación de verano por efecto de los tratamientos.....	30
Tabla 8: Promedio de peso fresco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de lechuga en la estación de verano por efecto de los tratamientos.....	31
Tabla 9: Promedio de peso seco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de lechuga en la estación de verano por efecto de los tratamientos.....	32
Tabla 10: Promedio de altura de parte aérea y radicular, así como altura total de planta para el cultivo de apio en la estación de verano por efecto de los tratamientos.....	33
Tabla 11: Promedio de peso fresco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de apio en la estación de verano por efecto de los tratamientos.....	34
Tabla 12: Promedio de peso seco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de apio en la estación de verano por efecto de los tratamientos.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Efecto del tamaño de burbujas sobre el potencial de MB.....	10
Figura 2: Potencial de MB	11
Figura 3: Generador de MB	12
Figura 4: Promedio de datos climatológicos	16
Figura 5: Sistema NFT	18
Figura 6: Instalación del generador de MB	19
Figura 7: Semilleros	19
Figura 8: Trasplante definitivo	20
Figura 9: Medición de pH	21
Figura 10: Medición de CE	21
Figura 11: Medición de DO	21
Figura 12: Promedio de Peso fresco aéreo	36
Figura 13: Número de días a la cosecha.....	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de varianza de altura de planta en lechuga de primera campaña	43
Anexo 2: Análisis de varianza de longitud de raíz en lechuga de primera campaña	44
Anexo 3: Análisis de varianza de altura aérea en lechuga de primera campaña	44
Anexo 4: Análisis de varianza de total peso fresco en lechuga de primera campaña	45
Anexo 5: Análisis de varianza de peso fresco de raíz en lechuga de primera campaña.....	45
Anexo 6: Análisis de varianza de peso fresco aéreo en lechuga de primera campaña.....	46
Anexo 7: Análisis de varianza de total peso seco en lechuga de primera campaña	47
Anexo 8: Análisis de varianza de peso seco de raíz en lechuga de primera campaña	47
Anexo 9: Análisis de varianza de peso seco aéreo en lechuga de primera campaña	48
Anexo 10: Análisis de varianza de total altura de planta en apio de primera campaña	49
Anexo 11: Análisis de varianza de longitud de raíz en apio de primera campaña	49
Anexo 12: Análisis de varianza de altura aérea en apio de primera campaña.....	50
Anexo 13: Análisis de varianza de total peso fresco en apio de primera campaña	51
Anexo 14: Análisis de varianza de peso fresco de raíz en apio de primera campaña	51
Anexo 15: Análisis de varianza de peso fresco aéreo en apio de primera campaña	52
Anexo 16: Análisis de varianza de total peso seco en apio de primera campaña.....	53
Anexo 17: Análisis de varianza de peso seco de raíz en apio de primera campaña.....	53
Anexo 18: Análisis de varianza de peso seco aéreo en apio de primera campaña	54
Anexo 19: Análisis de varianza de altura de planta en lechuga de segunda campaña	55
Anexo 20: Análisis de varianza de longitud de raíz en lechuga de segunda campaña.....	55
Anexo 21: Análisis de varianza de altura aérea en lechuga de segunda campaña	56
Anexo 22: Análisis de varianza de total peso fresco en lechuga de segunda campaña.....	57
Anexo 23: Análisis de varianza de peso fresco de raíz en lechuga de segunda campaña	57
Anexo 24: Análisis de varianza de peso fresco aéreo en lechuga de segunda campaña	58
Anexo 25: Análisis de varianza de total peso seco en lechuga de segunda campaña	59
Anexo 26: Análisis de varianza de peso seco de raíz en lechuga de segunda campaña.....	59
Anexo 27: Análisis de varianza de peso seco aéreo en lechuga de segunda campaña.....	60
Anexo 28: Análisis de varianza de total altura de planta en apio de segunda campaña.....	61
Anexo 29: Análisis de varianza de longitud de raíz en apio de segunda campaña	61
Anexo 30: Análisis de varianza de altura aérea en apio de segunda campaña.....	62
Anexo 31: Análisis de varianza de total peso fresco en apio de segunda campaña	62
Anexo 32: Análisis de varianza de peso fresco de raíz en apio de segunda campaña.....	63
Anexo 33: Análisis de varianza de peso fresco aéreo en apio de segunda campaña.....	64
Anexo 34: Análisis de varianza de total peso seco en apio de segunda campaña	64
Anexo 35: Análisis de varianza de peso seco de raíz en apio de segunda campaña	65
Anexo 36: Análisis de varianza de peso seco aéreo en apio de segunda campaña	66

RESUMEN

La investigación se realizó en Lima – Perú dentro de las instalaciones del Centro de Hidroponía de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El objetivo de esta investigación fue evaluar el uso de un generador de micronanoburbujas (MNB) acoplado a un sistema NFT (Técnica de la película de nutriente) y comparado con un sistema NFT convencional con el fin de determinar mejoras en los indicadores de producción tales como altura de planta, peso fresco y peso seco. Las evaluaciones se realizaron en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) y apio (*Apium graveolens*) en dos estaciones, en primavera la primera campaña de siembra y en verano la segunda. El análisis estadístico fue un diseño completamente al azar y evaluación de las medias por la prueba múltiple de Tukey. Los resultados mostraron que el uso de micronanoburbujas en la época de primavera disminuye el ciclo vegetativo de lechuga en 13 días y apio en 6 días de diferencia a la cosecha y en la época de verano en lechuga 4 días y en apio 8 días de diferencia a la cosecha con respecto al testigo. El uso de micronaburbujas en la primera campaña de lechuga mejoro los indicadores de producción con respecto al testigo obteniendo un promedio de altura total de 59.3 cm y en el cultivo de apio no hubieron diferencias significativas. La segunda campaña de lechuga la altura de planta del testigo resulto ser estadísticamente mejor que el tratamiento NFT obteniendo un promedio de altura total de 53.4 cm pero en el peso fresco y peso seco no hubieron diferencias significativas y en el cultivo de apio fueron estadísticamente iguales.

Palabras clave: Sistema NFT, Micronanoburbujas.

ABSTRACT

The research was conducted in Lima - Peru within the facilities of the Hydroponics Center of the Faculty of Sciences of the National Agrarian University La Molina (UNALM). The objective of this research was to evaluate the use of a micronanobubble generator (MNB) coupled to a NFT system (Technique of the nutrient film) and compared with a conventional NFT system in order to determine improvements in the production indicators such as plant height, fresh weight and dry weight. The evaluations were carried out in the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa*) and celery (*Apium graveolens*) in two seasons, in spring the first sowing campaign and in summer the second. The statistical analysis was a completely randomized design and evaluation of the means by Tukey's multiple test. The results showed that the use of micronanobubbles in the spring season decreases the vegetative cycle of lettuce in 13 days and celery in 6 days of difference to the harvest and in the summer season in lettuce 4 days and in celery 8 days of difference to the harvest with respect to the witness. The use of microbubbles in the first campaign of lettuce improved the production indicators with respect to the control obtaining an average of total height of 59.3 cm and in the cultivation of celery there were no significant differences. The second campaign of lettuce plant height of the control turned out to be statistically better than the NFT treatment obtaining an average of total height of 53.4 cm but the fresh weight and dry weight there were no significant differences and in the celery culture were statistically equal.

Key Words: NFT system, Micronanobubbles.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la agricultura a través del cultivo hidropónico aumenta cada año debido a que ofrece la oportunidad de obtener una alta productividad en un espacio limitado de cultivo.

En hidroponía existen diversos sistemas para poder cultivar, resaltando el sistema NFT (Técnica de la Película de Nutriente), donde se busca obtener altos rendimientos de producción y productividad, los cuales pueden lograrse gracias a las ventajas que ofrece un cultivo hidropónico bajo condiciones de invernadero, como es el mejor control de condiciones climáticas y nutricionales.

A pesar de las bondades que ofrece la hidroponía, se han detectados problemáticas al momento de producir un cultivo hidropónico en un sistema de NFT, debido a que el cultivo puede ser afectado por déficit de oxígeno o por enfermedades, perjudicando su crecimiento y calidad, lo que conlleva a bajas producciones.

Gislerod y Kempton (1983) demostraron que en canales con técnica de la película de nutrientes (NFT), existen reducciones de oxígenos considerables en tardes calurosas donde la temperatura es alta.

Tomando en consideración los problemas existentes que impactan la producción en un sistema NFT, se procedió a evaluar las bondades que ofrece el sistema de micronanoburbujas (MNB) acoplado a un sistema NFT, como alternativa de solución a la problemática. Esta investigación se realizará en la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el área de hidroponía, ubicada en el distrito de La Molina, ciudad de Lima.

Este proyecto influirá en mejorar la producción debido a que el sistema de micronanoburbujas (MNB) tiene propiedades especiales, como que indica Tamaki (2014), generación de radicales libres, auto presurización y carga negativa; logrando una mejora

considerable en la calidad del agua, tanto como pureza y oxigenación, el mismo que va tomando importancia en la ciencia de la agricultura.

1.1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Evaluar las mejoras en la producción de los cultivos hidropónicos apio y lechuga, usando micronanoburbujas.

1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el sistema hidropónico convencional y el uso de micronanoburbujas en los indicadores agronómicos del apio.
- Evaluar el sistema hidropónico convencional y el uso de micronanoburbujas en los indicadores agronómicos de la lechuga.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 CULTIVOS HIDROPÓNICOS

Proveniente del origen griego, la hidroponía se deriva de HIDRO (agua) y PONOS (labor o trabajo), lo cual significa textualmente trabajo en agua. En la actualidad este término es utilizado para referirse al cultivo sin suelo (Beltrano y Giménez 2015).

Se conoce como hidroponía al conglomerado de técnicas que hacen posible que las plantas se puedan cultivar en un medio libre de suelo, utilizando lugares como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no, etc.

A raíz de esta definición se pusieron a funcionar distintas técnicas en las que se utilizan los sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin olvidar los requerimientos de la planta, como temperatura, humedad, agua y nutrientes.

2.2 SISTEMA DE CULTIVO NFT

INCAP OPS / OMS (2006) indica que el sistema de cultivo por NFT (Nutrient Film Technique), que traducido al español significa "técnica de la película nutriente", es una de las técnicas más utilizadas en el cultivo hidropónico.

Trata de la recirculación continua o intermitente de una fina lámina de agua con solución nutritiva a través de las raíces del cultivo. Sus raíces están suspendidas por un canal de cultivo por el cual fluye la solución nutritiva sin tener pérdidas al exterior.

El sistema consiste de una serie de canales de PVC, llamados canales de cultivo, y en cada canal existen agujeros para la ubicación de las plantas y todo esto es sostenido por caballetes con una ligera pendiente que ayuda a la recirculación.

