



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

RENDIMIENTO DE LECHUGA ACUAPÓNICA EN DIFERENTES
FASES LUNARES

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

ALDAHIR SANTIAGO MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. J. REFUGIO TOBAR REYES

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla. Diciembre de 2022.



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

RENDIMIENTO DE LECHUGA ACUAPÓNICA EN DIFERENTES
FASES LUNARES

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

ALDAHIR SANTIAGO MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. J. REFUGIO TOBAR REYES

ASESORES

DRA. DELIA MORENO VELÁZQUEZ
DR. SIGFRIDO DAVID MORALES FERNÁNDEZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla. Diciembre de 2022.

La presente tesis titulada: **Rendimiento de lechuga acuapónica en diferentes fases lunares** y realizada por **Aldahir Santiago Martinez**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

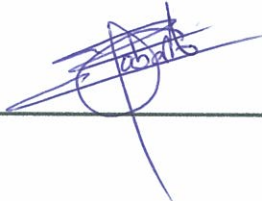
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular:

Firma

Director: Dr. J. Refugio
Tobar Reyes



Asesor: Dra. Delia Moreno
Velázquez

Moreno Velázquez Delia.

Asesor: Dr. Sigfrido David
Morales Fernández



San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2022.

El presente trabajo forma parte del cuerpo Académico denominado: **BUAP CA -313- Manejo integral de cultivos agrícolas** y de la Línea de Investigación: **Proyectos de Factibilidad Económica, Social y Ambiental**. Dicho trabajo, fue financiado con recursos propios.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado:

A dios, por estar conmigo en todo momento y ser el sustento para seguir avanzando.

A mis padres María del Carmen M. M y Manuel S. J. que con su esfuerzo y apoyo incondicional me dieron la oportunidad de realizar este proceso en mi vida, por sus consejos y su amor que es fundamental para lograr cada objetivo y metas.

A toda mi familia: Hermanos, abuelos que estuvieron presentes durante esta etapa, por ser, estar y sus buenos consejos para seguir adelante.

A mis amigos y pareja por los buenos y malos momentos, por las risas, platicas, consejos y su apoyo. Que permitieron este recorrido más agradable.

AGRADECIMIENTOS

A todos quienes forman parte de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias.

A todos los docentes de la Facultad que con su experiencia formaron parte de conocimientos adquiridos.

Al Dr. Refugio Tobar Reyes por brindarme su confianza y guiarme en este camino de aprendizaje y de todo su apoyo para lograr los objetivos.

A la doctora Delia Moreno Velázquez y al Dr. Sigfrido David Morales Fernández por transmitir sus conocimientos y el apoyo otorgado durante mi estancia en la facultad.

INDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Acuaponia	5
4.2. Trabajos en acuaponia	5
4.3. Diseño del sistema de recirculación acuapónico	8
4.4. El agua en acuaponia	9
4.4.1. Parámetros del agua en la acuaponia	9
4.5. Lechuga en acuaponia	11
4.6. Tilapia en acuaponia	13
4.7. Influencia de la luna en agricultura	14
4.7.1. Antecedentes de la influencia de la luna en lechuga	14
V. MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1. localización del sitio experimental	15

5.2. Material biológico.....	16
5.3. Toma de parámetros del agua.....	19
5.4. Fase 1. Lechuga en semillero.....	20
5.5. Fase 2. Lechuga en sistema acuapónico.....	20
5.6. Cultivo de tilapia.....	21
5.7. Diseño experimental.....	21
5.8. Tratamientos.....	22
5.9. Variables de respuesta.....	22
5.9.1 Fase 1. Al final de etapa semillero.....	22
5.9.2. Fase 2. A la cosecha.....	23
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
6.1. Fase 1. Al final de etapa semillero.....	26
6.1.1. Altura de planta.....	26
6.1.2. Longitud de raíz.....	27
6.1.3. Peso seco total.....	28
6.1.4. Temperatura y humedad relativa en etapa semillero..	29
6.2. Fase 2. A la cosecha.....	31
6.2.1. Altura de planta.....	31
6.2.2. Longitud de raíz.....	32
6.2.3. Peso seco total.....	33
6.2.4. Peso seco de hojas.....	34
6.2.5. Peso seco de raíz.....	35
6.2.6. Temperatura y humedad relativa.....	36
6.3. Peso promedio inicial y final de tilapia.....	37

6.4. Longitud promedio inicial y final de tilapia.....	37
6.5. Parámetros del agua.....	38
VII. CONCLUSIÓN.....	42
VIII. LITERATURA CITADA.....	43

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Rangos de parámetros esperados para los organismos en acuaponía	11
Cuadro 2. Análisis del peso seco de follaje y raíces.....	12
Cuadro 3. Guía práctica de diseño de sistemas para unidades acuapónicas a pequeña escala.....	17
Cuadro 4. Tratamientos que se aplicarán para determinar la producción de lechuga en sistema acuapónico.....	22
Cuadro 5. Comparación de medias para altura de planta en etapa de semillero.....	27
Cuadro 6. Temperaturas y HR promedio durante etapa semillero.	30
Cuadro 7. Comparación de medias para altura de planta para... etapa de cosecha	32 32
Cuadro 8. Temperaturas y HR promedio para etapa de cosecha...	37
Cuadro 9. Parámetros obtenidos del sistema acuapónico.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Municipio de Tlapacoyan, Veracruz.....	15
Figura 2. Esquema de módulo acuapónico.....	19
Figura 3. Valores de longitud de raíz en etapa.....	28
de semillero.....	28
Figura 4. Valores de pesos secos total en etapa.....	29
de semillero.....	29
Figura 5. Valores de longitud de raíz para etapa de.....	33
Cosecha.....	33
Figura 6. Valores de peso seco de plantas para etapa.....	34
de cosecha.....	34
Figura 8. Valores de peso seco de raíz para etapa.....	36
de cosecha.....	36

RESUMEN

La acuaponia es una técnica de producción de alimentos sustentables que proporciona respuestas a los principales problemas relacionados a la producción de vegetales. El objetivo principal fue evaluar la producción de lechuga orejona en un sistema acuapónico, tomando en cuenta la condición de la fases lunares. Se utilizaron semillas de lechuga de hoja larga llamada orejona y tilapias con un peso promedio total de 15.5 g y una longitud promedio de 8.7 cm. El sistema acuapónico fue a pequeña escala con un volumen de 200 L para la parte acuicola, los filtros para sedimentos con un volumen de 36 L y un biofiltro con un volumen de 200 L. El componente hidropónico con capacidad de 40 plantas. Se tomaron los parámetros Ph, Tds, Ce, temperatura, Amonio $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, Nitritos NO_2^- , Nitratos NO_3^- y fosfatos PO_4^{3-} semanalmente desde el inicio de recirculación hasta el final del ensayo. La siembra, trasplante y cosecha se realizó de acuerdo a las cuatro fases lunares. El diseño experimental fue completamente al azar, estableciendo cuatro tratamientos y diez repeticiones. Se obtuvieron diferencias significativas para las variables de altura de planta tanto en fase de semillero como en la fase de cosecha y no se encontraron diferencias significativas para las demas variables de longitud de raiz y peso seco total en la fase de semillero, de igual forma para las variables de longitud de raiz, peso seco total, peso seco de follaje y peso seco de raiz para la fase de cosecha. La tilapia obtuvo un desarrollo poco favorable durante el ensayo.

Palabras claves: *Lactuca sativa L*, acuaponia, Fases lunares, peso seco.

ABSTRACT

Aquaponics is a sustainable food production technique that provides answers to the main problems related to vegetable production. The main objective was to evaluate the production of orejona lettuce in an aquaponic system, taking into account the condition of the lunar phases. Seeds of long-leaf lettuce called orejona and tilapia with a total average weight of 15.5 g and an average length of 8.7 cm were used. The aquaponic system was on a small scale with a volume of 200 L for the aquaculture part, sediment filters with a volume of 36 L and a biofilter with a volume of 200 L. The hydroponic component with a capacity of 40 plants. The parameters Ph, Tds, Ce, temperature, Ammonium $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, Nitrites NO_2^- , Nitrates NO_3^- and phosphates PO_4^{3-} were taken weekly from the start of recirculation until the end of the test. Sowing, transplanting and harvesting was carried out according to the four lunar phases. The experimental design was completely randomized, establishing four treatments and ten repetitions. Significant differences were obtained for the variables of plant height both in the seedbed phase and in the harvest phase and no significant differences were found for the other variables of root length and total dry weight in the nursery phase, in the same way for the variables of root length, total dry weight, foliage dry weight and root dry weight for the harvest phase. The tilapia obtained an unfavorable development during the trial.

Keys word: *Latuca sativa L*, aquaponics, moon Phases, dry wei

I. INTRODUCCIÓN

Los aspectos preocupantes de la producción de vegetales son la posibilidad de extraer metales y sustancias provenientes de la aplicación de agroquímicos, mismas, que al paso de los años pueden ocasionar problemas de salud en algún segmento de la población consumidora.

