

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“REDISEÑO DE REACTORES ACUAPÓNICOS UNIFAMILIARES PARA EL
AUTOCONSUMO”**

Realizado por:

CRISTHOFER GONZALO TAPIA DIAZ

Director del proyecto:

MsC. MÓNICA DELGADO

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Quito, 23 de Julio del 2018

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, CRISTHOFER TAPIA DIAZ, con cédula de identidad # 172419955-7 declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



C.I. 1724199557

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“REDISEÑO DE REACTORES ACUAPÓNICOS UNIFAMILIARES PARA EL
AUTOCONSUMO”**

Realizado por:

CRISTHOFER GONZALO TAPIA DIAZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

ha sido dirigido por la profesora

MÓNICA DELGADO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor


FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

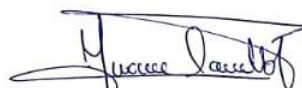
JOSÉ SALAZAR

IVONNE CARRILLO

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral
ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 23 DE Julio del 2018

DEDICATORIA

Dedicado en primer lugar a mi familia, por ser mi esencia y fortaleza, en cada paso dado
en mi vida.

A todos los profesores y alumnos de la Facultad de Ciencias Ambientales de la
Universidad Internacional SEK que aportaron para mi crecimiento y formación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme alcanzar este logro en mi vida.

A mi madre y padre por nunca dejarme desmayar, por exigirme a ser mejor cada día y por ser una persona ejemplar, gracias por estar a mi lado

A mi hermana, por hacer este camino más agradable y llevadero, por su ayuda, locuras y cariño.

Tabla de contenidos

Resumen.....	11
Abstract.	11
Introducción.....	13
Materiales y métodos	15
Área de estudio	15
Metodología.....	16
Selección de organismos para los sistemas.....	23
Origen de los peces.....	25
Aclimatación del Sistema Acuaponico	25
Aclimatación del Sistema Hidropónico.....	27
Descripción de la instalación	28
Descripción del cultivo de plantas y peces	28
Cultivo de plantas	28
Cultivo de peces.....	29
Cálculos	29
Cálculos en las plantas de lechuga.....	29
Peso.....	29
Ganancia de peso	30
Altura lechuga.....	30
Ganancia de altura	31
Número de hojas	31
Cálculos en Tilapias rojas	32
Peso.....	32
Longitud total.....	32
Eficiencia de los reactores	33
Análisis estadístico	33
Resultados	33
Discusión.....	41
Conclusiones.....	45

Índice de tablas

Tabla 1. Macronutrientes agregados al sistema Hidropónico.....	21
Tabla 2. Micronutrientes agregados al sistema Hidropónico.	22
Tabla 3. Resultados de Ganancia de altura de <i>Lactiva .Sativa</i> en los sistemas acuapónicos e hidropónicos.....	34
Tabla 4. Resultados de Ganancia de longitud en las Tilapias rojas.	35
Tabla 5. Resultados de la Ganancia de longitud en la raíz de <i>L.Sativa</i> en los sistemas acuapónicos e hidropónicos	36
Tabla 6. Resultados de la Ganancia de peso de <i>Lactiva.Sativa</i> en los sistemas acuapónicos e hidropónicos.....	37
Tabla 7. Resultados de la Ganancia de peso de Tilapias rojas	38

Índice de Figuras

Figura 1. Universidad Internacional SEK, Campus Miguel de Cervantes, Carcelén..	16
Figura 2. Pasos a seguir para la construcción y funcionamiento del sistema.....	16
Figura 3. Esquema general del proceso del sistema acuaponico.....	18

Índice de fotos

Foto 1. Invernadero ubicado en la Universidad internacional SEK.	17
Foto 2. Estructura de madera para el sistema acuaponico.....	18
Foto 3. Sistema acuaponíco en funcionamiento	19
Foto 4. Estructura de madera diseñada para el reactor acuapónico.....	19
Foto 5. Canastilla para colocar las plántulas	20
Foto 6. Cubo de esponja para colocar las plantas en las canastillas.....	20