La principal acción de este sistema es la recirculación continua o intermitente de una lámina de solución nutritiva, a través de las raíces que se encuentran suspendidas dentro del canal de cultivo y sin tener pérdidas de solución al exterior.

Para que se produzca la recirculación es necesario el uso de una bomba las 24 horas, la misma que permitirá obtener una lámina de solución nutritiva de 3 a 5 mm dentro del canal de PVC y un tanque donde se almacena la solución nutritiva.

La recirculación permite a las raíces estar en contacto permanente con la solución nutritiva, favoreciendo la oxigenación de las raíces y un gasto mínimo de energía de las plantas para la absorción.

2.3 SOLUCIÓN NUTRITIVA

INCAP OPS / OMS (2006) menciona que al producir un cultivo hidropónico con NFT, se debe tener un equilibrio adecuado entre los distintos iones presentes en la solución con el fin que no exista competencia entre ellos, fundamentalmente en lo que concierne al calcio o al magnesio, por ser de difícil absorción, aunque las concentraciones absolutas de los diferentes elementos pueden ser muy variables.

Es imprescindible conocer los coeficientes de absorción del cultivo (que es la cantidad del mismo que es absorbida por el cultivo por cada litro de agua que éste a su vez absorbe) para la etapa de desarrollo y época del año que correspondan, y éste es un trabajo importante a realizar a nivel de investigación.

2.4 OXÍGENO DISUELTO

Hernández (2013) indica que en un sistema de producción hidropónica existen parámetros que son constantemente monitoreados, como cantidad de nutrientes, pH y temperatura, con el fin de garantizar el rendimiento de los cultivos. Pocas veces es monitoreado el oxígeno disuelto en el agua de riego, la poca oxigenación casi no produce síntomas llamativos en la producción, sin embargo alarga el ciclo vegetativo disminuye el crecimiento y rendimiento del mismo, además, una adecuada oxigenación previene enfermedades en las raíces.

Se ha demostrado que una buena oxigenación puede regular la disponibilidad de algunos nutrientes, como el nitrógeno, debido a que el incremento de concentración de oxígeno aumenta la cantidad de microbios nitrificantes. La falta de oxígeno provoca la degradación de las raíces, susceptibilidad al ataque de patógenos e incluso la muerte (Hopper 2012).

Morgan (2000) menciona que el oxígeno disuelto toma importancia desde el surgimiento de técnicas hidropónicas comerciales, donde el agua es reciclada. En los sistemas recirculantes el mismo diseño permite la oxigenación del agua durante su recorrido, aún en estos sistemas los sustratos suelen descomponerse o compactarse debido a un uso no adecuado.

En los sistemas de raíz flotante comúnmente se utilizan bombas de aire debido a que la solución de nutrientes se encuentra prácticamente estancada (Hydro environment 2015).

El oxígeno disuelto se ve afectado por tres factores: temperatura, salinidad y altitud. En un sistema hidropónico la temperatura y salinidad hasta cierto punto se pueden manipular. Cuando mayor es la temperatura en el agua hay menos oxígeno disuelto, así que controlando la temperatura en el ambiente, bajaría la temperatura del agua. Para invernaderos se recomienda usar equipos enfriadores de agua, sobre todo para las bombas de aireación (Hopper 2012).

Martínez et al. (2012) demostraron en algunas plantas comestibles, como tomate y lechuga, que cuando aumentaba el oxígeno disuelto en la solución nutritiva había un incremento en el rendimiento de peso fresco, entre 180 y 200%.

2.5 AGUA

Siendo el agua uno de los componentes de mayor porcentaje en la planta, representando entre 60% y 90% del peso fresco, dependiendo del tejido que se considere, esta cumple funciones de sostén, permite el crecimiento de las células, facilita el enfriamiento de las hojas, es el medio para el traslado de nutrientes por el xilema y de foto asimilados por el floema y principalmente es sitio donde se dan lugar todas las reacciones químicas (Beltrano y Giménez 2015).

El agua desempeña un rol relevante en la vida de las plantas. En la fotosíntesis se necesita que las plantas obtengan el CO₂ de la atmósfera, pero a la par se ven expuestas a una pérdida

de agua y posterior deshidratación. Para prevenir dicha deshidratación, las plantas deben absorber agua por las raíces y transportarla a la parte aérea. Pequeños desequilibrios entre la absorción de agua y la pérdida de agua a la atmósfera puede causar un déficit hídrico que puede llevar a un malfuncionamiento de muchos procesos celulares (Hernández 2013).

2.6 NANOTECNOLOGÍA

Montico (2008) indica que la nanotecnología es un campo de las ciencias aplicadas que se dedica al control y manipulación de la materia a una escala menor que un micrómetro, es decir, a nivel de átomos y moléculas (nanomateriales). Bajo este parámetro se puede definir a la nanotecnología como aquel campo dedicado a la fabricación de la tecnología en miniatura, maniobrando átomo a átomo.

Según investigadores mencionan las ventajas y usos de la nanotecnología en distintas ciencias (Universidad de Toronto 2008):

- Almacenamiento, producción y conversión de energía
- Armamento y sistemas de defensa
- Producción agrícola
- Tratamiento y remediación de aguas
- Diagnóstico y cribaje de enfermedades
- Sistemas de administración de fármacos
- Procesamiento de alimentos
- Remediación de la contaminación atmosférica
- Construcción
- Monitorización de la salud
- Detección y control de plagas
- Control de desnutrición en lugares pobres
- Informática
- Alimentos transgénicos

2.7 SISTEMA DE MICRONANOBURBUJAS

2.7.1 Características de las micronanoburbujas

Las microburbujas tienen como función aumentar el oxígeno presente en el agua, además de esterilizar, limpiar, remover los pesticidas residuales en los sistemas acuáticos, entre otras funciones que colaboran con la calidad de agua.

2.7.2 Tamaño de las partículas

La información del tamaño y la concentración de nanoburbujas (NB) se vuelven importantes para verificar el efecto de NB. Existen diferentes sistemas para determinar el tamaño de partículas como es microscopía electrónica de transmisión, dispersión de luz dinámica y sistema de difracción láser, pero no son precisos por lo difícil que es medir el tamaño y la concentración de NB al mismo tiempo. El sistema más adecuado para medir el tamaño y concentración supuesta de NB es con el sistema "NanoSight" que es capaz de rastrear nanopartículas individuales que se mueven bajo el movimiento browniano y relaciona el movimiento con un tamaño de partícula según la fórmula derivada de la ecuación de Stokes-Einstein. (Ayako 2010).

Se puede considerar como una microburbuja aquella burbuja fina que tiene un diámetro de 1 a 100 micras ($1\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$). La nanoburbuja es aquella burbuja fina con diámetro menor a $1\mu\text{m}$.

Cuando un milímetro cúbico de agua se llena de micronanoburbujas ($1\mu\text{m}$ de diámetro), el área de contacto entre el agua y las burbujas es 10 000 veces mayor que el área de contacto de una burbuja normal (1 mm de diámetro). De esta manera se aumenta considerablemente la tasa de transferencia de gas suministrado (aire, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, entre otros) y aumenta la actividad de bacterias aeróbicas en el líquido (Win2Sol 2017).

2.7.3 Velocidad de subida lenta

La velocidad de subida de una MB depende de las propiedades físicas de los líquidos. Para MB de $100\mu\text{m}$ de diámetro, el número $Re (= dU\rho / \mu)$ es casi 1, y su forma es esférica. Tales MB se comportan como esferas fluidas (limpias) o esferas sólidas (impuras). Resultados experimentales de la velocidad de subida de las MB, se observaron comportamientos esféricos tanto fluidos como sólidos, mientras que los resultados experimentales bastante diversos siguiendo la ecuación de Stokes.

Aplicables a esferas sólidas

$$U = \rho g d^2 / 18 \mu$$

Donde (U) es la velocidad de subida, (ρ) es la densidad del líquido, (g) es la aceleración gravitacional, (d) es el diámetro de la burbuja y (μ) es la viscosidad del líquido. Por ejemplo, 10 μm de MB suben solo 20 cm en 1 h.

2.7.4 Alta presión dentro de las MB

Alta presión dentro de MBs (efecto de auto compresión) Usando la ecuación de Young-Laplace, la presión en una burbuja (ΔP) cuyo diámetro es (d) aumenta a la que es mayor que la presión circundante debido a la tensión superficial (σ).

$$\Delta P = 4\sigma/d$$

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 ecuación Young-Laplace, tensión superficial del agua a 20 ° C es 72.8 dinas/ cm^2 , la presión circundante de la burbuja es de 1 atm).

Con un tamaño de burbuja decreciente, la presión en la burbuja aumenta. Con un tamaño de burbuja decreciente, la presión parcial del componente de gas disuelto, es decir, la fuerza impulsora de la disolución, aumenta y el gas se disuelve fácilmente.

2.7.5 Área interfacial grande

Área interfacial grande se obtiene área interfacial de burbujas dividida por volumen A / V . Con un diámetro de burbuja decreciente d, A/V aumenta y contribuye a la fracción de disolución de gas.

$$A/V = 6/d$$

2.7.6 Gran disolución de gas

La tasa de transferencia de masa de gas a líquido, o la tasa de disolución (N) (mol / s), está escrita en la siguiente ecuación, cuando se descuida la resistencia a la transferencia de masa en fase gaseosa.

$$N = kLA(p - p^*)/H,$$

Donde (kL) es el coeficiente de transferencia de masa en fase líquida (m/s), (A) es el área superficial de la burbuja (m^2), (p) es la presión parcial del componente disuelto en la burbuja (Pa), (p^*) es la presión parcial del equilibrio de la fase gaseosa componente disuelto en líquido (Pa) y (H) es la constante de Henry ($p = HC$).

El coeficiente de transferencia de masa en fase líquida k_L está escrito en la ecuación cuando $Re < 1$, y la velocidad ascendente de la burbuja esférica sigue la ley de Stokes, donde D_L es el coeficiente de difusión del gas en fase líquida, d es el diámetro de la burbuja y U es la velocidad de ascenso de la burbuja.

$$k_L = \frac{D_L}{d} \left[1 + \left(1 + \frac{dU}{D_L} \right)^{1/3} \right]$$

Cuando el diámetro de la burbuja cambia de 1 μm a 1 mm para el sistema de oxígeno-agua (coeficiente de difusión de oxígeno $D_L = 2.60 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ en agua), el coeficiente de transferencia de masa en fase líquida k_L se convierte en 10^{-4} - 10^{-3} m/s por ecuación. La tasa de transferencia de masa N se obtiene mediante ecuación, usando los datos de k_L y la presión interna de la burbuja. Cuando una burbuja de 1 mm se segrega en burbujas cuyos diámetros son 10 μm y 100 nm, los números de burbujas aumentan 106 y 1012 veces, respectivamente. Cuando el área de la superficie de la burbuja de 1 mm se define como 1, las áreas superficiales de las burbujas de 10 μm y 100 nm aumentan a 6×10^4 y 6×10^{10} , respectivamente. Cuando la tasa de transferencia de masa de la burbuja de 1 mm durante la elevación de 1 mm se considera como 1, las velocidades de transferencia de masa de 10 μm y las burbujas de 100 nm se convierten en 108 y 1018, respectivamente, debido a la disminución de la velocidad de subida.