La acuaponía es una técnica donde se producen vegetales y peces, normalmente el sistema requiere agua de buena calidad, misma que al ser recirculada del área de peces al área de vegetales y viceversa; se aprovechan y se complementan los nutrimentos. Una de las ventajas de la acuaponía es que se permite diversificar la alimentación y puede ser adaptada a pequeña o gran escala.

La acuaponía surge de la necesidad de solucionar problemas de suministro de alimentos de una forma más acorde con los sistemas naturales (Arroyo- Padilla, 2012), ya que no es posible el uso de productos de síntesis química como bactericidas, fungicidas, insecticidas ni herbicidas (Iturbide- Dormon, 2008; Aguilera-Morales *et al.*, 2012; Borrero *et al.*, 2013) y por lo tanto, los productos producidos tienen alto grado de inocuidad, lo que representa una de las formas de producción agrícola más sustentables y respetuosas del medio ambiente (Falcón, 2010; Borrero *et al.*, 2013).

Para sistemas de producción acuapónica a pequeña escala, la tilapia (*Oreochromis spp.*) es el pez más utilizado, debido a su corto ciclo productivo (seis a nueve meses), tolerancia a variaciones en la calidad del agua y resistencia a bajos niveles de oxígeno (Iturbide-Dormon, 2008; Falcón, 2010).

Una de las plantas más usadas en estos sistemas es la lechuga (*Lactuca sativa L*), dado su fácil manejo y escaso requerimiento nutrimental. La lechuga contribuye con la ingesta de minerales y vitaminas a la dieta de humanos; la lechuga es adaptable a la región Nororiental de Puebla y Centro occidente de Veracruz debido a las condiciones de temperaturas frescas y alta humedad relativa, lo que puede permitir su buen crecimiento y desarrollo en todo el año. Adicionalmente, el cultivo de lechuga puede ser una opción viable para generar ingresos económicos dados sus cortos ciclos de producción, además, de acuerdo con lo que establecieron Pertierra y Quispe (2020) existe viabilidad social dada la generación del autoempleo.

El conocimiento de las fases lunares en la producción agrícola pasa de generación en generación en la población. Es importante buscar la forma de incluir estos conocimientos tradicionales a través de la experimentación, verificación y análisis; justamente, el presente proyecto generará información en un sistema acuapónico con lechuga y tilapia sobre la condición de la luna y la producción de lechuga.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la producción de lechuga de hoja (orejona) en un sistema acuapónico rústico

2.2. Objetivos específicos

Establecer en acuaponia rústica la producción de lechuga y tilapia.

Comparar el peso seco de lechugas plantadas en diferentes fases lunares.

Generar información sobre la condición de la luna en la producción de lechuga orejona en un sistema acuapónico.

III.HIPÓTESIS

Las lechugas sembradas en luna llena lograrán un mayor rendimiento en peso seco.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Acuaponia

La acuaponia proporciona respuestas a algunos de los problemas relacionados con la agricultura y el manejo de los recursos naturales. Donde se combina las dos prácticas bien establecidas de la acuicultura y la hidroponía para producir alimentos de forma sustentable al reducir el uso de los recursos hídricos, evitar el uso del suelo y producir buenos rendimientos de alimentos frescos y nutritivos en forma de verduras, frutas, hierbas y pescado (Fernández-Juárez *et al.*, 2019).

4.2. Trabajos en acuaponia

Fernández-Juárez *et al.* (2019) diseñó y probó la funcionalidad de un sistema de producción acuapónico a pequeña escala para la producción de tilapia nilótica y lechugas. El sistema rústico resultó más eficiente para la producción de peces, aunque también se logró producir verduras de hoja en menor medida, debido principalmente a limitaciones relacionadas con la calidad del agua.

Ramírez *et al.* (2011) evaluaron el crecimiento y parámetros productivos del orégano en sistemas acuapónicos e hidropónicos a modo de cama flotante, así mismo el crecimiento y parámetros productivos de la carpa común en sistemas acuapónicos. El crecimiento presentado por las carpas (C.

Carpio) fue lento y los parámetros productivos no presentaron un buen desempeño. Mientras que en el desempeño productivo del orégano en los sistemas acuapónicos e hidropónicos no se encontraron diferencias significativas en cuanto a el crecimiento en altura de las plantas. Para la variable de peso seco tanto de la parte aérea como radicular al momento de la cosecha, se obtuvieron mejores resultados en el sistema acuapónico en comparación con el hidropónico.

Delgado et al. (2019) evaluó la producción de dos sistemas acuapónicos para el desarrollo sostenible de las zonas rurales de Manabí. Un sistema de raíz flotante en una proporción 2:1 (dos plantas por pez), para el cual se cultivaron 60 plantas de lechuga (*Lactuca sativa L*) y 30 tilapias (*Oreochromis sp*). El segundo sistema fue de capa de nutrientes (NFT), con una proporción de 1:1, donde se cultivó lechuga y apio (*Apium graveolens*) (15 plantas de cada especie) y 30 tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Y menciona que los sistemas acuapónicos constituyen una práctica de producción sostenible, siendo el de raíz flotante el sistema con mejores resultados.

Hernández-Vergara (2018) evaluó la producción acuapónica de tres hortalizas en sistemas asociados al cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Y concluye que la acuaponia es una alternativa para la producción de alimentos, que permite el aprovechamiento de los derivados metabólicos de los organismos acuáticos en condiciones de cultivo para el crecimiento de plantas comestibles.

Moreno y Zafra (2015). Determinaron el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa L*) con efluentes de cultivo de tilapia. La investigación se realizó en un sistema acuapónico usando la técnica de solución nutritiva recirculante (NFT). Se evaluaron dos tratamientos; T1: agua enriquecida con 50 individuos de tilapia roja (*Oreochromis sp*) y T2: agua enriquecida con 25 individuos de tilapia roja, registrando datos de longitud de hoja y longitud de raíz de lechugas y concluye que se obtuvo un mayor crecimiento de las lechugas (*Lactuca sativa L*) en el T1.

Ramirez et al. (2009) Evaluó el crecimiento de peces goldfish (*Carrasius auratus*) y plantas de lechuga (*Latuca sativa L*) y el comportamiento de algunos de los parámetros fisicoquímicos principales que involucran los sistemas acuapónicos, No se controló el Ph, ni los niveles de los diferentes macros y micro nutrientes. En términos generales, el crecimiento de los peces fue bajo y lento, con un porcentaje de supervivencia de 80%. El crecimiento de las lechugas fue menor en comparación de lechugas sembradas en un sistema hidropónico.

Juarez (2016) evaluó los parámetros biológicos de la tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) mediante la implementación de un sistema acuaponico Y lo comparó con un sistema convencional durante 120 días experimentales el tratamiento representado por el sistema acuapónico arrojó los mejores resultados en comparación con el tratamiento del sistema convencional al obtener diferencias significativas con respecto al peso ganado y talla.

4.3. Diseño del sistema de recirculación acuapónico

Los elementos esenciales de un sistema acuapónico son: Un tanque para mantener los peces, Un clarificador para remover las partículas originadas a partir de los desechos de los peces, las algas y la comida no consumida. El clarificador puede ser un tanque de sedimentación o algún tipo de filtro de selección para que las raíces de las plantas se protejan del acúmulo de los desechos orgánicos. Un biofiltro para convertir el amonio tóxico liberado por los peces en nitrato. Tres cosas son necesarias para la óptima operación de un biofiltro: bacterias nitrificantes, un sustrato para que las bacterias se adhieran (arena, grava, plásticos, etc.) y oxígeno. Un componente hidropónico y un sumidero, donde el agua pueda ser recolectada para que sea recirculada de nuevo hacia el tanque de cultivo de peces (Muñoz, 2012).

Magallón- Barajas (2018) evaluó la producción semi-intensiva de tilapia (*O. niloticus*) y lechuga acropolis (*Lactuca sativa L*) en dos sistemas acuapónicos, uno con biofiltración (SCB), y otro con recambio de agua (SRA). La tilapia registró un mayor crecimiento promedio en el SCB. La lechuga presento mejor crecimiento en el SRA.

Juarez (2016) Obtuvo mejores resultados en cuanto a la producción de vegetales dentro de dos tipos de sistemas acuapónicos, el de cama con sustratos mostró los mejores resultados debido a que se produjo 1.384 kg de tomate y 0.443 kg de chile. Por otra parte en el sistema NFT únicamente se

obtuvo 0.160 kg de acelga y menciona la viabilidad económica si se implementa sistemas acuapónicos en cama con sustratos debido a que obtuvo mayor producción con una menor inversión

4.4. El agua en acuaponia

Fernández-Juárez *et al.* (2019) En un sistema acuapónico utilizó agua de lluvia, la cual presentaba un pH de 7.5 y una conductividad eléctrica de 52 mS cm⁻¹.