Foto 7. Plántula de lechuga para iniciar el proyecto	21
Foto 8. Estructura para el sistema Hidropónico	22
Foto 9. Estructura de madera diseñada para el sistema Hidropónico.....	23
Foto 10. Tilapia roja	24
Foto 11. Lechuga elegida para el proyecto.....	24
Foto 12. Mapa de la ubicación de la Piscícola Gran Manantial	25
Foto 13. Estabilizador de biofiltro marca Scheam	27
Foto 14. Macro y micronutrientes empleados en el sistema hidropónico	27
Foto 15. Cálculo del peso de lechugas en balanza digital.	30
Foto 16. Medición de altura de la lechuga.	31
Foto 17. Cálculo de peso de las tilapias	32
Foto 18. Comparación de altura de las hojas de las lechugas	45

Índice de ecuaciones

Ecuación 1	<i>ganancia de peso (gr)</i>	30
Ecuación 2	<i>ganancia de peso (%)</i>	30
Ecuación 3	<i>ganancia de altura (cm)</i>	31
Ecuación 4	<i>ganancia de altura (%)</i>	31
Ecuación 5	Eficiencia productiva.....	33

Rediseño de reactores acuapónicos unifamiliares para el autoconsumo

Redesign of reactors for self-consumption single-family aquaponics

Cristhofer Tapia¹ & Mónica Delgado²

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: cristapia@hotmail.es

²Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: monica.delgado@uisek.edu.ec

- Autor de correspondencia: MSc. Mónica Delgado, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Teléfono: 0984042278
monica.delgado@uisek.edu.ec

Titulo corto (Running title): Sistema acuaponico para el autoconsumo

Runing Title: Self-consumption aquaponics system

Resumen.

En el presente trabajo se plantea una alternativa de producción de alimentos frescos, saludables y libres de químicos con un rediseño de sistemas acuapónicos unifamiliares para centros urbanos como el Distrito Metropolitano de Quito, mediante la producción de tilapias rojas (*Oreochromis niloticus*), y lechugas (*Lactuca Sativa*), controlando a las variables del sistema acuapónico en 60 días producción. Las variables monitoreadas en el periodo de funcionamiento del sistema fueron: temperatura de agua, pH, longitud de raíces de lechugas, ganancia de peso y la longitud ganada por los peces y las lechugas, así como la eficiencia de los sistemas, comparándolo con un sistema Hidropónico elaborado con las mismas características y condiciones. Los resultados revelan que los peces alcanzaron una ganancia de peso de 1,24 gr/día, en el segundo mes de cultivo (Julio), llegando a un promedio de peso de 75,76 gr por tilapia. El pH se mantuvo en un rango de (7 ± 0.6) en el sistema acuaponico y $(6,5 \pm 0,5)$ en el hidropónico a lo largo de 60 días. Las lechugas cultivadas llegaron a una talla admisible para su consumo (Hidroponía = 26,56 cm, Acuaponía = 31,91 cm) sin el empleo de pesticidas o fertilizantes químicos. Se concluye que el diseño del reactor acuaponico desarrollada en este trabajo si es viable para producir proteína vegetal y animal, además es fáciles de instalar y manejar en espacios urbanos reducidos. Asimismo brinda un apoyo complementario para suministrar proteína animal y biomasa vegetal cultivadas de manera orgánica.

Palabras claves: Acuaponía, FAO, desarrollo sustentable, NFT, seguridad alimentaria, cultivos urbanos.

Abstract.