Al usar MB, la velocidad de disolución aumenta rápidamente.

2.7.7 Disolución y contracción

Ohnari (2006) describe la contracción de MB de la siguiente manera:

Para el generador de MB tipo remolino, la presión en la succión de gas se vuelve 0.06 MPa menor que la presión atmosférica. Las MB se forman bajo la presión combinada de presión atmosférica y presión estática; están presionados por líquido y comienzan a contraerse. Debido a la alta presión y la alta temperatura, se produce la contracción y disolución de los MB. Una MB de 20 μm se contrae y menos de 10 μm entra en contacto rápidamente y desaparece. Por otro lado, las MB mayores de 65 μm se expandirán aún más.

2.7.8 Superficie con carga negativa de MB

Takahashi (2005) midió los potenciales de superficie de MB utilizando la configuración experimental de las células de electroforesis. Las MB formados por el generador en el depósito de agua se introdujeron en la celda de electroforesis (1 mm de espesor, 23 mm de alto y 75 mm de ancho). Un interruptor de transferencia era utilizado para cambiar la dirección del potencial eléctrico en la celda de electroforesis cada 1 s. Como las MB se cargan negativamente, las MB se elevan en zigzag.

Al medir la velocidad de subida vertical de las MB, el tamaño de burbuja se obtiene usando la ecuación de Stokes, y a partir de la velocidad horizontal, el potencial de las MB se obtiene usando la ecuación de Smoluchowski.

$$\zeta = \mu u / \varepsilon$$

Donde ζ es el potencial zeta (V), μ es la viscosidad del agua (kg/ms), u es la movilidad (m^2/sV) y ε es la permitividad del agua ($\text{s}^2\text{C}^2/\text{kgm}^3$). La Figura (1) muestra el efecto del tamaño de burbuja sobre el potencial de MB en agua destilada. Las MB tienen una carga negativa con un potencial ζ promedio entre -30 y -40 mV independiente del diámetro de la burbuja.

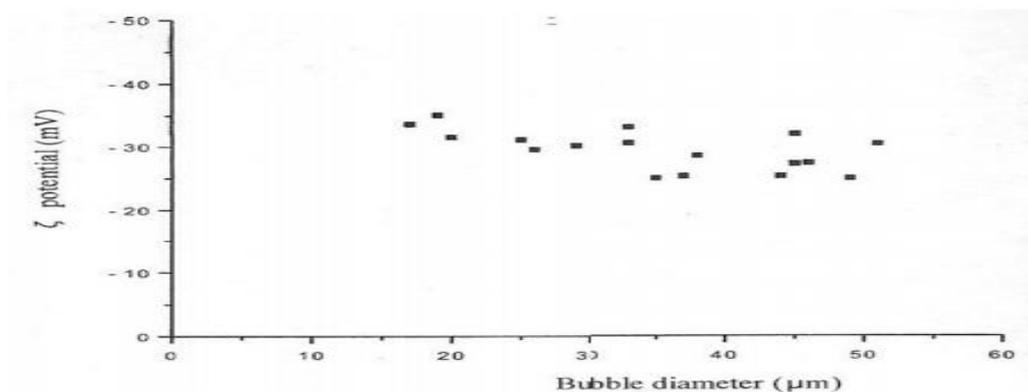


Figura 1: Efecto del tamaño de burbujas sobre el potencial de MB

Fuente: Takahashi (2005)

La interfaz gas-agua está cargada negativamente; entonces, OH^- debe jugar un papel importante en la carga eléctrica. Takahashi (2005) explicó el mecanismo de carga al usar más OH^- en comparación con los iones H^+ en la interfaz gas-agua.

La mayoría de los investigadores han explicado la adsorción de OH^- en la interfaz por la diferencia en la energía de 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 aniones a la interfaz.

Como se muestra en la figura, el potencial de MB depende del pH del agua ajustado por HCl y NaOH. La carga superficial de la interfaz gas-agua se vio fuertemente afectada por el pH del agua. Según Takahashi (2005) a un pH ácido fuerte, ζ potencial es 0 mV, mientras que a pH base fuerte, es -100 mV.

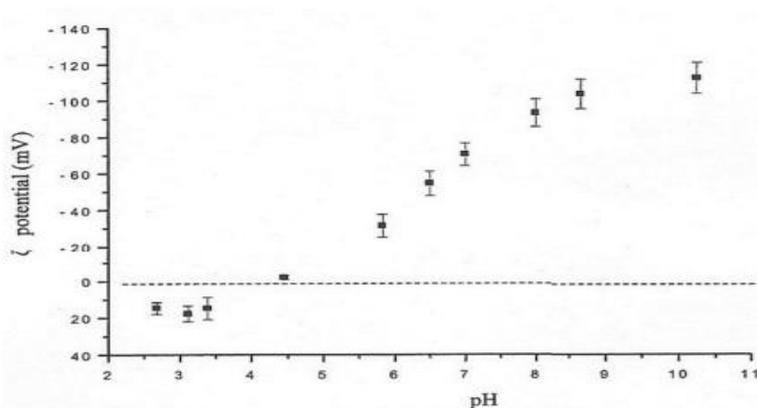


Figura 2: Potencial de MB

Fuente: Takahashi (2005)

2.7.9 Trituración y formación de radicales libres

Takahashi et al. (2007) electrodos introducidos en agua, trituración MBs por las ondas de choque formadas los radicales libres eran creados. Al comparar resonancia de spin electrónico, el número de radicales libres formados por aplastamiento de ondas de choque en MBs es dos o tres órdenes más grande en comparación con el caso de radiación de ultrasonido en agua. Menos de 50 μm MB, radicales libres se producen en varios minutos durante la compresión en altas concentraciones de MB. A medida que aumenta el potencial ζ durante la compresión, la concentración de iones alrededor del MB aumenta de manera que se forman iones en exceso, y los radicales libres son creados.

2.7.10 Cambio de propiedades líquidas por burbujeo de microburbujas (MB)

Himuro (2007) descubrió que al burbujear MB en el agua de la ciudad a 25° C, la viscosidad del líquido y la tensión superficial disminuyen y la conductividad eléctrica aumenta. Se debe

al cambio en el clúster por escisión del enlace de hidrógeno entre las moléculas de agua e ionización de productos químicos en el agua de la ciudad.

2.7.11 Características del generador de micronanoburbujas

Ohnari (2006) desarrolló un generador de MB (tipo M2-LM, producido por Nanoplanet Research Institute Corp.) como se muestra en la (figura 3), que es de tipo cilíndrico (diámetro 50 mm, altura 100 mm). El agua presurizada se alimenta desde la tubería de agua inferior mediante una bomba y el flujo de líquido rotacional 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 rotacional, y el aire se aspira automáticamente. Se forma un flujo de remolino de aire, y las MB se producen cerca de la salida del cilindro.

El índice de flujo del líquido es de aproximadamente 12 L / min, y la velocidad de remolino del flujo de dos fases en el cilindro es de 300-600 vueltas / s. La relación de tasa de flujo de gas / tasa de flujo de líquido es 1 / 7 - 1 / 15.

La distribución del tamaño MB por generador de tipo M2-LM es 10-50 μm , y el tamaño del modo es 15 μm .

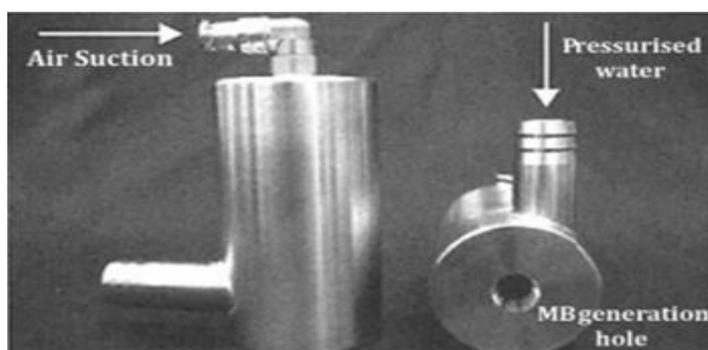


Figura 3: Generador de MB

Fuente: Empresa ACQUAMAS

2.8 CULTIVO DE APIO

Sendra et al. (2011) indican que el apio (*Apium graveolens*), perteneciente a la familia (*Apiaceas*), es una especie de clima templado-frío originaria de la cuenca del Mediterráneo. Es una planta herbácea bianual, de raíz pivotante que puede alcanzar 60 cm de profundidad con un abundante sistema radical secundario, adventicio y superficial. El tallo es un eje corto del que salen una roseta de hojas que poseen un pecíolo carnoso con la base en forma de

cuña. Tiene hojas pinnadas partidas, los frutos son diaquenios y comercialmente son considerados semillas.

Estos autores señalan que en la fase de crecimiento vegetativo requiere de temperatura óptima que sea próxima a los 18°C. No es exigente en suelos. El pH óptimo es de 5,8 y los límites entre 5,5 y 6,5; la conductividad óptima de 1 mmhos/cm. Es medianamente resistente a la salinidad, salvo en estado de plántula donde es más sensible. Si la conductividad eléctrica del agua de riego es elevada se frena el desarrollo vegetativo.

Es un cultivo exigente en agua de buena calidad, requiere abundante cantidad de agua especialmente en los períodos de alta temperatura y al final del cultivo; necesita una lámina mínima de unos 80 cm; requiere entre 23 y 34 litros de agua para producir 1 kg de biomasa fresca y 33 a 50 litros para producir 1 kg de producto comercializable.

También señalan que en su etapa inicial crece poco y el mes anterior a la cosecha tiene un crecimiento abrupto. Se estima que la mitad de N, P y K son asimilados en el último mes de cultivo, por lo que es importante concentrar un mes antes de la cosecha una buena dotación de N y K, ya que del primero depende fundamentalmente el número y la expansión de hojas y el K regula en parte el estado hídrico del vegetal y con ello su calidad.

El consumo del apio son sus hojas y tallos, tiene propiedades diuréticas, conferidas especialmente por su riqueza en aceites esenciales; además propiedades carminativas y depurativas de la sangre porque ayuda a eliminar toxinas. Ayuda a combatir infecciones de los riñones, provocadas por virus o bacterias y a disminuir el colesterol, favoreciendo al sistema circulatorio.