4.4.1. Parámetros del agua en la acuaponia

Ramírez *et al.* (2011) en un sistema acuapónico midió tres veces por semana el pH y semanalmente temperatura, oxígeno disuelto, amonio, nitrito, nitrato, dureza general y dureza de carbonatos.

Delgado *et al.* (2019) En un sistema acuapónico realizó análisis de los siguientes parámetros físicos del agua: Turbidez, oxígeno disuelto (OD) y color; y los parámetros químicos: pH, nitritos (NO₂⁻), nitratos (NO₃⁻), fosfatos (PO₄³⁻), amonio (NH₄⁺), calcio (Ca), y dureza de carbonato (KH); los cuales se determinaron diariamente durante dos meses. Los resultados fueron promediados semanalmente. Obteniendo niveles adecuados para el desarrollo de los alimentos a producir (turbidez, color, pH, nitratos, amonio, calcio y dureza de carbonato); el oxígeno disuelto, nitritos y fosfatos presentaron niveles fuera de los rangos óptimos; sin embargo, se logró la supervivencia del 100% de los productos cultivados.

Ramirez *et al.* (2009) Midió en un sistema acuapónico con lechuga y golfish semanalmente algunos parámetros fisicoquímicos. El amonio, nitritos, nitratos, pH y temperaturas. Estas mediciones se realizaron entre 11:00 y las 12:00 pm.

Juarez (2016) Midió Los parámetros fisicoquímicos quincenalmente considerando las variables: oxígeno disuelto, temperatura, pH, amonio, nitritos y nitratos. El pH se mantuvo cercano a la neutralidad presentando valores de 7.2 - 8 para el sistema acuapónico. las concentraciones de amoniaco (NH_3) en el sistema acuapónico obtuvo un valor máximo de 3 mg L^{-1} en los días 90 y 105 del experimento. La cantidad de Nitritos (NO_2^- mg L^{-1}), la mayor concentración en el sistema acuapónico fue de 3.6 mg L^{-1} , mientras que la menor concentración fue de 0.1 mg L^{-1} . los Nitratos (NO_3^- mg L^{-1}) en el sistema acuapónico las mayores concentraciones se obtuvieron a partir del día 90 y se mantuvo en incremento hasta el final del experimento con un valor de 100 mg L^{-1} , el valor mínimo registrado fue de 0.5 mg L^{-1} .

En la acuaponia es necesario equilibrar un sistema compuesto de tres grupos de organismos: Peces, plantas y bacterias. Los rangos de tolerancia son relativamente parecidos para los tres organismos, pero existe la necesidad de llegar a un punto intermedio por lo que algunos organismos no estarán a su nivel óptimo (Somerville *et al.*, 2022) y estos valores se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Rangos de parámetros esperados para los organismos en acuaponia

Parámetros	Rango	Cita
PH	6-7	Somerville <i>et al.</i> (2022)
Ce (mS cm ⁻¹)	0.8-1.8	Brenes y Jimenez (2014)
TDS (mg L ⁻¹)	<100 (Peces) <450 (Plantas)	Coronel (2014)
Temperatura °C	18-30	Somerville <i>et al.</i> (2022)
Amonio Total NH ₃ / NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	0, <2	Somerville <i>et al.</i> (2022), Coronel (2014)
Nitritos NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	<1	Somerville <i>et al.</i> (2022)
Nitratos NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	5 - 150	Somerville <i>et al.</i> (2022)
Fosfatos PO ₃ ⁻⁴ (mg L ⁻¹)	0.15-0.2, <1	Saavedra (2006), Coronel (2014)

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Lechuga en acuaponia

Fernández - Juárez *et al.* (2019) observó que el efluente generado por el estanque destinado a la producción de tilapias pudo abastecer de nutrientes al cultivo de lechugas, logrando cabezas de entre 200 y 250 g en peso fresco.

Magallón- Barajas (2018) encontró que en un sistema acuaponico con recambio de agua, las lechugas mostrarón un peso de 11.74 ± 1.63 g ($P < 0.05$). El tiempo de cultivo de la lechuga fue de 30 días.

Ramirez *et al.* (2009) encontró que el crecimiento en peso seco de las lechugas fue bajo en un sistema acuapónico comparado con un sistema hidropónico Cuadro (2), probablemente por efectos ocasionados por la disponibilidad de nutrientes y su interacción con el Ph, esto también se vio reflejado en el bajo crecimiento de las raíces.

Cuadro 2. Analisis del peso seco de follaje y raices

	Follaje (g)	Raices (g)
Acuaponico 1	85.85 ± 3.45	7.78 ± 2.45
Acuaponico 2	68.55 ± 4.84	6.14 ± 1.12
Hidroponico 1	523.22 ± 2.44	25.31 ± 2.56
Hidroponico 2	301.82 ± 1.33	20.8 ± 1.22

Fuente: Ramirez *et al.*, 2009.

Mendes *et al.* (2021) evaluó el comportamiento de cultivares de lechuga de los grupos de lechugas moradas, americanas, lisas y crujientes en acuaponia y menciona que en acuaponia existe una diferencia significativa entre los cultivares de lechuga.

4.6. Tilapia en acuaponia

Fernández - Juárez *et al.* (2019) obtuvo cosecha de tilapias a los seis meses después de establecido el ensayo, con pesos promedio de 350 a 450 g cada una. Fueron sembradas a los 30 días de edad, establecidas en un estanque a cielo abierto, a una densidad de 50 a 100 tilapias por metro cúbico de agua. utilizó tres fuentes de alimento comercial para tilapia dependiendo de la fase de su crecimiento.

Magallon-Barajas (2018) encontró que las tilapias en un sistema acuaponico con biofiltración mostraron un peso final de 364.64 ± 43.16 g ($P < 0.05$). El tiempo de cultivo para la tilapia fue de 160 días.

Campos-Pulido *et al.* (2021) evaluó un sistema acuapónico como modelo de diversificación de alimentos, Cultivó perejil (*Petroselinum crispum*), chile serrano (*Capsicum annum*) y chile de ornato (*Capsicum sp*). Además, de tilapia blanca variedad Rocky mountain (*Oreochromis niloticus x O. aureus*). La tilapia tuvo una ganancia de peso de 206 g en 120 días y sobrevivencia de 91 %. Los resultados indicaron que el efluente derivado fue muy salino.

Juarez (2016) realizó un bioensayo en un sistema acuapónico menciona que fue exitoso debido a que los peces cultivados con el sistema acuapónico obtuvieron un peso promedio final de 100.2 g y una talla de 18.03 cm, en comparación con un sistema convencional el cual registró 87.82

g en peso promedio y una talla de 17.24 cm, presentando estadísticamente diferencias significativas $P < 0.05$

4.7. Influencia de la luna en agricultura

Mera *et al.* (2017) escribe que las fases lunares influyen en gran porcentaje en la agricultura. Según saberes ancestrales, cada fase lunar es de relevancia para diferentes ámbitos como el suelo, cosecha, podas, siembra, plagas, etcétera, siendo la luna llena y luna nueva las que se consideran más útiles para que los cultivos tengan una mejor productividad.

4.7.1. Antecedentes de la influencia de la luna en lechuga

De acuerdo con Romero (2013), se encontró una relación directa entre las fases lunares y algunos atributos del crecimiento y rendimiento de algunas hortalizas. La relación más clara entre fases lunares - crecimiento- rendimiento, se identificó por la sensibilidad de las especies al fotoperiodo. Las especies de día largo como la lechuga, rábano y cilantro favorecen su crecimiento y rendimiento, cuando fueron sembradas en cuarto creciente, y las especies de día corto como el frijol, cuando se sembraron en cuarto menguante.

Resultados de Franco (2014) indican que el crecimiento de las lechugas sembradas en cuarto menguante, desarrollan en menor tiempo que las sembradas en cuarto creciente.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. localización del sitio experimental

La presente investigación se realizó en el municipio de Tlapacoyan ubicado en la zona centro del estado de Veracruz (Figura 1). Sus coordenadas geográficas son los paralelos $19^{\circ} 56'$ y $20^{\circ} 08'$ de latitud norte y los meridianos $97^{\circ} 05'$ y $97^{\circ} 16'$ de longitud oeste (Sefiplan, 2021)

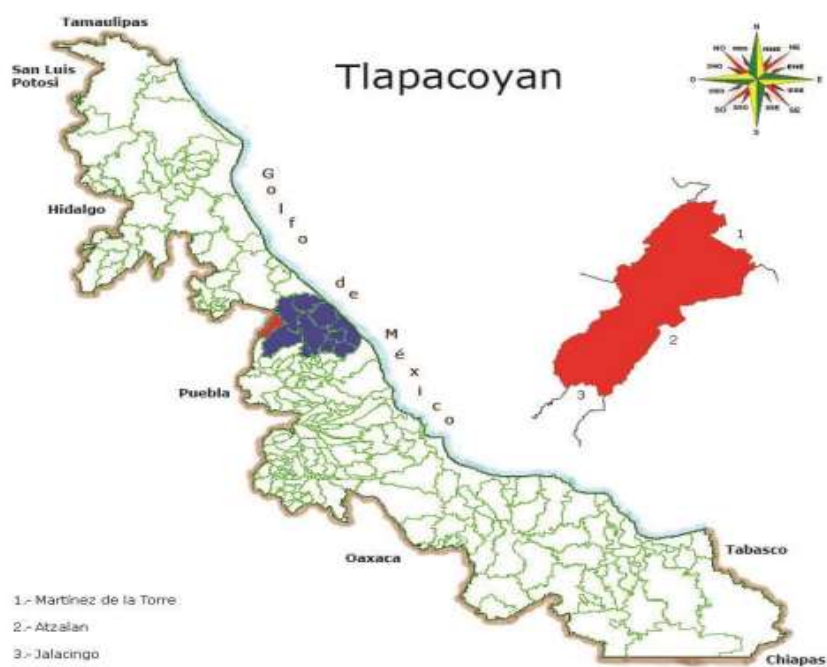


Figura 1. Municipio de Tlapacoyan, Veracruz.