This work proposes an alternative to fresh, healthy and chemical-free food production with a redesign of systems detached aquaponics to urban centers like the Metropolitan District of Quito, through the production of Tilapia Rojas (*Oreochromis niloticus*), and lettuce (*Sativa Lactiva*), controlling the variables of aquaponics system during the months of June and July which was mounted and running this production system. Variables monitored during the operation of the system were: water temperature, the pH of the water, root length of lettuce, gain weight and length won by fish and lettuce, as well as the efficiency of the systems, comparing it with a Hydroponic system developed with the same characteristics and conditions. The results reveal that the fish reached a weight gain of 1.24 g/day, in the second month of culture (July), reaching an average weight of 75,76 gr by tilapia. The pH remained within a range of (7 ± 0.6) in aquaponics system and $(5 \pm 0.5 - 6)$ in the hydroponic over 60 days. Cultivated lettuce came to an acceptable size for consumption (hydroponics = 26,56 cm, Aquaponics = 31,91 cm) without the use of pesticides or chemical fertilizers. It is concluded that the reactor design aquaponics developed in this work if it is viable to produce animal, and vegetable protein is also easy to install and manage in small urban spaces. It also provides complementary support to provide animal protein and plant biomass cultivated organically.

Keywords: Aquaponics, FAO, sustainable development, NFT, food security, urban crops.

Introducción

Hoy en día, nuestros suelos, ríos, selvas, océanos, bosques al igual que nuestra agua potable y biodiversidad, están siendo degradadas y contaminadas a paso acelerado (Mapama, 2011). En el caso del Ecuador, el uso del suelo está representado en un 11,62% por cultivos permanentes, mientras que los cultivos transitorios y con barbecho corresponden al 6,82 % del territorio ecuatoriano (Serra-Majem, 2010). A esto se añade los efectos crecientes del cambio climático, que afectan directamente a los recursos de los cuales dependemos y aumentan los riesgos asociados a las sequías, las inundaciones y la falta de alimento para cubrir los requerimientos de la población mundial (Girón, 2016).

A nivel del Ecuador los fertilizantes en la agricultura constituyen cerca del 50% de los costos en la producción agrícola (Muñoz-Quezada et al., 2016). Los precios a nivel mundial de los fertilizantes con base en nitrógeno doblaron sus costos con relación a años anteriores (IDAE, 2007). Con la implementación de sistemas acuapónicos, los costos de producción se disminuirán notablemente dado que no se emplean los antes mencionados compuestos químicos en la producción agraria (Mart, 2015).

Para el año 2030 se prevé que el porcentaje del suelo destinado a la agricultura ascenderá hasta un 70 % (Muñoz-Quezada et al., 2016). En el Ecuador desde 1961 hasta 1990, atendiendo a los datos de la FAO, se registró un aumento continuo de las tierras cultivadas, pasándose de las 1'698.100 hectáreas (ha) a las 2.925.000 ha, lo que implica un incremento de 1'226.900 ha (García, Ramírez, & Lacasaña, 2002). Este aumento conlleva un mayor deterioro del suelo, debido a la sobreproducción y el poco tiempo destinado para su recuperación y regeneración (FAO & OPS, 2017).

El rápido crecimiento poblacional ha desencadenado la necesidad de acelerar y aumentar el abastecimiento de alimentos a la población mundial. En el caso del Ecuador la superficie destinada a cultivos ha crecido debido a las exportaciones y a la demanda de productos consumidos puntualmente en nuestro país (Girón, 2016). En 1990 el volumen de

bienes agrícolas, ganaderos, forestales y agroindustriales exportados por el Ecuador ascendió a 2.548.200 toneladas, mientras que en el año 2004 ese valor llegó a las 5.782.200 toneladas. Esto representa un crecimiento del 127% por lo que hoy en día se buscan alternativas agrícolas para aumentar la producción y la calidad de los alimentos y con ello satisfacer dicha demanda sin afectar al medio ambiente (Urteaga, 2009).