2.9 CULTIVO DE LECHUGA

Granval y Graviola (1991) mencionan que la lechuga es una planta herbácea anual, dicotiledónea, autógama, perteneciente a la familia (*Compositae*), cuyo nombre botánico es (*Lactuca sativa*). Se dice que es originario de Asia Menor de la costa sur del Mediterráneo y fue domesticada probablemente en Egipto. Es una planta anual, de cabeza paniculada y flor amarilla y derivada probablemente de la lechuga silvestre o espinosa (*Lactuca serriola*).

Estos autores indican que su raíz principal es pivotante, corta, puede penetrar hasta 30 cm de profundidad, con pequeñas ramificaciones, crece muy rápido, con abundante látex, tiene

numerosas raíces laterales de absorción, las cuales se desarrollan en la capa superficial del suelo con una profundidad de 5 a 30 cm.

Valadez (1997) menciona que el tallo es pequeño, muy corto, cilíndrico y no se ramifica, cuando finaliza la etapa comercial el tallo se alarga hasta 1,2 m de longitud, con ramificación del extremo y presencia, en cada punta, de las ramillas terminales de una inflorescencia.

La forma de sus hojas es lanceolada, oblonga o redonda. El borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado, lo cual depende de la variedad. Su color es verde amarillento, claro u oscuro, rojizo, púrpura o casi morado, dependiendo del tipo y el cultivar (Granval y Graviola 1991).

Las flores están agrupadas en capítulos dispuestos en racimos o corimbos, compuestos por 10 a 25 floretes, con receptáculo plano, rodeado por brácteas imbricadas. Es considerada una planta de flores perfectas que se autofecunda, en la cual solamente un 10% de la fecundación es cruzada, ésta se debe al transporte de polen de una planta a otra por los insectos (Valadez 1997).

La lechuga es también un buen recurso de vitamina C, calcio, hierro y cobre. Los tallos proveen fibra dietética que es ingrediente básico en dietas incalóricas, mientras que las vitaminas y minerales están concentrados en la parte más delicada de sus hojas (Granval y Gaviola 1991).

Se adapta a diferentes tipos de suelos, sin embargo el mejor desarrollo se obtiene en suelos francos arenosos y francos arcillosos con suficiente contenido de materia orgánica, con buena retención de humedad debido a que el sistema radicular de la lechuga no es muy extenso y el 96% de la parte comestible es agua. Es una especie medianamente tolerante a la salinidad (4 dS/m) y a la acidez en los suelos. Requieren temperatura entre 15 – 23 °C. El pH óptimo está entre 6,5 y 7,5 (Valadez 1997).

Las cifras promedio de extracción de nutrientes para un cultivo de lechuga cuyos rendimientos oscilan en 45 t/ha son: 100 kg de N/ha, 50 kg de fósforo como P₂O₅, 250 kg de potasio como K₂O, 51 kg de calcio como CaO y 22 kg de magnesio como MgO. Se recomienda aplicar los fertilizantes edáficos en dos dosis, la primera dosis tres días antes del trasplante y la segunda 20 días después. No se debe descartar la aplicación de

micronutrientes cuando sea necesario, dependiendo del análisis de suelos como de la fertilización foliar mezclada con la de pesticidas (Semillas Arroyave 2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Ubicación del campo experimental

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del centro experimental de Hidroponía de la Facultad de Ciencias en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), cuya ubicación geográfica es:

- Latitud Sur : 12° 4' 46"
- Longitud Oeste : 76° 56' 58"
- Altitud : 238 m.s.n.m.

Los datos climatológicos mostrados en la (Figura 4) se obtuvieron de la Estación Davis, perteneciente al Departamento de Recursos Hídricos y corresponden a los meses que duró la fase experimental.

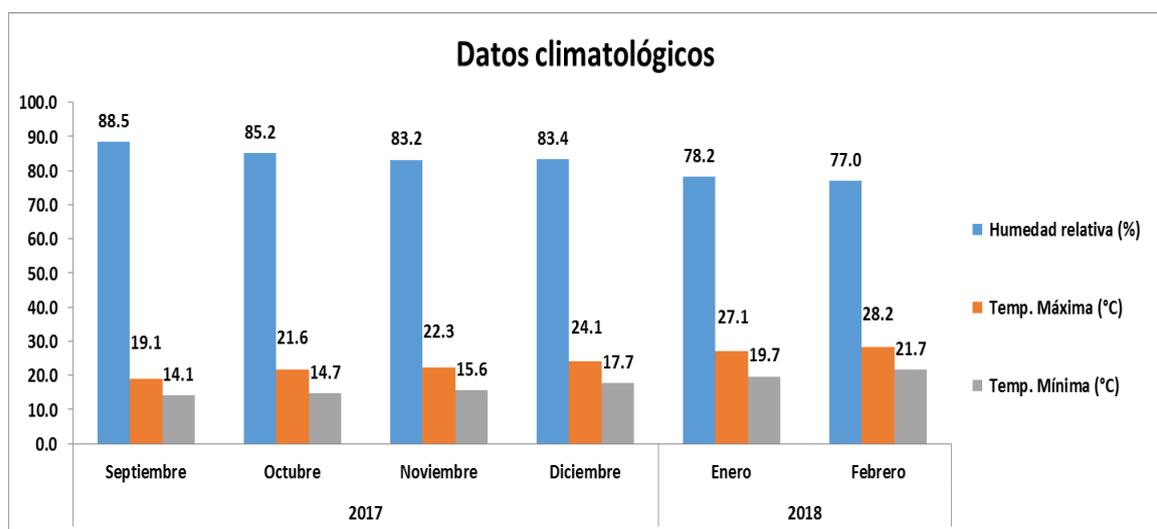


Figura 4: Promedio de datos climatológicos

Fuente: Estación Davis, UNALM

3.1.2 Sistema NFT (Técnica de la película de nutriente)

Para la construcción de un sistema NFT en pirámide se utilizó materiales con las siguientes características:

- Tubo de hierro de media pulgada para la construcción del soporte de la pirámide.
- Para la construcción de los canales que portan el agua con la solución se utilizó tubería de PVC de tres pulgadas.
- Tacho de plástico de 60 litros por cada pirámide.
- Bomba de ½ Hp por cada pirámide, de caudal de 60 l/h.
- Manguera de 4 mm para conducción del agua hacia los 10 canales que conforman cada sistema NFT en pirámide.
- Las dimensiones de cada módulo NFT en pirámide fueron de: 3,0 m x 1,5 m x 1,2 m. En cada módulo entraron 150 plantas.

3.1.3 Construcción de semilleros

Para la construcción de semilleros se utilizó los siguientes materiales:

- Madera para la elaboración de contenedores cuyas dimensiones fueron 0,40 m x 0,40 m x 0,10 m.
- Polietileno de seis micras de espesor para forrar los contenedores.
- Se utilizó arena fina como sustrato.
- Semillas de lechuga y apio de variedad Tropicana.

3.1.4 Sistema de Micronanoburbujas

Para el funcionamiento del sistema de Micronanoburbujas (MNB) se utilizó:

- Motor de ½ Hp que trabaja en conjunto con el generador de micronanoburbujas.
- Generador de micronaburbujas.

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Campañas de investigación

La evaluación del sistema MNB se realizó en dos campañas, con los cultivos de apio y lechuga. La primera campaña de siembra y cosecha se realizó en los meses de Septiembre a Noviembre 2017, la segunda campaña se realizó en los meses de Diciembre a Febrero 2018.

3.2.2 Instalación del sistema NFT

- La Instalación del sistema de NFT se realizó con 15 días de anticipación al trasplante definitivo de la lechuga y el apio en el sistema NFT.



Figura 5: Sistema NFT

3.2.3 Instalación del sistema de micronanoburbujas

- La instalación del sistema de Micronanoburbujas se realizó con 15 días de anticipación al trasplante definitivo de la lechuga y el apio en el sistema NFT. La instalación del generador de micronaburbujas se realizó dentro del tanque que contiene la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT. El control fue un sistema similar pero sin el generador de micronanoburbujas.



Figura 6: Instalación del generador de MB

3.2.4 Semilleros

- Los semilleros se armaron para lechuga con 30 días y apio con 45 días de anticipación al trasplante definitivo.
- Se sembraron semillas de apio y lechuga en arena previamente lavada y desinfectada. El sustrato se colocó en contenedores (semilleros), previamente forrado con polietileno de color negro. Esta forma de producción garantizó una germinación y uso de plántulas sanas en el cultivo hidropónico.
- Las semillas de lechuga a los 15 días de germinadas, se procedió a trasplantar las plántulas a un sistema de raíz flotante. Esta etapa se llamó primer trasplante.
- El mismo procedimiento se realizó para las semillas de apio pero a los 30 días de germinadas.



Figura 7: Semilleros

3.2.5 Trasplante definitivo

- Después de 15 días del primer trasplante, las plántulas de lechuga y apio fueron trasplantadas al sistema NFT. A esta etapa se le llamó trasplante definitivo.

- Como las semillas de apio demoran más en germinar (30 días), se sembraron con días de anticipación para coincidir con la fecha del trasplante definitivo.
- Las plántulas de apio y lechuga se colocaron en macetitas plásticas de 2 pulgadas. En la parte inferior se hizo un orificio por donde se pasó las raíces.
- Las plántulas en las macetitas se colocaron en los canales de cultivo. La distancia entre orificios fue de 20 cm.



Figura 8: Trasplante definitivo

3.2.6 Operación y mantenimiento

- El mantenimiento se realizó con los cuidados propios de cada cultivo, es decir, velando por su fitosanidad y fertirrigación.
- Las plantas fueron alimentadas con solución nutritiva preparada con solución hidropónica La Molina, la cual consta de dos soluciones concentradas A y B. Por cada litro de agua se agregó 5 ml de la solución A y 2 ml de la solución B. La solución A contiene nitrato de potasio, nitrato de amonio y superfosfato triple. La solución B contiene sulfato de magnesio, quelato de hierro y micronutrientes.
- Se hicieron monitoreo frecuentes de conductividad eléctrica (CE) y pH de la solución nutritiva que alimenta ambos sistemas NFT (control y micronanoburbujas), con la ayuda de conductímetro y peachímetro, con la finalidad de asegurar el normal desarrollo de las plantas. Se mantuvo una CE entre 2,0 y 2,2 dS/m y un pH de 6,0 a 6,5.