5.2. Material biológico

Se utilizaron semillas de lechuga de hoja larga llamada orejona adquirida a granel. Esta lechuga produce una planta mediana muy abultada con la cabeza expuesta y color verde oscuro. Su tiempo de madurez es aproximadamente a los 85 días.

Se utilizaron tilapias (*Oreochromis niloticus*) con un peso promedio de 15.5 g y longitud promedio de 8.7 cm.

Características del sistema acuapónico

Se tomó como referencia las cifras y proporciones clave para el diseño de unidades de camas de cultivo con sustrato a pequeña escala, NFT, CAP a pequeña escala (Cuadro 3) propuestos por Somerville *et al.* (2022).

Cuadro 3. Guía práctica de diseño de sistemas para unidades acuapónicas a pequeña escala

Volumen de tanque de peces (Lts)	Max biomasa de peces ¹ (Kg)	Tasa de alimentación ² (g día ⁻¹)	Flujo de bomba (L H ⁻¹)	Volumen de filtro ³ (Lts)	Volumen mínimo de un biofiltro de sustrato ⁴ (lts)		Área de cultivo de las plantas ⁵ (M ²)
					Grava volcánica	Biobolas	
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1200	20-50	100	50	2
1000	20	200	2000	100-200	200	100	4

Fuente: (Somerville *et al.*, 2022) Notas: 1. La densidad de peces recomendada se basa en una densidad de población máxima de 20 kg m³. Es posible alcanzar densidades mayores con una mayor aireación y filtración mecánica, pero no se recomienda para principiantes. 2. La tasa de alimentación recomendada es del 1% del peso corporal al día para los peces de más de 100 g de masa corporal. La proporción de alimentación es: 40-50 g m² para las hortalizas de hoja verde; y 50-80 g m² para las hortalizas de fruto. 3. Los volúmenes para el separador mecánico y el biofiltro deben ser del 10 al 30% del volumen total del tanque de peces. En realidad, la elección de los

contenedores depende de su tamaño, costo y disponibilidad. Los biofiltros sólo son necesarios para las unidades NFT y CAP, los separadores mecánicos son aplicables para las unidades NFT, CAP y las unidades camas de cultivo con sustrato con una densidad de peces superior a 20 kg m³. 4. Estas cifras suponen que las bacterias están en condiciones óptimas todo el tiempo. Se proporcionan valores diferentes para los dos medios de biofiltración más comunes en función de su respectiva superficie específica. 5. Las cifras relativas al espacio de cultivo de las plantas incluyen sólo las hortalizas de hoja. Las hortalizas de fruto tendrían una superficie ligeramente inferior.

El sistema acuapónico (Figura 2) tiene un área total de 3 m², Para la producción de tilapias se utilizaron 2 recipientes de plástico con un volumen de 100 litros, conectados a un filtro sedimentador con volumen de 18 litros, un filtro mecánico de 18 litros con mallas plásticas en su interior y un recipiente con volumen de 200 litros que funciona como biofiltro con taparrosas plásticas para el alojamiento de las bacterias. Para la aireación del biofiltro se utilizó una bomba de aire para acuario de 200 litros. En la recirculación se utilizó una bomba sumergible de 800 l h⁻¹ para un flujo continuo. En el componente hidropónico se utilizó tubería pvc de 4 pulgadas, con orificios de 5 cm de diámetro y 15 cm de separación entre orificios, para un total de 40 plantas.

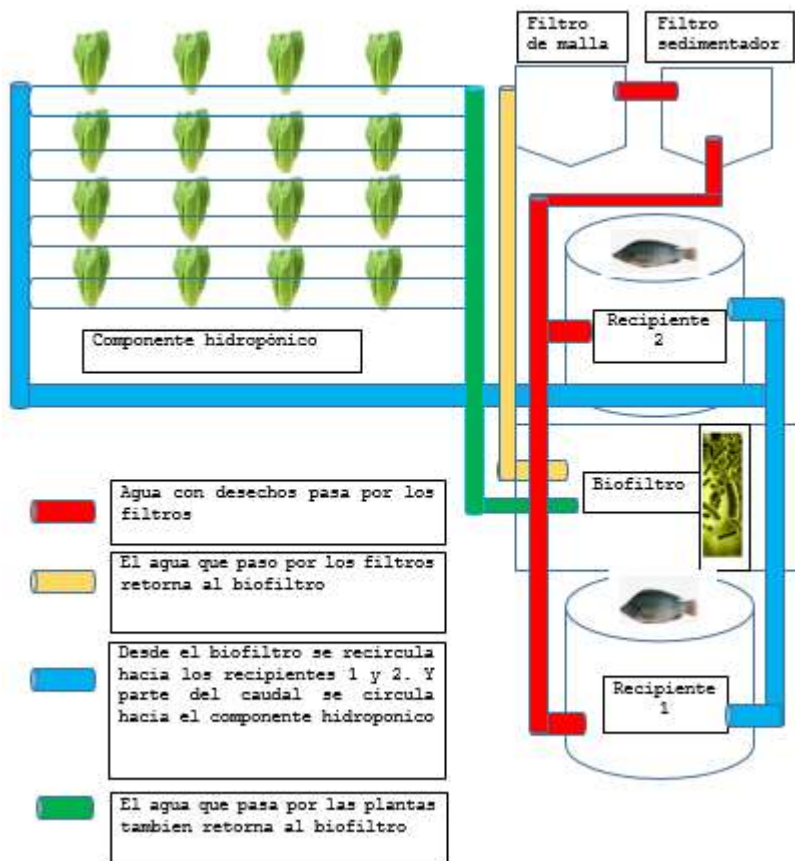


Figura 2. Esquema de módulo acuapónico (Elaboración propia)

5.3. Toma de parámetros del agua

Ph, Tds, Ce y temperatura: se realizó la toma de datos de estos parámetros semanalmente desde el inicio de recirculación hasta el final del ensayo, se realizó con el medidor sper scientific 850081.

Amonio $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, Nitritos NO_2^- , Nitratos NO_3^- Y fosfatos PO_4^{3-} : estos parámetros se midieron semanalmente desde el inicio de recirculación hasta el final del ensayo y se realizaron mediante un kit de prueba de la marca Api®

5.4. Fase 1. Lechuga en semillero

Se utilizaron charolas de germinación de plástico color negro con capacidad para 96 plántulas.

Previamente al llenado de la charola de germinación se realizó un cepillado con una solución de 900 mL de agua y 400 mL de vinagre comercial, se enjuagó con agua a chorro; después se atomizó toda la charola con la solución de vinagre, finalmente se realizó el secado.

El sustrato que se utilizó fue una mezcla homogeneizada de 50% arena de río Y 50% hojarasca seca. Se desinfecto el sustrato por medio de solarización durante seis días dentro de bolsa de polietileno donde la altura de la cama de solarización fue inferior a 10 cm, la bolsa se volteo diariamente para homogeneizar la entrada de radiación, posteriormente se realizó el llenado de charolas con el sustrato. Se sembraron las semillas de lechuga en cada una de las cuatro fases lunares secuenciales.

5.5. Fase 2. Lechuga en sistema acuapónico

Debido a la pérdida de la mayoría de las plantas que fueron trasplantadas al sistema acuapónico con planta obtenida desde semillero, se realizó la continuación del experimento con plántula comprada. Se escogieron las plántulas con un promedio de 4 hojas.

El trasplante se realizó en la fase lunar que correspondió a cada tratamiento. Como soporte para las plantas se utilizaron vasos de plástico con 30 perforaciones de 0.5 cm de diámetro cada una, en los cuales se agregó un volumen de 150 mL de tezontle, el tamaño aproximado del tezontle fue de 6 mm.