La acuaponía surge como estrategia para ayudar a contrarrestar problemas de hambre y sobreexplotación de recursos vitales, ya que permite generar vegetales frescos, abundantes y sanos en espacios pequeños de las viviendas ubicadas en las urbes, con un consumo reducido de agua y trabajo físico mínimo, además de fortalecer la economía familiar reduciendo egresos (FAO, 2003). A nivel del Ecuador este tipo de proyectos son importantes debido a que la evolución y el crecimiento de la superficie destinada para el cultivo está estrechamente relacionado con la desaparición de las masas forestales, usos urbanos y residenciales, infraestructuras, entre otras (Girón, 2016).

Para responder a las necesidades planteadas por una población mundial que en el año 2050 se espera llegará a los 9100 millones de individuos, es necesario acrecentar la producción sostenible de alimentos entre un 60% y un 100% (FAO, 2009). Crear este incremento sin afectar los recursos naturales y servicios ambientales resulta una tarea difícil pero no imposible (Campos-Pulido, Alonso-López, Asiain-Hoyos, Reta-Mendiola, & Avalos-De la Cruz, 2015).

La Acuaponía es una técnica que se presenta como una solución debido a sus múltiples ventajas sobre los sistemas de producción agrícola convencionales (Ramírez, Sabogal, Jiménez, & Hurtado Giraldo, 2008). Una de las principales es el ahorro de agua que se emplea para la producción debido a que, con esta técnica, ésta se reutiliza (Ramírez et al., 2008). Además disminuye la cantidad de nitrógeno peligroso en los cuerpos de agua, al no descargar efluentes con este elemento químico que perjudica y contamina al medio ambiente (García Ulloa, León, Hernández, & Chavéz, 2005), los costos de operación e instalación son bajos, y se producen

vegetales con un valor agregado ya que son productos orgánicos al no incorporar químico alguno en su producción (Cordera Campos, 2017), lo que elimina el uso de plaguicidas y fertilizantes que contribuyen al deterioro del suelo y agua (Van Hemmen, 1992).

Este trabajo tuvo como finalidad rediseñar y montar un sistema de cultivos urbanos a partir del modelo planteado por la FAO & OPS en 2017, usando la técnica de acuaponía, y con ello demostrar que es una técnica viable para producir alimentos orgánicos y de calidad en zonas urbanas limitadas de espacio. Este sistema es eficiente produciendo alimentos de origen vegetal como animal, a un costo bajo, con un fácil mantenimiento y control; además, en el pueden participar todos los integrantes de la familia promoviendo la unidad de la misma y el auto consumo.

Materiales y métodos

Área de estudio

Este estudio se realizó específicamente en la Universidad internacional SEK, ubicada en Quito – Ecuador, en la provincia de Pichincha, parroquia Carcelén, en el Campus Miguel de Cervantes (figura 1). Se encuentra a 2800 msnm aproximadamente, posee una temperatura promedio de 19°C y cuenta con una precipitación anual promedio de 300mm. El ensayo se llevó a cabo desde Junio hasta Julio en el huerto de la Universidad internacional SEK.

Figura 1. Universidad Internacional SEK, Campus Miguel de Cervantes, Carcelén.



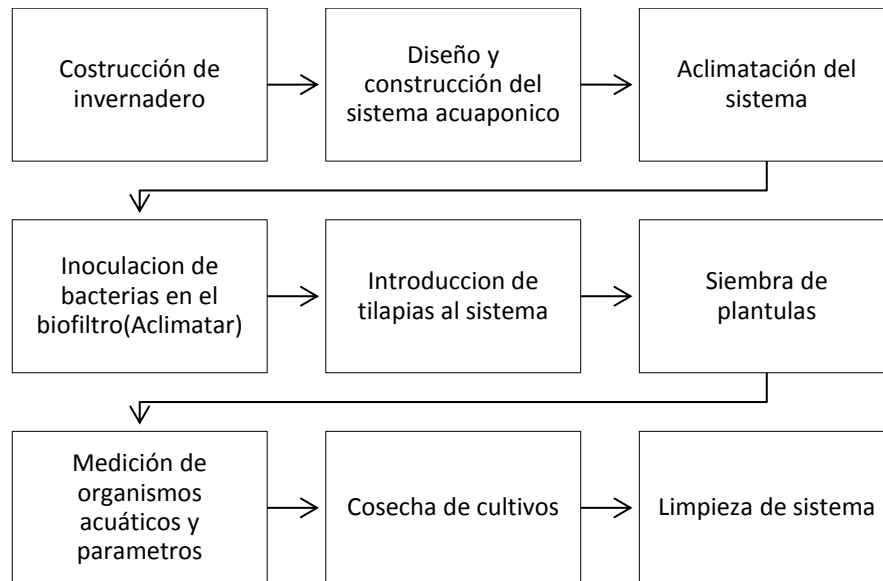
Fuente: Imágenes 2018 Landsat/ Copernicus, Datos de mapa 2018 Google.