Figura 9: Medición de pH



Figura 10: Medición de CE

- Se tomaron mediciones de oxígeno disuelto (DO) en la solución nutritiva al inicio de la campaña de siembra resultando cantidades de oxígeno disuelto que oscilan en tratamiento con MNB entre 7.77 – 7.93 ppm y en testigo entre 5.90 – 7.46 ppm.



Figura 11: Medición de DO

3.2.7 Determinación de altura de la planta

La altura de la planta se determinó después de la cosecha. De las 75 plantas totales por tratamiento se escogieron 10 plantas al azar, en las que se midió la altura aérea de la planta con tallo y hojas. Además se midió por separado la longitud de raíz y por diferencia se obtuvo la altura total de parte aérea.

3.2.8 Determinación de peso fresco y seco de los cultivos

Se determinó peso fresco inmediatamente después de la cosecha. De las 10 plantas que se escogieron al azar se tomó el peso aéreo de tallo y hojas. Además se midió por separado el peso fresco de la raíz y por diferencia se obtuvo el peso fresco total de la parte aérea. Cada planta fresca se colocó en su respectiva bolsa de papel para luego secarla al horno a 75° C por 24 horas. Se determinó el peso seco de tallo y hojas. Además se tomó por separado el peso seco de la raíz y por diferencia se obtuvo el peso seco total de la parte aérea.

3.2.9 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se determinó un diseño completamente al azar (DCA) el mismo que fue evaluado por el método de TUKEY.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 ESTACIÓN DE PRIMAVERA

La evaluación de la investigación se realizó en los siguientes meses:

En lechuga el trasplante definitivo fue el 11 de Septiembre del 2017. La cosecha en el tratamiento con micronanoburbujas se realizó el 17 de Octubre del 2017 y en el testigo fue el 30 de Octubre del 2017.

En apio el trasplante definitivo fue el 11 de Septiembre del 2017. La cosecha en el tratamiento con micronanoburbujas se realizó el 2 de Noviembre del 2017 y en el testigo fue el 8 de Noviembre del 2017.

4.1.1 Altura de planta en lechuga

Los resultados de la investigación de altura de planta se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Promedio de altura de parte aérea y radicular, así como altura total de planta para el cultivo de lechuga en la estación de primavera por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Altura aérea (cm)	Longitud raíz (cm)	Altura total (cm)
MNB	31.8 (A)	27.5 (A)	59.3 (A)*
Testigo	26.2 (B)	23.8 (B)	50 (B)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades
- (*) Nos indica alta significancia estadística

Mediante el uso de MNB se evidenció que tenemos mejor altura total con respecto al testigo con un promedio de altura total con el uso de MNB de 59.3 cm. Según el análisis de varianza para la variable de altura total (anexo 1), nos indica alta diferencia estadística

entre los tratamientos (99 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 13.09 %. La comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto mejor que el testigo.

Mediante el uso de MNB se evidenció que tenemos mejor longitud de raíz con respecto al testigo con un promedio de longitud de raíz con el uso de MNB de 27.5 cm. Según el análisis de varianza para la variable de longitud de raíz (anexo 2), nos indica diferencia estadística entre los tratamientos (97 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 13.6 %. La comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto mejor que el testigo.

Mediante el uso de MNB se evidenció que tenemos mejor altura aérea con respecto al testigo con un promedio de altura aérea con el uso de MNB de 31.8 cm. Según el análisis de varianza para la variable de altura aérea (anexo 3), nos indica diferencia estadística entre los tratamientos (98 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 15.4 %. La comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto mejor que el testigo.

4.1.2 Peso fresco en lechuga

Los resultados de la investigación de total peso fresco se presentan en la tabla 2.

Tabla 2: Promedio de peso fresco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de lechuga en la estación de primavera por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Peso fresco aéreo (gr)	Peso fresco raíz (gr)	Peso fresco total (gr)
MNB	355.24 (A)*	28.7 (A)	383.94 (A)*
Testigo	277.09 (B)	26.3 (A)	303.39 (B)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades
- (*) Nos indica alta significancia estadística

Mediante el uso de MNB se evidenció que tenemos mejor peso fresco total con respecto al testigo con un promedio de peso fresco total con el uso de MNB de 383.94 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco total (anexo 4), nos indica alta diferencia estadística entre los tratamientos (99 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad

de 13.12 %. La comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto mejor que el testigo.

Mediante el uso de MNB se evidenció que no hay mayor diferencia del peso fresco de raíz con respecto al testigo con un promedio de peso fresco de raíz con uso de MNB de 28.7 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco de raíz (anexo 5), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (78 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 15.48 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se evidenció que tenemos mejor peso fresco aéreo con respecto al testigo con un promedio de peso fresco aéreo con el uso de MNB de 355.2 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco aéreo (anexo 6), nos indica alta diferencia estadística entre los tratamientos (99 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 13.32 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto mejor que el testigo.

4.1.3 Peso seco en lechuga

Los resultados de la investigación de peso seco se presentan en la tabla 3.

Tabla 3: Promedio de peso seco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de lechuga en la estación de primavera por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Peso seco aéreo (gr)	Peso seco raíz (gr)	Peso seco total (gr)
MNB	16.72 (A)*	1.15 (A)	17.9 (A)*
Testigo	10.74 (B)	0.95 (A)	11.7 (B)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades
- (*) Nos indica alta significancia estadística

Mediante el uso de MNB se evidenció que tenemos mejor peso seco total con respecto al testigo con un promedio de peso seco total con el uso de MNB de 17.9 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco total (anexo 7), nos indica alta diferencia estadística

entre los tratamientos (99 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 18.02 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto mejor que el testigo.

Mediante el uso de MNB se evidenció que tenemos mejor peso seco de raíz con respecto al testigo con un promedio de peso seco de raíz con el uso de MNB de 1.2 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco de raíz (anexo 8), nos indica diferencia estadística entre los tratamientos (98 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 16.48 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto mejor que el testigo.

Mediante el uso de MNB se evidenció que tenemos mejor peso seco aéreo con respecto al testigo con un promedio de peso seco de aéreo con el uso de MNB de 16.7 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco aéreo (anexo 9), nos indica alta diferencia estadística entre los tratamientos (99 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 18.13 %. En la tabla 18 se muestra la prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto mejor que el testigo.

4.1.4 Altura de planta en apio

Los resultados de la investigación de altura de planta se presentan en la tabla 4.

Tabla 4: Promedio de altura de parte aérea y radicular, así como altura total de planta para el cultivo de apio en la estación de primavera por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Altura aérea (cm)	Longitud raíz (cm)	Altura total (cm)
MNB	44.8 (A)	19.9 (A)	64.7 (A)
Testigo	43 (A)	24.3 (A)	67.3 (A)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de altura total es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de altura total con uso de MNB de 64.7 cm. Según el análisis de varianza para la variable de altura total (anexo 10), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (40 % de confiabilidad), con un

coeficiente de variabilidad de 17.1 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de longitud de raíz es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de longitud de raíz con uso de MNB de 19.9 cm. Según el análisis de varianza para la variable de longitud de raíz (anexo 11), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (92 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 24.2 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que no hay mayor diferencia en el promedio de altura aérea con respecto al testigo con un promedio de altura de aérea con uso de MNB de 44.8 cm. Según el análisis de varianza para la variable de altura aérea (anexo 12), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (38 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 18.4 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

4.1.5 Peso fresco en apio

Los resultados de la investigación de total peso fresco se presentan en la tabla 5.

Tabla 5: Promedio de peso fresco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de apio en la estación de primavera por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Peso fresco aéreo (gr)	Peso fresco raíz (gr)	Peso fresco total (gr)
MNB	445.5 (A)	85.2 (A)	530.7 (A)
Testigo	494.3 (A)	74.4 (A)	568.7 (A)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso fresco total es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso fresco total con uso

de MNB de 530.7 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco total (anexo 13), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (51 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 22 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso fresco de raíz es mayor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso fresco de raíz con uso de MNB de 85.2 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco de raíz (anexo 14), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (87 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 19.2 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso fresco aéreo es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso fresco aéreo con uso de MNB de 445.5 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco aéreo (anexo 15), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (68 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 22.9 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

4.1.6 Peso seco en apio

Los resultados de la investigación de peso seco se presentan en la tabla 6.

Tabla 6: Promedio de peso seco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de apio en la estación de primavera por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Peso seco aéreo (gr)	Peso seco raíz (gr)	Peso seco total (gr)
MNB	31.09 (A)	5.67 (A)	36.76 (A)
Testigo	34.33 (A)	4.91 (A)	39.24 (A)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso seco total es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso seco total con uso de MNB de 36.8 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco total (anexo 16), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (47 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 22.9 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso seco de raíz es mayor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso seco de raíz con uso de MNB de 5.7 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco de raíz (anexo 17), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (81 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 23.7 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso seco aéreo es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso seco aéreo con uso de MNB de 31.1 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco aéreo (anexo 18), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (65 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 23.5 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

4.2 ESTACIÓN DE VERANO

La evaluación de la investigación se realizó en los siguientes meses:

En lechuga el trasplante definitivo fue el 12 de Diciembre del 2017. La cosecha en el tratamiento con micronanoburbujas se realizó el 9 de Enero del 2018 y en el testigo fue el 13 de Enero del 2018.

En apio el trasplante definitivo fue el 19 de Diciembre del 2017. La cosecha en el tratamiento con micronanoburbujas se realizó el 5 de Febrero del 2018 y en el testigo fue el 13 de Febrero del 2018.

4.2.1 Altura de planta en lechuga

Los resultados de la investigación de altura de planta se presentan en la tabla 7.

Tabla 7: Promedio de altura de parte aérea y radicular, así como altura total de planta para el cultivo de lechuga en la estación de verano por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Altura aérea (cm)	Longitud raíz (cm)	Altura total (cm)
MNB	32.5 (B)	16.6 (B)	49.1 (B)
Testigo	35.0 (A)	18.4 (A)	53.4 (A)*

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades
- (*) Nos indica alta significancia estadística

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de altura total es menor con respecto al testigo con un promedio de altura total con uso de MNB de 49.1 cm. Según el análisis de varianza para la variable de altura total (anexo 19), nos indica alta diferencia estadística entre los tratamientos (99 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 6.05 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el testigo resulto mejor que el tratamiento MNB.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de longitud de raíz es menor con respecto al testigo con un promedio de longitud de raíz con uso de MNB de 16.6 cm. Según el análisis de varianza para la variable de longitud de raíz (anexo 20), nos indica diferencia estadística entre los tratamientos (90 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 13.7 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el testigo resulto mejor que el tratamiento MNB.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de altura aérea es menor con respecto al testigo con un promedio de altura aérea con uso de MNB de 32.5 cm. Según el análisis de varianza para la variable de altura aérea (anexo 21), nos indica diferencia estadística entre los tratamientos (96 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 7.79 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el testigo resulto mejor que el tratamiento MNB.