5.6. Cultivo de tilapia

Se sembraron 8 tilapias (*Oreochromis niloticus*), lo que representa una densidad de 20 kg m³, se ofreció alimento para peces adquirido a granel con un bajo porcentaje de proteína 25% - 35%, la ración fue dada ad libitum, en la mañana y en la tarde, tratando de no sobrepasar la tasa de alimentación de 40- 50 g dia⁻¹. El alimento no consumido en un lapso de 30 minutos fue retirado para evitar la acumulación de desechos.

5.7. Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar. Se establecieron cuatro tratamientos y diez repeticiones. Cada repetición consistió en una planta. Los datos registrados se capturaron a una hoja de Excel; después, se exportaron dichos datos al programa IBM* SPSS Statistics versión 22, ahí se corrió el análisis estadístico para cada variable en diseño completamente al azar con 10 repeticiones. Variables con diferencias significativas se practicará una prueba de separación de medias por Tukey (P<0.05)

5.8. Tratamientos

Los tratamientos que fueron evaluados son los que se presentan en el siguiente cuadro 4.

Cuadro 4. Tratamientos que se aplicarán para determinar la producción de lechuga en sistema acuapónico.

Tratamiento	Descripción	Vivero	Trasplante
1	Luna llena	16/febrero	10/septiembre
2	Luna menguante	23/febrero	18/agosto
3	Luna nueva	2/marzo	27/agosto
4	Luna creciente	10/marzo	3/septiembre

5.9. Variables de respuesta

5.9.1 Fase 1. Al final de etapa semillero

Altura de planta

La altura de planta fue medida desde el cuello de la planta hasta el extremo superior de la planta, expresada en cm. Se realizó a los 45 días después de la siembra.

Longitud de raíz

La longitud de raíz se realizó con ayuda de una regla graduada y fue expresada en cm. Se midió a los 45 días después de la siembra.

Peso seco total

Se tomaron datos del peso seco total de manera individual, para todas las repeticiones de cada tratamiento y fue expresado en gramos. Se tomaron las plantas a los 45 días después de la siembra. El proceso de secado se realizó en una estufa de secado durante 72 horas a una temperatura de 60°C.

Temperatura y humedad relativa

Estos datos fueron registrados diariamente durante el desarrollo de las plantas, se obtuvieron con el aparato digital portátil de la marca Elitech Rc-51h.

5.9.2. Fase 2. A la cosecha**Altura de planta**

La altura de planta fue medida desde el cuello de la planta hasta el extremo superior de la planta, expresada en cm. Se tomaron datos transcurridos 28 días después del trasplante.

Longitud de raíz

La longitud de raíz se realizó con ayuda de una regla graduada y fue expresada en cm. Se tomaron datos transcurridos 28 días después del trasplante.

Peso seco total

Se tomaron datos del peso seco total de manera individual, para todas las repeticiones de cada tratamiento y fue expresado en gramos. Se tomaron las plantas transcurridos 28 días después del trasplante. El proceso de secado se realizó en una estufa de secado durante 72 horas a una temperatura de 60°C

Peso seco de Hojas

Se tomaron datos del peso seco de las hojas de manera individual para todas las repeticiones de cada tratamiento. Fue expresado en gramos.

Peso seco de raíz

Se tomaron datos del peso seco de la raíz de manera individual para todas las repeticiones de cada tratamiento. Fue expresado en gramos.

Temperatura y humedad relativa

Estos datos fueron registrados diariamente, durante el desarrollo de las plantas, se obtuvieron con el aparato digital portátil de la marca Elitech Rc-51H.

5.10. Peso promedio inicial y final de tilapias

Se tomaron los pesos iniciales y finales, fueron expresados en gramos, se utilizó una báscula digital. Se reportaron resultados con estadística descriptiva.

5.11. Longitud promedio inicial y final de tilapias

Con una regla graduada se obtuvo la longitud inicial y final de las tilapias, se expresó en cm. Se reportaron resultados con estadística descriptiva.

VI.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Fase 1. Al final de etapa semillero

6.1.1. Altura de planta

El análisis estadístico muestra que entre tratamientos hay significancia estadística, donde el tratamiento de luna creciente fue el que presentó mayor altura de planta con 18.72 cm en comparación con el tratamiento de luna llena que fue el de menor altura promedio (Cuadro 5), estos resultados no concuerdan con lo encontrado por Aduato *et al.* (2022), quien al determinar el efecto de las fases lunares en la siembra, trasplante y producción de lechuga (*Lactuca Sativa L*) obtuvo mejores resultados para altura de planta en la fase de luna llena ocupando el primer lugar superando significativamente a la fase luna creciente que ocupó el segundo lugar. De acuerdo con Romero (2013) la relación más clara entre fases lunares - crecimiento- rendimiento, se identificó por la sensibilidad de las especies al fotoperiodo. Las especies de día largo como la lechuga favorece su crecimiento y rendimiento, cuando fue sembrada en cuarto creciente.

Cuadro 5. Comparación de medias para altura de planta en etapa de semillero

Fase lunar	N	Subconjunto		
		1	2	3
Llena	10	13.45b		
Menguante	10	15.10ab	15.10ab	
Nueva	10		16.85ab	16.85ab
Creciente	10			18.72a
Sig.		.203	.162	.122

Medidas con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.5$).

6.1.2. Longitud de raíz

En cuanto a la variable de longitud de raíz en semillero no se mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Encontrándose un rango entre tratamientos de 8.9 cm a 9.5 cm. En el trabajo realizado por Romero (2013) el tratamiento CC fue diferente significativamente del tratamiento CM para esta variable. Estas longitudes se acercan a resultados de Salusso *et al.* (2015) quien encontró diferencias estadísticas en la calidad de las plántulas de lechuga en relación con el volumen de celda de las bandejas de germinación, obteniendo longitudes de raíz 9.93 cm en

celdas de 13 cm³ (200 celdas bandeja⁻¹ y 10.15 cm en celdas de 24 cm³ (128 celdas bandeja⁻¹).

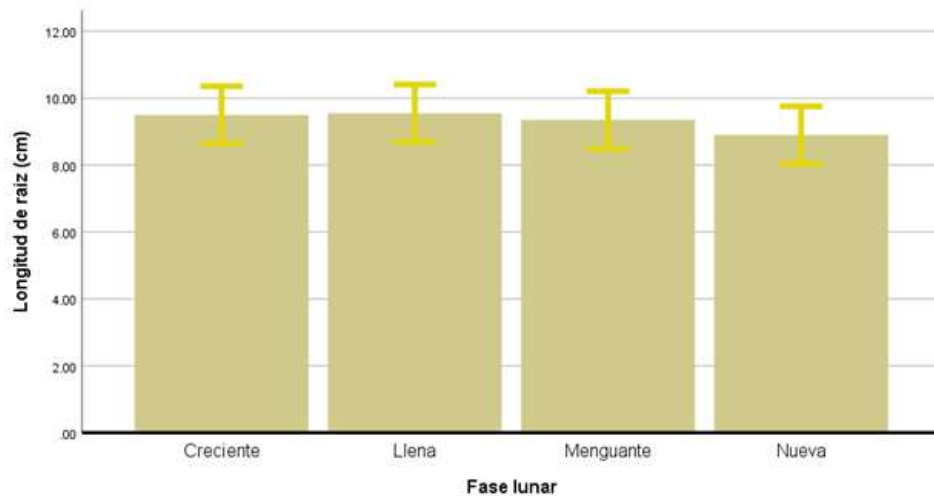


Figura 3. Valores de longitud de raíz en etapa de semillero

6.1.3. Peso seco total

Para el peso seco total en semillero no se encontró diferencias significativas, obteniendo en luna menguante el menor peso promedio con 0.05040 gr, seguido de luna llena con 0.0606 gr, luna nueva con 0.07584 gr y finalmente luna creciente con 0.07862 gr. No se encuentra una concordancia con Romero (2013) donde su trabajo presento diferencias significativas para peso seco total de la planta destacando el tratamiento de CC. Salusso *et al.* (2015) encontró diferencias estadísticas en la calidad de las plántulas de lechuga en relación con el volumen de celda de las bandejas

de germinación, obteniendo mejores resultados para peso seco total al utilizar bandejas con celdas de mayor volumen. Ramirez *et al.* (2009) encontró un bajo crecimiento en peso seco de las lechugas sembradas en un sistema acuapónico en comparación con un sistema hidropónico y destaca como factores la disponibilidad de nutrientes y su interacción con el pH, que también se vio reflejado en el bajo crecimiento de las raíces.