Metodología

Este trabajo se realizó en su totalidad en el distrito metropolitano de Quito, el reactor de estudio se ubicò en la Universidad Internacional SEK, Campus Miguel de Cervantes en Carcelén, Huerto de la Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales.

La temperatura controlada es de 25°C. En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo de proceso

Figura 2. Pasos a seguir para la construcción y funcionamiento del sistema.



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

En el trabajo se usó un sistema acuaponico y uno hidropónico elaboradas con los mismos materiales y diseño, con el fin de elaborar una comparación estadística de sus rendimientos y eficiencias, lo más equitativa y con las menores variables posibles.

Construcción invernadero

Se aprovechó la previa elaboración de un huerto de 30m² en las inmediaciones de la facultad de Ciencias Naturales y ambientes de la UISEK. El mismo que estaba conformado por plástico invernadero recubriendo una estructura de caña guadua, se empleó pallets reciclados para el suelo.

Foto 1. Invernadero ubicado en la Universidad internacional SEK.



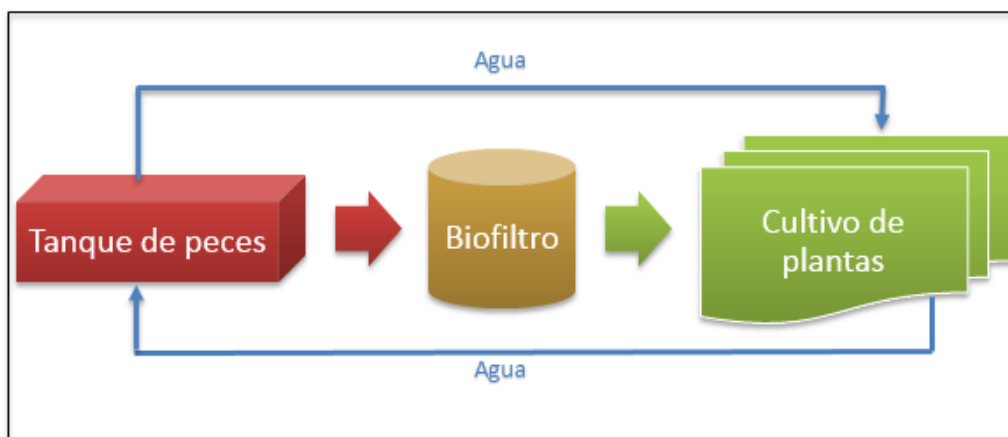
Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

Diseño y construcción

Sistema Acuapónico NFT (“Nutrient Film Technique”)

Los peces fueron colocados en un tanque de 1m³ con 500 litros de agua. El circuito de agua es cerrado y sigue un flujo de recirculación continuo, inicia con la salida de agua desde el tanque de peces hacia un filtro biológico por medio de una bomba de agua de 15W de potencia y caudal de 800 L/hora, toda el agua fluye por medio de la gravedad a partir del filtro biológico. El agua cae hasta la cabeza de los tubos NFT conducida por una manguera de 2’, hasta llegar al tanque que contiene los peces. Los tubos NFT poseen una pendiente de 2,56%, que hace caer el agua nuevamente en el tanque con peces. Y el ciclo se repite (Ver foto 3).