4.2.2 Peso fresco en lechuga

Los resultados de la investigación de total peso fresco se presentan en la tabla 8.

Tabla 8: Promedio de peso fresco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de lechuga en la estación de verano por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Peso fresco aéreo (gr)	Peso fresco raíz (gr)	Peso fresco total (gr)
MNB	141.1 (A)	16.0 (A)	157.1 (A)
Testigo	148.3 (A)	17.0 (A)	165.3 (A)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso fresco total es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso fresco total con uso de MNB de 157.1 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco total (anexo 22), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (70 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 12.4 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso fresco de raíz es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso fresco con uso de MNB de 16 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco de raíz (anexo 23), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (70 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 14.2 %. En la tabla 46 se muestra la prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso fresco aéreo es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso fresco aéreo con uso de MNB de 141.1 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco aéreo (anexo 24), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (60 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 13.5 %. La prueba de comparación

múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

4.2.3 Peso seco en lechuga

Los resultados de la investigación de peso seco se presentan en la tabla 9.

Tabla 9: Promedio de peso seco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de lechuga en la estación de verano por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Peso seco aéreo (gr)	Peso seco raíz (gr)	Peso seco total (gr)
MNB	6.54 (A)	0.71 (A)	7.25 (A)
Testigo	7.06 (A)	0.79 (A)	7.85 (A)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso seco total es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso seco total con uso de MNB de 7.25 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco total (anexo 25), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (80 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 16.2 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso seco de raíz es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso seco de raíz con uso de MNB de 0.71 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco de raíz (anexo 26), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (70 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 24.3 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso seco aéreo es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso seco aéreo con uso

de MNB de 6.54 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco aéreo (anexo 27), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (70 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 18.1 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

4.2.4 Altura de planta en apio

Los resultados de la investigación de altura de planta se presentan en la tabla 10.

Tabla 10: Promedio de altura de parte aérea y radicular, así como altura total de planta para el cultivo de apio en la estación de verano por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Altura aérea (cm)	Longitud raíz (cm)	Altura total (cm)
MNB	62.1 (A)	23.3 (A)	85.4 (A)
Testigo	59.1 (A)	22.3 (A)	81.4 (A)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de altura total es mayor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de altura total con uso de MNB de 85.4 cm. Según el análisis de varianza para la variable de altura total (anexo 28), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (90 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 7.17 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de longitud de raíz es mayor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de longitud de raíz con uso de MNB de 23.3 cm. Según el análisis de varianza para la variable de longitud de raíz (anexo 29), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (60 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 13 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de altura aérea es mayor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de altura de aérea con uso de MNB de 62.1 cm. Según el análisis de varianza para la variable de altura aérea (anexo 30), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (80 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 8.85 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

4.2.5 Peso fresco en apio

Los resultados de la investigación de total peso fresco se presentan en la tabla 11.

Tabla 11: Promedio de peso fresco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de apio en la estación de verano por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Peso fresco aéreo (gr)	Peso fresco raíz (gr)	Peso fresco total (gr)
MNB	338.9 (A)	27.7 (A)	366.6 (A)
Testigo	306.8 (A)	29.5 (A)	336.3 (A)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso fresco total es mayor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso fresco total con uso de MNB de 366.6 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco total (anexo 31), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (70 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 18.8 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso fresco de raíz es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso fresco de raíz con uso de MNB de 27.7 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco de raíz (anexo 32), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (70 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 16 %. La prueba de comparación

múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso fresco aéreo es mayor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso fresco aéreo con uso de MNB de 338.9 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso fresco aéreo (anexo 33), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (80 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 19.7 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

4.2.6 Peso seco en apio

Los resultados de la investigación de peso seco se presentan en la tabla 12.

Tabla 12: Promedio de peso seco de parte aérea y radicular, y peso total para el cultivo de apio en la estación de verano por efecto de los tratamientos

Tratamiento	Peso seco aéreo (gr)	Peso seco raíz (gr)	Peso seco total (gr)
MNB	22.60 (A)	1.84 (A)	24.44 (A)
Testigo	19.56 (A)	2.27 (A)	21.83 (A)

- Promedio en cada columna seguida por la misma letra no son significativamente diferentes por la prueba múltiple de comparación de Tukey al 0.05% probabilidades

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso seco total es mayor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso seco total con uso de MNB de 24.4 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco total (anexo 34), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (80 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 22.3 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso seco de raíz es menor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso seco de raíz con uso de MNB de 1.84 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco de raíz (anexo

35), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (95 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 22.5 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

Mediante el uso de MNB se observó que el promedio de peso seco aéreo es mayor con respecto al testigo pero no significativamente con un promedio de peso seco aéreo con uso de MNB de 22.6 gr. Según el análisis de varianza para la variable de peso seco aéreo (anexo 36), nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos (90 % de confiabilidad), con un coeficiente de variabilidad de 23.1 %. La prueba de comparación múltiple de media de Tukey, nos indica un 95 % de confiabilidad donde el tratamiento MNB resulto estadísticamente igual al testigo.

4.3 RESUMEN DEL PROMEDIO DE PESO FRESCO AÉREO

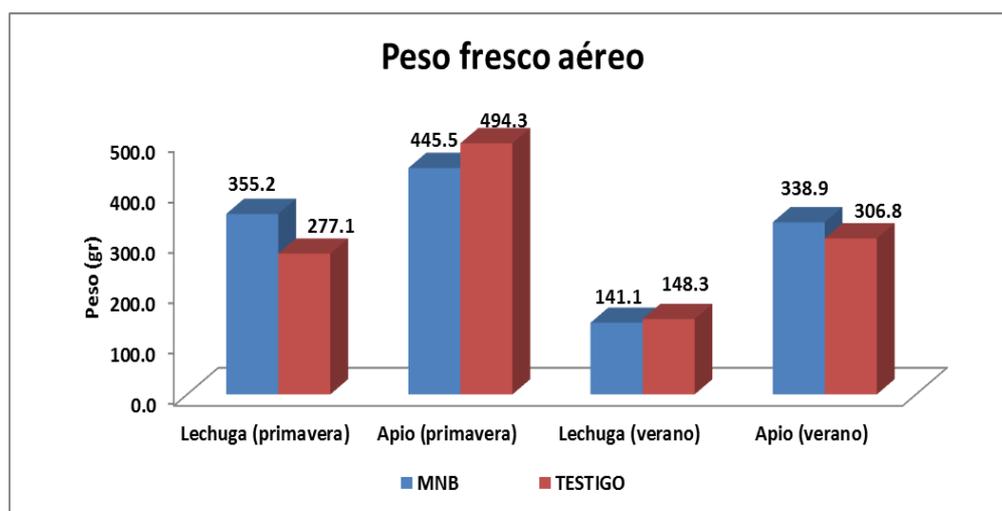


Figura 12: Promedio de Peso fresco aéreo

En la figura 11 se observa que con el uso del sistema de MNB en la época de primavera para el cultivo de lechuga la variable de peso fresco incrementa significativamente con respecto al testigo, lo cual no sucede con el cultivo de apio. Con el generador de MNB la cantidad de oxígeno disuelto en el tanque que contenía la solución nutritiva oscilo entre 7.77 - 7.93 ppm y en el testigo oscilo entre 5.90 – 7.46 ppm, parámetro que influyo directamente en el peso fresco concordando con lo que dice Martínez et al. (2012) demostraron en algunas plantas comestibles, como tomate y lechuga, cuando aumentaba el oxígeno disuelto en la solución nutritiva había un incremento en el rendimiento de peso fresco, entre 180 y 200%.

Para la época de verano tanto para el cultivo de lechuga y apio el uso de MNB no presento mejoras en el peso fresco inclusive obteniendo menor peso fresco que en la época de primavera. Se asume que la temperatura pudo ser el factor que influya que se obtenga menor peso fresco en los cultivos evaluados en la época de verano, considerando que para la época de verano la temperatura mínima fue 17.7 °C y la temperatura máxima fue 28.2 °C lo cual fue una condición desfavorable para el normal crecimiento de la planta. Concordando con lo que dice (Valadez 1997) la lechuga requiere de temperatura entre 15 – 23 °C para su crecimiento y según Sendra et al. (2011) el apio en la fase de crecimiento vegetativo requiere de temperatura óptima que sea próxima a los 18°C, si las temperaturas fueran mayores los rendimiento tienden a disminuir.

En la época de verano con el uso de MNB no existe mejoras del peso fresco en lechuga y en apio el aumento de peso fresco no es significativo.

4.4 NÚMERO DE DÍAS A LA COSECHA

La siguiente figura representa el ciclo vegetativo del cultivo de lechuga y apio considerando desde su trasplanta definitivo hasta la cosecha

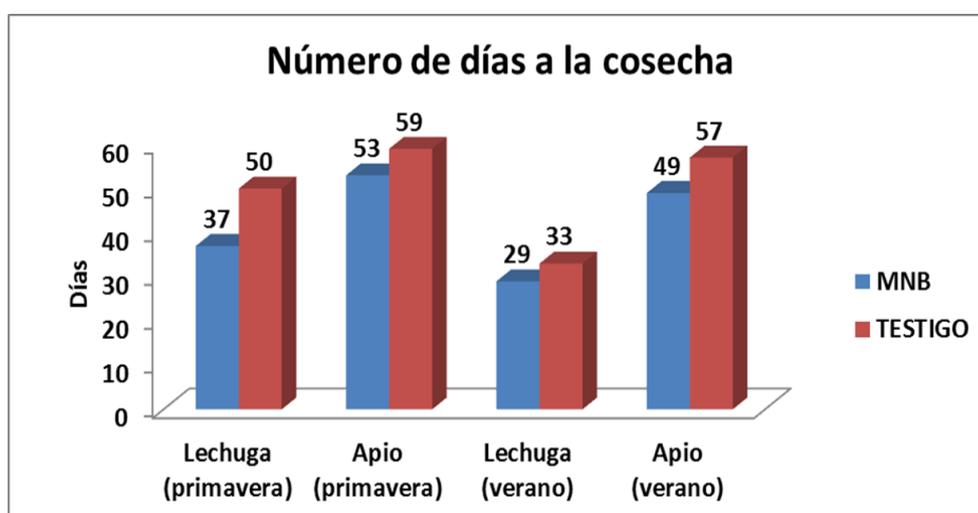


Figura 13: Número de días a la cosecha

Se evidencia que el uso de micronaburbujas (MNB) disminuye el ciclo vegetativo en los cultivo de lechuga y apio en las dos estaciones evaluadas. En la época de primavera la lechuga tiene 13 días y el apio 6 días de diferencia a la cosecha con respecto al testigo y en la época de verano la lechuga tiene 4 días y el apio 8 días de diferencia a la cosecha con respecto al testigo.