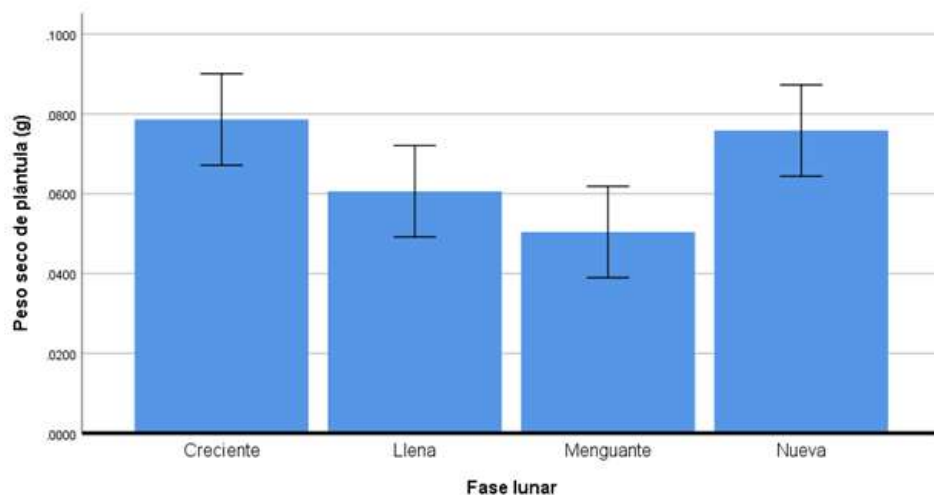


Figura 4. Valores de pesos secos total en etapa de semillero

6.1.4. Temperatura y humedad relativa en etapa semillero

Se registraron temperaturas promedios en un rango de 20.06 °C a 22.28 °C. Estos valores son adecuados en la etapa de semillero ya que los rangos óptimos de temperatura para la

germinación de la lechuga se encuentran en 18°C a 21°C, mientras que la temperatura óptima de crecimiento está entre 15 y 18°C, La mínima es de 12°C y la máxima entre 18 y 24 °C (Saavedra *et al.*, 2017).

Los valores registrados de humedad relativa se encontraron en un rango de 79.98% a 83.83 %, estos valores son cercanos a los valores de humedad máxima de 80% que González (2014) reporta como adecuado para el cultivo de lechuga.

Cuadro 6. Temperaturas y HR promedio durante etapa semillero

Tratamientos	Llena	Menguante	Nueva	Creciente
Fecha de inicio y final	16/feb/2022 01/abr/2022	23/Mar/2022 08/abr/2022	03/mar/2022 15/abr/2022	10/mar/2022 22/abr/2022
T (°C)	20.06	20.96	21.30	22.28
HR (%)	83.83	81.85	78.08	79.98

6.2. Fase 2. A la cosecha

6.2.1. Altura de planta

El análisis estadístico muestra que entre tratamientos hay significancia estadística, obteniendo el tratamiento de luna menguante la mayor altura promedio con 22.25 cm en comparación con el tratamiento de luna nueva con 14.5 cm de altura promedio. estos resultados no concuerdan con lo encontrado por Aduato (2022), quien al determinar el efecto de las fases lunares en la siembra, trasplante y producción de lechuga (*Lactuca Sativa L*) obtuvo mejores resultados para luna nueva en comparación con luna menguante. Mientras que Romero (2013) para altura de planta obtuvo diferencias significativas estadísticamente en la fase de CC alcanzando una altura promedio de 22 cm, presentando un mayor crecimiento en comparación de la fase de CM. De Grazia *et al.* (2001) mencionan a la radiación como un factor determinante en la tasa de crecimiento de la lechuga.

Cuadro 7. Comparación de medias para altura de planta para etapa de cosecha

Fase lunar	N	Subconjunto		
		1	2	3
Nueva	4	14.5000 b		
Llena	4	16.2500 ab	16.2500 ab	
Creciente	4	17.3750 ab		
Menguante	4			22.25 a
Sig.		.168	.501	1.000

Medidas con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.5$).

6.2.2. Longitud de raíz

No se encontraron diferencias significativas para longitud de raíz en cosecha entre tratamientos, se observa un rango de longitud promedio de raíz de 4.32 cm en luna nueva a 5.37 cm de longitud promedio que corresponde a luna creciente. Encontrando el mismo comportamiento observado en fase de semillero y no concordando de igual forma con lo expresado en el trabajo de Romero (2013).

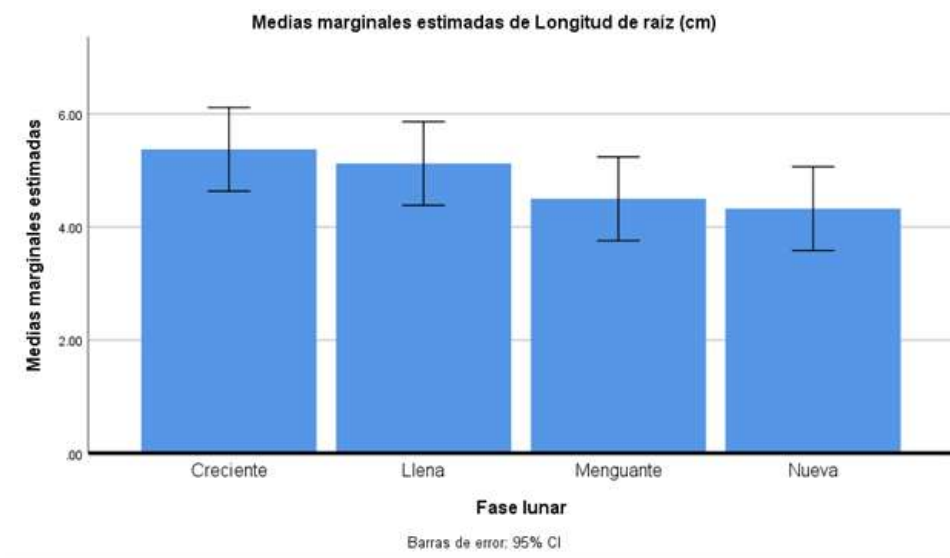


Figura 5. Valores de longitud de raíz para etapa de Cosecha

6.2.3. Peso seco total

Para el peso seco total de la planta en cosecha no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, presentando un rango de 0.0983 g a 0.110 g en CM. Siendo estos resultados similares a los obtenidos en peso seco total en semillero y no presentar concordancia a los resultados obtenidos por Romero (2013) quien destaca el tratamiento de CC en comparación de CM.

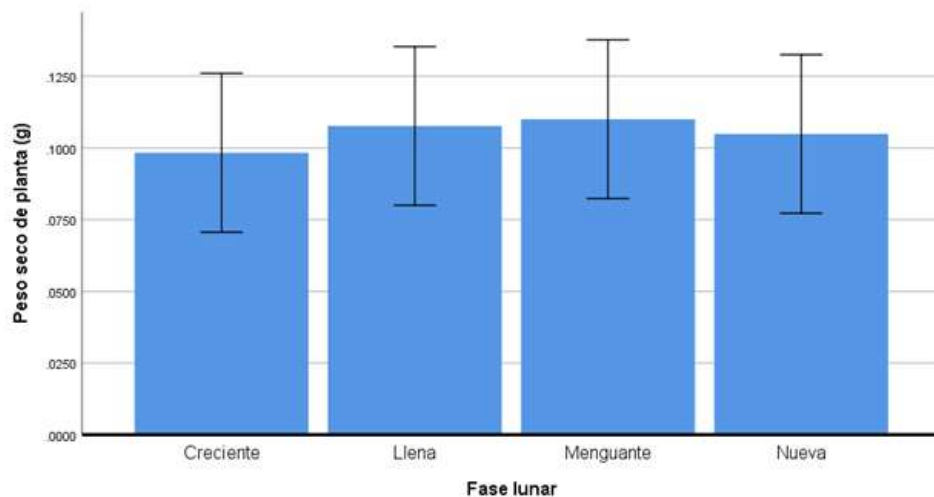


Figura 6. Valores de peso seco de plantas para etapa de cosecha

6.2.4. Peso seco de hojas

No se encontró significancia estadística para peso seco de hojas entre los tratamientos. Se obtuvo un rango de peso seco de hojas promedio de 0.0380 g en luna creciente a 0.0725 g en luna nueva. Estos resultados no concuerdan con lo encontrado con Romero (2013) quien sí encontró diferencias para peso seco de hojas entre luna en cuarto creciente y luna menguante.