Figura 2. Esquema general del proceso del sistema acuaponico



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

Foto 2. Estructura de madera para el sistema acuaponico.



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

Foto 3. Sistema acuaponico en funcionamiento



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

El sistema acuapónico diseñado está conformado de los siguientes elementos:

- Estructura de madera

Foto 4. Estructura de madera diseñada para el reactor acuapónico.



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

- Una bomba de agua sumergible con caudal de 800L/hora.
- 2 tubos de 80 cm de largo con 9 agujeros de 3,5 cm de diámetro.
- Un tanque o una pecera con capacidad de 100lt de agua.
- 15 Canastillas para plántulas.

Foto 5. Canastilla para colocar las plántulas



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

- Agua desclorada
- Cubos de esponja

Foto 6. Cubo de esponja para colocar las plantas en las canastillas



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

- Peces (Tilapias rojas, 15 ejemplares con un promedio de 2,56 cm de longitud y un peso promedio de 1,72gr).
- 2 metros manguera de 2´
- 15 plántulas de Lechuga con promedio de 4,69 cm de altura.

Foto 7. Plántula de lechuga para iniciar el proyecto



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

Sistema hidropónico:

Este sistema está conformado por 2 tubos de NFT, los cuales poseen 9 agujeros por cada tubo con un diámetro de 3,5 cm , un tanque con 40 L de agua con solución nutritiva. Por cada litro de agua de riego, mezclar 2,5 cm³ de Macronutrientes (tabla 1), y 1 cm³ de Nutriente menor (tabla 2) como lo menciona Salinas et al., 2006. Esta solución nutritiva es conducida por una bomba de agua sumergible hasta la entrada de la tubería más alta de la estructura, desde ahí el agua circula por la tubería debido a la gravedad y pendiente usada hasta llegar nuevamente al tanque de agua. Y el ciclo se repite.

Tabla 1. Macronutrientes agregados al sistema Hidropónico.

Macronutriente	(g/L)
Nitrógeno total	107,4
Fosforo asimilable	41,5
Potasio soluble	98
Calcio (CaO)	102,0

Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

Tabla 2. Micronutrientes agregados al sistema Hidropónico.

Micronutriente	(g/L)
Hierro quelatado	2,2
Magnesio	20,4
Azufre	27,6
Manganeso	0,22
Boro	0,22
Cobre	0,024
Zinc	0,104
Molibdeno	0,0005
Cobalto	0,0022

Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

Foto 8. Estructura para el sistema Hidropónico



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

El sistema hidropónico diseñado consta de los siguientes elementos:

- Un tanque para 40 lt de agua.
- Una bomba de agua sumergible de 15W de potencia y un caudal de 800 L/hora.
- Estructura de madera

Foto 9. Estructura de madera diseñada para el sistema Hidropónico



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

- 2 tubos de 80 cm de largo con 9 agujeros de 3,5 cm de diámetro.
- 15 Canastillas para plántulas (ver **Foto 5**)
- Cubitos de esponja (Ver **Foto 6**)
- 2 metros de manguera de 2'.
- Solución nutritiva .

Selección de organismos para los sistemas

- **Selección de especies de peces y plantas**

Los organismos vivos escogidos para el proyecto fueron Lechuga cresa (*Lactuca Sativa*) para ambos sistemas y los peces fueron las Tilapias Rojas en el caso del sistema Acuaponico debido a las siguientes características:

Peces Tilapia Roja (*Oreochromis sp*)

Foto 10. Tilapia roja



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

- Presenta una gran adaptabilidad a diferentes calidades de aguas.
- Soporta un rango de temperaturas del agua variado (desde 14°C hasta 30°C).
- Crecimiento rápido en condiciones optimas
- Poseen un precio comercial alto en ejemplares de gran tamaño y peso.

Lechuga (*Lactiva Sativa*):

Foto 11. Lechuga elegida para el proyecto



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

- Tiempo de cultivo y cosecha rápido.