El uso de MNB al mejorar la cantidad de oxígeno disponible en el agua ayuda al crecimiento normal de la planta, estando de acuerdo con lo que dice Hernández (2013) indica que en un sistema de producción hidropónica pocas veces es monitoreado el oxígeno disuelto en el agua de riego, la poca oxigenación casi no produce síntomas llamativos en la producción, sin embargo alarga el ciclo vegetativo disminuyendo el crecimiento y rendimiento del mismo.

V. CONCLUSIONES

5.1 PRIMERA CAMPAÑA DE SIEMBRA

- Se determinó que el uso del sistema de MNB acelera el ciclo vegetativo, obteniendo en lechuga 13 días y en apio 6 días de diferencia a la cosecha con respecto al testigo.
- Se comprobó que el uso del sistema de MNB mejoró significativamente los indicadores de producción en el cultivo de lechuga con respecto al testigo, logrando una diferencia en el promedio de altura de planta de 9.3 cm, peso fresco de 80.5 gr y peso seco de 6.2 gr.
- Se evidenció que el uso de MNB no mejoró los indicadores de producción en el cultivo de apio, resultando ser estadísticamente igual al testigo.

5.2 SEGUNDA CAMPAÑA DE SIEMBRA

- Se determinó que el uso del sistema de MNB acelera el ciclo vegetativo, obteniendo en lechuga 4 días y en apio 8 días de diferencia a la cosecha con respecto al testigo.
- Se concluyó que el testigo resultó ser estadísticamente mejor que el tratamiento con uso de MNB obteniendo un promedio de altura de planta de 4.3 cm en el cultivo de lechuga pero resultó ser que el peso fresco y peso seco fue estadísticamente igual al tratamiento con MNB.
- El uso de MNB en apio resultó ser estadísticamente igual al testigo, no hubo mejoras en lo referente a la altura de planta, peso fresco y peso seco.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar el sistema de MNB en el cultivo de lechuga para la época de primavera que fue donde obtuvimos resultados favorables.
- En una siguiente investigación se debe considerar que para el apio los canales en el sistema NFT sean de cuatro pulgadas, para que las raíces puedan explorar mejor su sistema radicular y el paso de la solución en los canales fluya con normalidad.
- En una siguiente investigación se debería tomar frecuentemente medidas de oxígeno disponible en el tanque de la solución, al inicio y final de los canales donde fluye la lámina de la solución.
- Se recomienda para una siguiente investigación considerar los gastos energéticos de las bombas y consumos de agua para obtener análisis de costos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayako Irie. 2010. The Latest Technology of Microbubbles and Nanobubbles 2. pp. 67–70 (in Japanese).

Beltrano, J. Giménez, D. 2015. Cultivo en hidroponía. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina.

Gislerod, H. and Kemptom, R. 1983. The oxygen content of flowing nutrient solutions used for cucumber and tomato culture. *Scientia Horticulturae*, Vol. 20. New York. USA.

Granval, N. Graviola, J. 1991. Manual de producción de semillas hortícolas. Asociación Cooperadora de la Estación Experimental Agropecuaria La Consulta, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina, 82 pp.

Hernández, J. 2013. Importancia del agua en las plantas. Disponible en <https://cienciacebas.wordpress.com/2013/09/04/importancia-del-agua-en-las-plantas-i/> Murcia, España.

Himuro, S. 2007. Characteristics of physical chemistry of microbubbles, *Chem. Eng. Jpn.*, 71, 165–169 (in Japanese).

Hooper, D. 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature*. USA.

Hydro environment. 2015. Falta de oxígeno en cultivo hidropónico. *Agroforum.pe*. Perú.

INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá); OPS/OMS (Centro Regional de la organización Panamericana de la Salud); CASI (Centro de Aprendizaje e Intercambio del Saber en Seguridad Alimentaria). 2006. Fichas tecnológicas serie III. Bogotá, Colombia.

Martínez, G. 2012. Falta de Oxígeno en Cultivo Hidropónico. *Agroforum.pe*. Perú.

Montico, S. 2008. Revista agro mensajes de la Facultad de Ciencias Agrarias. Catedra de Manejo de tierras. Rosario, Argentina.

- Morgan, L. 2000. Falta de oxígeno en cultivo hidropónico. Agroforum.pe. Perú.
- Ohnari, H. (2006). All on Microbubbles, Nippon Jitsugyo Shuppan Co., Japan (in Japanese).
- Semillas Arroyave. Reporte técnico. 2016. Cultivo de la lechuga. Bogotá.
- Sendra, N. Tonelli, B. Alí, S. 2011. Cátedra Horticultura. Universidad Nacional de Entre Ríos. Argentina.
- Tamaki, M. 2014. Agricultural, Marine and Stock- Raising Fields. Micro and Nanobubbles. Kanagawa, Japan.
- Takahashi, M. 2005. ζ potential of microbubbles in aqueous solution: electrical properties of the gas-water interface, *J. Phys. Chem. B*, 109, 21858–21864.
- Takahashi M, Chiba K. Li P. 2007. Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus, *J. Phys. Chem. B*, 111, 1343–1347.
- Universidad de Toronto. 2008. Revista agro mensajes de la Facultad de Ciencias Agrarias. Catedra de Manejo de tierras. Rosario, Argentina.
- Valadez, A. 1997. Producción de hortalizas. México, Noriega Editores, 298 pp.
- Win2Sol. 2017. Micronanoburbujas. Disponible en <http://win2solholdings.com/micronanoburbujas/> Bogotá, Colombia.

VIII. ANEXOS

PRIMERA CAMPAÑA - LECHUGA

Anexo 1: Análisis de varianza de altura de planta en lechuga de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	432.450000	432.450000	8.44	0.0094
Error	18	922.100000	51.227778		
Total corregido	19	1354.550000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Altura Total Media
0.319257	13.09672	7.157358	54.65000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	432.4500000	432.4500000	8.44	0.0094

Prueba de Tukey de altura total de planta

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	59.30	A
Testigo	50.00	B

Anexo 2: Análisis de varianza de longitud de raíz en lechuga de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	68.4500000	68.4500000	5.60	0.0294
Error	18	220.1000000	12.2277778		
Total corregido	19	288.5500000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Longitud Raíz Media
0.237221	13.63284	3.496824	25.65000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	68.45000000	68.45000000	5.60	0.0294

Prueba de Tukey de longitud de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	27.50	A
Testigo	23.80	B

Anexo 3: Análisis de varianza de altura aérea en lechuga de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	156.8000000	156.8000000	7.81	0.0120
Error	18	361.2000000	20.0666667		
Total corregido	19	518.0000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Altura Aérea Media
0.302703	15.44684	4.479583	29.00000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	156.8000000	156.8000000	7.81	0.0120

Prueba de Tukey de altura aérea

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	31.80	A
Testigo	26.20	B

Anexo 4: Análisis de varianza de total peso fresco en lechuga de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	32443.12352	32443.12352	15.94	0.0009
Error	18	36643.93816	2035.77434		
Total corregido	19	69087.06168			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Total Peso Fresco Media
0.469598	13.12890	45.11956	343.6660

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	32443.12352	32443.12352	15.94	0.0009

Prueba de Tukey de total peso fresco

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	383.94	A
Testigo	303.39	B

Anexo 5: Análisis de varianza de peso fresco de raíz en lechuga de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-------------------	----------------------	---------	--------

Tratamiento	1	28.8000000	28.8000000	1.59	0.2235
Error	18	326.2000000	18.1222222		
Total corregido	19	355.0000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Raíz Media
0.081127	15.48007	4.257020	27.50000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	28.80000000	28.80000000	1.59	0.2235

Prueba de Tukey de peso fresco de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	28.70	A
Testigo	26.30	A

Anexo 6: Análisis de varianza de peso fresco aéreo en lechuga de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	30538.67552	30538.67552	17.20	0.0006
Error	18	31958.26616	1775.45923		
Total corregido	19	62496.94168			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Aéreo Media
0.488643	13.32724	42.13620	316.1660

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	30538.67552	30538.67552	17.20	0.0006

Prueba de Tukey de peso fresco aéreo

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	355.24	A
Testigo	277.09	B

Anexo 7: Análisis de varianza de total peso seco en lechuga de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	193.5664200	193.5664200	27.16	<.0001
Error	18	128.2673600	7.1259644		
Total corregido	19	321.8337800			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Total Peso Seco Media
0.601448	18.02343	2.669450	14.81100

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	193.5664200	193.5664200	27.16	<.0001

Prueba de Tukey de total peso seco

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	17.9	A
Testigo	11.7	B

Anexo 8: Análisis de varianza de peso seco de raíz en lechuga de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
---------------	-----------	--------------------------	-----------------------------	----------------	------------------

Tratamiento	1	0.20402000	0.20402000	6.72	0.0184
Error	18	0.54620000	0.03034444		
Total corregido	19	0.75022000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Seco Raíz Media
0.271947	16.48028	0.174197	1.057000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	0.20402000	0.20402000	6.72	0.0184

Prueba de Tukey de peso seco de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	1.15	A
Testigo	0.95	B

Anexo 9: Análisis de varianza de peso seco aéreo en lechuga de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	178.8618050	178.8618050	28.82	<.0001
Error	18	111.7072500	6.2059583		
Total corregido	19	290.5690550			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Aéreo Media
0.615557	18.13941	2.491176	13.73350

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	178.8618050	178.8618050	28.82	<.0001

Prueba de Tukey de peso seco aéreo

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	16.72	A
Testigo	10.74	B

PRIMERA CAMPAÑA - APIO

Anexo 10: Análisis de varianza de total altura de planta en apio de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	33.800000	33.800000	0.26	0.6130
Error	18	2296.200000	127.566667		
Total corregido	19	2330.000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Altura Total Media
0.014506	17.11294	11.29454	66.00000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	33.80000000	33.80000000	0.26	0.6130

Prueba de Tukey de total altura de planta

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	67.3	A
MNB	64.7	A

Anexo 11: Análisis de varianza de longitud de raíz en apio de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	96.8000000	96.8000000	3.36	0.0835

Error	18	519.0000000	28.8333333		
Total corregido	19	615.8000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Longitud Raíz Media
0.157194	24.29714	5.369668	22.10000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	96.80000000	96.80000000	3.36	0.0835

Prueba de Tukey de longitud de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	24.3	A
MNB	19.9	A

Anexo 12: Análisis de varianza de altura aérea en apio de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	16.200000	16.200000	0.25	0.6259
Error	18	1185.600000	65.866667		
Total corregido	19	1201.800000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Altura Aérea Media
0.013480	18.48708	8.115828	43.90000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	16.20000000	16.20000000	0.25	0.6259