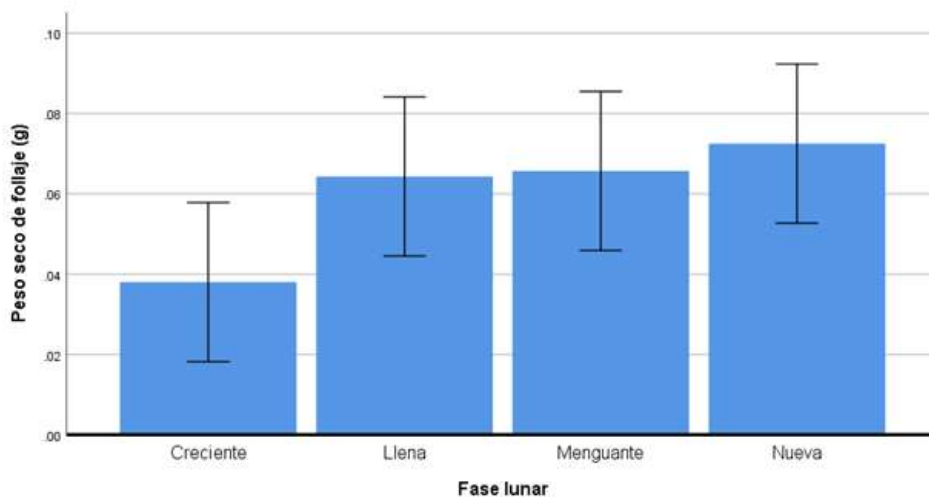


Figura 7. Valores de peso seco de follaje para etapa de cosecha

6.2.5. Peso seco de raíz

De acuerdo al análisis estadístico no se encontró diferencias significativas entre tratamientos. Los resultados muestran un rango promedio en peso de raíz de 0.0323 g en luna nueva y 0.0603 g en luna creciente. Estos resultados son diferentes a los encontrados por Romero (2013), mostrando mejores resultados luna en cuarto creciente en comparación con luna menguante.

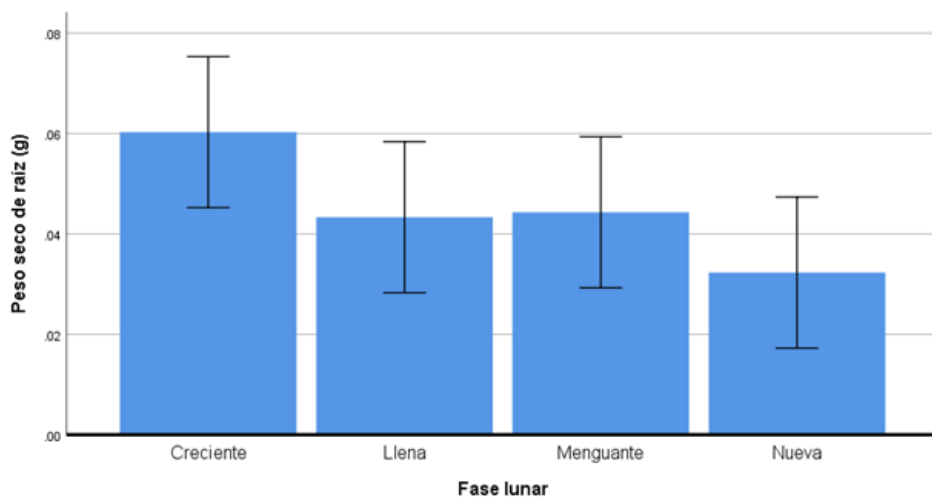


Figura 8. Valores de peso seco de raíz para etapa de cosecha

6.2.6. Temperatura y humedad relativa

Se obtuvieron los valores promedios de temperatura en un rango de 22.1 °C a 24.56 siendo los datos tomados durante los meses agosto, septiembre y octubre. Estos valores de temperatura se encuentran levemente por encima de los valores adecuados para la especie, siendo la temperatura óptima para una tasa de crecimiento normal en un rango de 10 °C a 23°C en el periodo de trasplante a cosecha (Saavedra *et al.*, 2017).

Mientras que los rangos promedio para humedad relativa fue de 89.19 % a 93 % siendo tomados en los meses de agosto a octubre, siendo estos valores mayores a los observados en etapa de semillero y de igual forma superiores a los valores recomendados por González (2014).

Cuadro 8. Temperaturas y HR promedio para etapa de cosecha

Tratamiento	Llena	Menguante	Nueva	Creciente
Fecha de inicio y final	10/sep/2022 9/oct/2022	18/ago/2022 17/sep/2022	27/ago/2022 25/sep/2022	03/sep/2022 02/oct/2022
T (°C)	22.91	24.56	23.96	23.16
HR %	90.96	89.19	92.00	93.31

6.3. Peso promedio inicial y final de tilapia

El peso promedio inicial de las tilapias fue de 15.55 gramos y en un tiempo de 90 días de cultivo alcanzaron finalmente un peso promedio de 35 gramos. Estos valores no se acercan a los valores obtenidos por Juárez (2016) quien en un sistema acuapónico inicio con un peso promedio de 7.1 g y obtuvo una ganancia de peso a los 90 días de 86.4 g. De acuerdo a Saavedra (2006) el crecimiento de la tilapia esta relacionada con factores como la densidad de peces sembrados, parámetros fisicoquímicos del agua y la cantidad de alimento suministrado.

6.4. Longitud promedio inicial y final de tilapia

La longitud promedio inicial fue 8.7 cm y alcanzando finalmente en un tiempo de 90 días de cultivo hasta los 11.58 cm. Estos valores son menores a los reportados por Juárez (2016), iniciando con una talla promedio de 7.8 cm y llegando a una talla de 17.3 cm a los 90 días del ensayo.

6.5. Parámetros del agua

Analizando los parámetros del agua se puede observar que el parámetro pH obtuvo valores altos al inicio del ensayo de 7.67 y posteriormente fue descendiendo hasta el fin del ensayo a 7.0. Estos valores son similares a lo observados por Juárez (2016) quien obtuvo un pH cercano a la neutralidad con valores de 7.2 a 8 en un sistema acuaponico y también similares a los de Delgado *et al.* (2019) que se encontraron en un rango de 6.8 a 7. Nelson (2007) menciona que un pH de 7 garantiza el buen funcionamiento del sistema para promover la nitrificación.

El parámetro de total de sólidos disueltos (TDS) obtuvo sus mayores valores en un rango de 112 a 115 mg L⁻¹ en los meses de julio y agosto, de igual forma este valor bajo en los últimos meses del ensayo y alcanzando el valor mínimo de 69 mg L⁻¹. De acuerdo con Coronel (2014) los sólidos disueltos totales (TDS) son principalmente sales inorgánicas en suspensión que se encuentra en el agua, un elevado número de sólidos disueltos inciden principalmente sobre las branquias de los peces y pueden causar lesiones que pueden favorecer enfermedades, mientras que en los cultivos se reduce la absorción por parte de las raíces, por lo que un valor menor o igual a 100 mg L⁻¹ es óptimo para el cultivo de tilapia y menor a 450 mg L⁻¹ es ideal para evitar una reducción en el rendimiento del cultivo.

El valor máximo de temperatura del agua fue de 26 °C mientras que el valor mínimo fue de 22°C, Juárez (2016) presentó temperaturas mínimas de 28 °C y máximas de 30°C. De acuerdo con Saavedra (2006) la temperatura adecuada para el desarrollo de la tilapia se encuentra entre 25°C Y 32°C.

La conductividad eléctrica obtuvo valores estables durante el ensayo siendo el valor más alto de 0.173 mS cm⁻¹ y el valor mínimo alcanzado de 0.099 mS cm⁻¹ para el final del ensayo. Estos valores no son adecuados según a lo ideal recomendado por Brenes y Jimenez (2014) que recomienda valores de 0.8 a 1.5 mS cm⁻¹ para hortalizas de hojas en soluciones nutritivas.

El parámetro de amonio obtuvo un crecimiento en los primeros días siendo el mayor valor de 0.25 mg L⁻¹, posteriormente se mantuvo estable y presentando niveles de 0 mg L⁻¹ que es óptimo en acuaponía de acuerdo a Somerville *et al.* (2022). Delgado *et al.* (2019) encontraron el amonio con un mínimo de 0.5 y un máximo de 1.5 mg L⁻¹, mientras que Juárez (2016) obtuvo valores en un rango de 0.6 a 3 mg L⁻¹. Y de acuerdo con Coronel (2014) valores mayores a 2 mg L⁻¹ serían letales para la tilapia.

Los valores de nitritos fueron de 0.25 mg L^{-1} al inicio del ensayo y manteniéndose la mayor parte en 0 mg L^{-1} . Mientras que los valores de nitratos alcanzaron sus valores máximos de 5 y 10 mg L^{-1} y observando que la mayor parte del ensayo se mantuvo de igual forma en 0 mg L^{-1} . Juárez (2016) obtuvo valores en un rango de 0.1 a 3.6 mg L^{-1} en nitritos y valores en un rango 0.5 a 100 mg L^{-1} en nitratos. Mientras que Delgado (2019) obtuvo rangos de 0 a 1.5 mg L^{-1} en nitritos y rangos de 2.33 a 12.5 mg L^{-1} en nitratos. Somerville *et al.* (2022) menciona que valores menores a 1 mg L^{-1} son ideales para nitritos, Mientras que valores en un rango de 5 a 150 mg L^{-1} son los adecuados para nitratos en acuaponía.

Los valores de fosfatos fueron menores al inicio del ensayo de 1 mg L^{-1} y alcanzado su valor más alto de 5 mg L^{-1} , estos valores se asemejan a los resultados de Delgado *et al.* (2019) encontrándose este parámetro en un rango de 0.6 a 5 mg L^{-1} . Saavedra (2006) menciona que valores en un rango de 0.15 a 0.2 son óptimos para el cultivo de tilapia, mientras que Coronel (2014) indica que valores menores o iguales a 1 mg L^{-1} son aceptables para esta especie.

Cuadro 9. Parámetros obtenidos del sistema acuapónico

Parametr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
pH	7.67	7.6	7.3	7.4	7.47	7.52	7.24	6.8	7.0
TDS									
PPM	77	88	112	112	115	115	69	79	72
Temp									
AGUA	25.7	26	24.8	24.8	25.5	25.7	23.8	22.9	22
C.E				0.16				0.11	0.09
(mS)	0.117	0.13	0.16	7	0.173	0.15	0.105	7	9
NH ₃ /NH ₄									
+									
mg L ⁻¹	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0
NO ₂ ⁻									
mg L ⁻¹	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0
NO ₃ ⁻									
mg L ⁻¹	0	0	10	5	0	0	0	0	5
PO ₄ ³⁻									
Mg L ⁻¹	1	2	2	3	5	2	5	5	3
Fecha	06/Ju n	13/Ju n	31/ju l	7/ag o	14/ag o	28/ag o	21/se p	3/oc t	5/oc t

VII. CONCLUSIÓN

Se obtuvieron diferencias significativas para las variables de altura de planta tanto en fase de semillero como en la fase de cosecha.

No se encontraron diferencias significativas para las demas variables de longitud de raiz y peso seco total en la fase de semillero, de igual forma para las variables de longitud de raiz, peso seco total, peso seco de follaje y peso seco de raiz para la fase de cosecha.

La tilapia no obtuvo un buen desarrollo durante el ensayo, mostrando valores bajos para longitud promedio y peso promedio final.

Los parámetros ph y temperatura del agua se encontraron dentro de los rangos optimos, mientras que Tds y Ce presentaron valores por debajo de lo recomendable para el cultivo de hortalizas de hojas. El amonio y los nitritos obtuvieron valores dentro de lo aceptable para el cultivo de tilapia.

Los nitratos no obtuvieron valores dentro del rango óptimo para los sistemas acuapónicos, afectando principalmente el desarrollo de la lechuga, Mientras que los fosfatos presentaron valores por encima de los valores aceptables.

VIII. LITERATURA CITADA

- Adauto M. Z., H. Mancilla B. y J. Concha S. 2022. Efecto de las fases lunares en la siembra, trasplante y producción de la lechuga (*Lactuca sativa L*) orgánica en la E.E.A. El Mantaro de la UNCP. *Prospectiva Universitaria* 16(1): 43-48
- Aguilera-Morales M.E., F. Hernández-Sánchez., E. Mendieta-Sánchez., C. Herrera-Fuentes. 2012. Producción integral sustentable de alimentos. *Ra Ximhai* 8(3): 71-74.
- Arroyo-Padilla J. 2012. Acuaponía. *Tepalcates* tercera época. *Revista de divulgación científica y humanística para profesores y alumnos del CCH.* (1): 2-7.
- Borrero C., M. Martínez-Silva., A. Baigorri., L. Rico. 2013. Acuapónicos: Una alternativa productiva en el hogar. *FIATMAR Revista Marina* 3(1): 4-5
- Brenes P. L., M. F. Jiménez M. 2014. Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6581/manual-hidroponia-NFT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Revisado el 10 de noviembre 2022)
- Campos-Pulido R., A. Alonso-López., A. Asiain-Hoyos., R. Reta-Mendiola y D. Avalos-De la Cruz. 2021. La acuaponia, diversificación productiva sustentable. *Agro Productividad* 8(3): 66-70
- Coronel O. M.E. 2014. Comparación de rendimientos de cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo los sistemas de hidroponia y acuaponia. Tesis de licenciatura. Universidad técnica particular de Loja. Ecuador. 97 p.

- De Grazia J., A. Tiftonell P. y Chiesa A. 2001. Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L*). Investigación agraria producción y protección vegetales. 16:356-365.
- Delgado M. M. I., W. V. Alarcón Me., V. I. Caluguillín C., P. J. Noles A. y C.R. Delgado V. 2019. Sistemas acuapónicos para el desarrollo sostenible de las zonas rurales de Manabí. Revista Iberoamericana Ambiente y Sustentabilidad 2 (3): 186-192.
- Falcón E. 2010. Más vida en el desierto. Revista Dia Siete. (502): 40-47.
- Fernández-Juárez, E., M. P. Navarro-Rodríguez, I. Landero-Torres, F. C. Gómez-Merino y J. A. Pérez-Sato. 2019. La acuaponía rústica: una alternativa para contribuir a la soberanía alimentaria en comunidades rurales. *Agro Productividad* 12 (12): 93-98
- Franco C. E. 2014. Influencia de la fase lunar en la producción de lechuga (*Lactuca sativa L*) ecológica en carpas solares en tres municipios del departamento de la Paz. Tesis de licenciatura. Universidad mayor de San Andres. La Paz, Bolivia. 96 p.
- González M. 2014. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L*) requerimientos del clima y variedades. INIA. Chile. Disponible en:
[http://www.inia.cl/wpcontent/uploads/2014/08/LechugaQuilamapu .pdf](http://www.inia.cl/wpcontent/uploads/2014/08/LechugaQuilamapu.pdf). (Consultado: 20/11/2021).
- Hernández-Vergara M. 2018. Producción acuapónica de tres hortalizas en sistemas asociados al cultivo semi-intensivo de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*). *Agro productividad* 8 (3):26-32.

- Iturbide-Dormon K. 2008. Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación. Tesis de Maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 74 p.
- Juárez C. L. E. 2016. Evaluación de los parámetros biológicos de la tilapia gris *Oreochromis niloticus* mediante la implementación de un sistema acuapónico. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Mexico. 57 p.
- Magallón-Barajas F. 2018. Análisis técnico de la producción de tilapia (*oreochromis niloticus*) y lechuga (*lactuca sativa L*) en dos sistemas de acuaponía. Agro Productividad 8(3): 15-19
- Mendes C. F. T., A. Soares de F., E. Alcantra., R. F. Marques de P. V., A. Souza de O., R. Aparecido B., M.C. de Pádua & R.R. Junqueira. 2021. Agronomic performance of lettuce cultivars in aquaponics. Research, Society and Development 10(9): 1-7
- Mera A. R. I., J. R. Artieda R., M. Muñoz E. y K. Romero V. 2017. Influencia lunar en cultivos, animales y ser humano. Revista uniandes episteme 4 (1) : 37-47
- Moreno S. E. W. y A. Zafra T. 2015. Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa L*) con efluentes de cultivo de tilapia. *Rebiol* 34 (2): 60-72.
- Muñoz G. M. E. 2012. Sistemas de recirculación acuapónicos. Informador técnico 76: 123-129
- Nelson R. 2007. Acuaponia. Pade Multimedia. Montillo. Estados Unidos. pp: 15.
- Pertierra Lazo, R. y Quispe Gonzabay, J. 2020. Análisis económico de lechugas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido hidropónicas. *La Granja, de Ciencias de La Vida* 31(1): 118-133.

- Ramírez D., D. Sabogal., E. Gómez R., D. Rodríguez C. & H. Hurtado G. 2009. Montaje y Evaluación Preliminar de un Sistema Acuapónico Goldfish-Lechuga. Revista Facultad De Ciencias Básicas 5 (1-2): 154-170.
- Ramírez S. L. M., M. M. Pérez T., M. M., P. Jiménez., H. Hurtado G. y E. Gómez R. 2011. Evaluación Preliminar de Sistemas Acuapónicos e Hidropónicos en Cama Flotante para el Cultivo de Orégano (*Origanum vulgare: Lamiaceae*). Revista Facultad De Ciencias Básicas 7(2): 242-259.
- Romero G. E. 2013. Modelo de producción de cultivos asociados, bajo la influencia de las fases lunares, utilizando camas biointensivas. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico. 69 p.
- Saavedra M. M. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. Ed. CIDEA. Managua Nicaragua. Disponible en: <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf> (Revisado el 10/noviembre/2022)
- Saavedra R.G., F. Corradini S., A. Antúnez B., S. Felmer E., P. Estay P., P. Selpuveda R. 2017. Germinación, crecimiento y desarrollo in: Manual de producción de lechuga. Saavedra R. G. (ed.).Chile. pp: 27-32.
- Salusso F.A., J.O. Plevich., A.R. Sanchez D., L. E. Grosso y D.F. Ramos. 2015. Calidad de plántulas de lechuga en diferentes Revista Engenharia na Agricultura - Reveng 23(6): 575-583.
- Sefiplan. 2021. Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (SIEGVER) Disponible en: http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2021/06/TLAPACOYAN_2021.pdfv (Revisado el 28 de Noviembre de 2022)

Somerville C., M. Cohen., E. Pantanella., A. Stankus & A. Lovatelli. 2022. Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala - Cultivo integral de peces y plantas. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 589. FAO, Roma. pp: 264