Prueba de Tukey de altura aérea

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	44.8	A
Testigo	43.0	A

Anexo 13: Análisis de varianza de total peso fresco en apio de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	7220.0000	7220.0000	0.49	0.4917
Error	18	263734.2000	14651.9000		
Total corregido	19	270954.2000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Total Peso Fresco Media
0.026647	22.02020	121.0450	549.7000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	7220.000000	7220.000000	0.49	0.4917

Prueba de Tukey de total peso fresco

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	568.7	A
MNB	530.7	A

Anexo 14: Análisis de varianza de peso fresco de raíz en apio de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	583.200000	583.200000	2.48	0.1328
Error	18	4236.000000	235.333333		

Total corregido	19	4819.200000			
-----------------	----	-------------	--	--	--

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Raíz Media
0.121016	19.22378	15.34058	79.80000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	583.2000000	583.2000000	2.48	0.1328

Prueba de Tukey de peso fresco de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	85.2	A
Testigo	74.4	A

Anexo 15: Análisis de varianza de peso fresco aéreo en apio de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	11907.2000	11907.2000	1.03	0.3241
Error	18	208514.6000	11584.1444		
Total corregido	19	220421.8000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Aéreo Media
0.054020	22.90480	107.6297	469.9000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	11907.20000	11907.20000	1.03	0.3241

Prueba de Tukey de peso fresco aéreo

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	494.3	A
MNB	445.5	A

Anexo 16: Análisis de varianza de total peso seco en apio de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	30.752000	30.752000	0.40	0.5332
Error	18	1371.088000	76.171556		
Total corregido	19	1401.840000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Total Peso Seco Media
0.021937	22.96745	8.727632	38.00000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	30.75200000	30.75200000	0.40	0.5332

Prueba de Tukey de total peso seco

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	39.24	A
MNB	36.76	A

Anexo 17: Análisis de varianza de peso seco de raíz en apio de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	2.88800000	2.88800000	1.82	0.1938
Error	18	28.53000000	1.58500000		

Total corregido	19	31.41800000			
-----------------	----	-------------	--	--	--

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Raíz Media
0.091922	23.79901	1.258968	5.290000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	2.88800000	2.88800000	1.82	0.1938

Prueba de Tukey de peso seco de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	5.67	A
Testigo	4.91	A

Anexo 18: Análisis de varianza de peso seco aéreo en apio de primera campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	52.488000	52.488000	0.89	0.3589
Error	18	1065.850000	59.213889		
Total corregido	19	1118.338000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Aéreo Media
0.046934	23.52509	7.695056	32.71000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	52.48800000	52.48800000	0.89	0.3589

Prueba de Tukey de peso seco aéreo

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
-------------	-------	-------

Testigo	34.33	A
MNB	31.09	A

SEGUNDA CAMPAÑA - LECHUGA

Anexo 19: Análisis de varianza de altura de planta en lechuga de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	92.4500000	92.4500000	9.60	0.0062
Error	18	173.3000000	9.6277778		
Total corregido	19	265.7500000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Altura Total Media
0.347883	6.054373	3.102866	51.25000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	92.45000000	92.45000000	9.60	0.0062

Prueba de Tukey de total altura de planta

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	53.40	A
MNB	49.10	B

Anexo 20: Análisis de varianza de longitud de raíz en lechuga de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	16.2000000	16.2000000	2.78	0.1126
Error	18	104.8000000	5.8222222		
Total corregido	19	121.0000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Longitud Raíz Media
0.133884	13.78816	2.412928	17.50000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	16.20000000	16.20000000	2.78	0.1126

Prueba de Tukey de longitud de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	18.40	A
MNB	16.60	B

Anexo 21: Análisis de varianza de altura aérea en lechuga de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	31.2500000	31.2500000	4.52	0.0476
Error	18	124.5000000	6.9166667		
Total corregido	19	155.7500000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Altura Aérea Media
0.200642	7.792461	2.629956	33.75000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	31.25000000	31.25000000	4.52	0.0476

Prueba de Tukey de altura aérea

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	35.00	A
MNB	32.50	B

Anexo 22: Análisis de varianza de total peso fresco en lechuga de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	336.200000	336.200000	0.84	0.3722
Error	18	7227.000000	401.500000		
Total corregido	19	7563.200000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Total Peso Fresco Media
0.044452	12.43019	20.03746	161.2000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	336.2000000	336.2000000	0.84	0.3722

Prueba de Tukey de total peso fresco

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	165.30	A
MNB	157.10	A

Anexo 23: Análisis de varianza de peso fresco de raíz en lechuga de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	5.0000000	5.0000000	0.90	0.3553
Error	18	100.0000000	5.5555556		
Total corregido	19	105.0000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Raíz Media

0.047619	14.28499	2.357023	16.50000
----------	----------	----------	----------

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	5.00000000	5.00000000	0.90	0.3553

Prueba de Tukey de peso fresco de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	17.0	A
MNB	16.0	A

Anexo 24: Análisis de varianza de peso fresco aéreo en lechuga de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	259.200000	259.200000	0.68	0.4209
Error	18	6877.000000	382.055556		
Total corregido	19	7136.200000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Aéreo Media
0.036322	13.50811	19.54624	144.7000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	259.2000000	259.2000000	0.68	0.4209

Prueba de Tukey de peso fresco aéreo

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	148.30	A
MNB	141.10	A

Anexo 25: Análisis de varianza de total peso seco en lechuga de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	1.80000000	1.80000000	1.20	0.2884
Error	18	27.07000000	1.50388889		
Total corregido	19	28.87000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Total Peso Seco Media
0.062348	16.24280	1.226331	7.550000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	1.80000000	1.80000000	1.20	0.2884

Prueba de Tukey de total peso seco

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	7.85	A
MNB	7.25	A

Anexo 26: Análisis de varianza de peso seco de raíz en lechuga de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	0.03200000	0.03200000	0.96	0.3394
Error	18	0.59800000	0.03322222		
Total corregido	19	0.63000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Raíz Media
0.050794	24.30262	0.182270	0.750000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
---------------	-----------	-----------------	-----------------------------	----------------	------------------

TRAT	1	0.03200000	0.03200000	0.96	0.3394
------	---	------------	------------	------	--------

Prueba de Tukey de peso seco de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	0.79	A
MNB	0.71	A

Anexo 27: Análisis de varianza de peso seco aéreo en lechuga de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	1.35200000	1.35200000	0.89	0.3573
Error	18	27.26800000	1.51488889		
Total corregido	19	28.62000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Aéreo Media
0.047240	18.10012	1.230808	6.800000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	1.35200000	1.35200000	0.89	0.3573

Prueba de Tukey de peso seco aéreo

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	7.06	A
MNB	6.54	A

SEGUNDA CAMPAÑA - APIO

Anexo 28: Análisis de varianza de total altura de planta en apio de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	80.0000000	80.0000000	2.23	0.1524
Error	18	644.8000000	35.8222222		
Total corregido	19	724.8000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Altura Total Media
0.110375	7.176459	5.985167	83.40000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	80.00000000	80.00000000	2.23	0.1524

Prueba de Tukey de total altura de planta

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	85.4	A
Testigo	81.4	A

Anexo 29: Análisis de varianza de longitud de raíz en apio de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	5.0000000	5.0000000	0.57	0.4605
Error	18	158.2000000	8.7888889		
Total corregido	19	163.2000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	longitud Raíz Media
0.030637	13.00266	2.964606	22.80000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	5.00000000	5.00000000	0.57	0.4605

Prueba de Tukey de longitud de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	23.3	A
Testigo	22.3	A

Anexo 30: Análisis de varianza de altura aérea en apio de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	45.0000000	45.0000000	1.56	0.2270
Error	18	517.8000000	28.7666667		
Total corregido	19	562.8000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Altura Aérea Media
0.079957	8.850588	5.363457	60.60000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	45.00000000	45.00000000	1.56	0.2270

Prueba de Tukey de altura aéreo

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	62.10	A
Testigo	59.10	A

Anexo 31: Análisis de varianza de total peso fresco en apio de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	4590.45000	4590.45000	1.05	0.3198

Error	18	78936.50000	4385.36111		
Total corregido	19	83526.95000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Total Peso Fresco Media
0.054958	18.84253	66.22206	351.4500

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	4590.450000	4590.450000	1.05	0.3198

Prueba de Tukey de total peso fresco

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	366.6	A
Testigo	336.3	A

Anexo 32: Análisis de varianza de peso fresco de raíz en apio de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	16.2000000	16.2000000	0.77	0.3917
Error	18	378.6000000	21.0333333		
Total corregido	19	394.8000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Raíz Media
0.041033	16.03570	4.586211	28.60000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	16.20000000	16.20000000	0.77	0.3917

Prueba de Tukey de peso fresco de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	29.5	A
MNB	27.7	A

Anexo 33: Análisis de varianza de peso fresco aéreo en apio de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	5152.05000	5152.05000	1.27	0.2744
Error	18	72984.50000	4054.69444		
Total corregido	19	78136.55000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Aéreo Media
0.065936	19.72324	63.67648	322.8500

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	5152.050000	5152.050000	1.27	0.2744

Prueba de Tukey de peso fresco aéreo

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	338.9	A
Testigo	306.8	A

Anexo 34: Análisis de varianza de total peso seco en apio de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	34.0605000	34.0605000	1.28	0.2736
Error	18	480.6650000	26.7036111		

Total corregido	19	514.7255000			
-----------------	----	-------------	--	--	--

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Total Peso Seco Media
0.066172	22.33652	5.167554	23.13500

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	34.06050000	34.06050000	1.28	0.2736

Prueba de Tukey de total peso seco

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	24.44	A
Testigo	21.83	A

Anexo 35: Análisis de varianza de peso seco de raíz en apio de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	0.92450000	0.92450000	4.31	0.0526
Error	18	3.86500000	0.21472222		
Total corregido	19	4.78950000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Raíz Media
0.193026	22.54897	0.463381	2.055000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	0.92450000	0.92450000	4.31	0.0526

Prueba de Tukey de peso seco de raíz

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
Testigo	2.27	A
MNB	1.84	A

Anexo 36: Análisis de varianza de peso seco aéreo en apio de segunda campaña

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	46.2080000	46.2080000	1.95	0.1798
Error	18	427.1040000	23.7280000		
Total corregido	19	473.3120000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Peso Aéreo Media
0.097627	23.10787	4.871139	21.08000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	46.20800000	46.20800000	1.95	0.1798

Prueba de Tukey de peso seco aéreo

TRATAMIENTO	MEDIA	TUKEY
MNB	22.60	A
Testigo	19.56	A