- Adaptación a diferentes ambientes y condiciones.
- Potencial altamente consumible y
- Comercialmente rentable.

Origen de los peces

Las tilapias rojas fueron adquiridas en la piscícola Gran Manantial, ubicada en Pichincha – Ecuador en específico en el pueblo llamado Mashpi.

Foto 12. Mapa de la ubicación de la Piscícola Gran Manantial



Fuente: James Calderón- Gerente Piscícola , 2018.

Aclimatación del Sistema Acuaponico

El sistema acuaponico mantiene tres poblaciones biológicas simultáneamente en equilibrio: peces, plantas y bacterias (Gómez-Merino et al., 2015). Lo que se refiere a los peces, se partió desde una población inicial de 150 ejemplares, 50 juveniles con un promedio 2,56 cm de longitud y un peso promedio de 1,72 gr, mientras que los 100 alevines tenían un peso promedio de 0,569 gr y una longitud promedio de 1,4 cm. Todas las tilapias fueron aclimatadas durante 15 días en un tanque con 500 lt de agua a 26 ° C , con pH en el agua de $7 \pm 0,65$ y alimento al 5% de la biomasa como en la metodología descrita por Candarle en 2016. Al empezar el proyecto se trabajó con 15 peces con un promedio de 2,56 gr de peso en un tanque con 70 lt de agua. En el tanque con 500 litros de agua se mantuvieron con vida 58 tilapias. Las restantes tilapias rojas murieron por depredación de los peces más grandes a los alevines de menor tamaño.

Para las plantas se utilizó un tipo de lechuga de crecimiento vegetativo rápido, *Lactuca sativa* var *Longuifolia* o lechuga crespa (Ramírez et al., 2008). Se adquirieron, 40 plántulas de esta especie. Las plántulas en promedio tenían una talla de 4,69 cm de altura. Se trasplantaron a la misma edad y talla, 15 lechugas en el sistema acuaponico y otras 15 lechugas en el hidropónico con el fin de trabajar con una relacion planta-.pez de 1:1.

En cuanto a el biofiltro, se facilitó la proliferación de bacterias nitrificantes, dejando el circuito con agua en recirculación, sin peces ni plantas durante un tiempo de 7 días, debido al papel fundamental que desempeñan en el circuito, ya que son las encargadas en realizar la oxidación del Amonio (NH_4)/Amoniaco (NH_3) a Nitritos (NO_2) y estos posteriormente a Nitratos (NO_3) que es la forma asimilable de los nutrientes para las plantas.

Según lo sugerido por Gilsanz (2007), es prudente emplear un tiempo de maduración inicial del filtro biológico suministrando un producto que contenga bacterias aerobias, anaerobias y facultativas para multiplicar rápidamente la cantidad de bacterias presentes en el filtro. Con esto se consigue impedir el síndrome de acuario nuevo, el cual consiste en el aumento de Amonio y Nitritos sin que existan aún la cantidad suficiente de bacterias para transformarlo produciendo muerte por toxicidad a los peces.

Para acelerar la proliferación y crecimiento bacteriano en el sistema, se dejó, que las bacterias proliferaran en las paredes de las arlitas, esponjas, mallas, tapas de plástico y pedazos de plástico corrugado reciclado. Adicionando el primer día 5ml de cultivo de bacterias Scheam por cada 40 litros de agua, y los 6 dias restantes se adiciono 5ml por cada 80 litros de agua.

Foto 13. Estabilizador de biofiltro marca Seachem



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018

Aclimatación del Sistema Hidropónico

Para este sistema se realizó la aclimatación dejando una hora al sol el agua ubicada en el tanque, posteriormente se agrega 2,5 cm³ de macronutrientes y 1cm³ de micronutrientes por cada litro de agua. Posteriormente se procedió a circular el agua con nutrientes por las tuberías. Verificando que no existan fugas de agua.

Foto 14. Macro y micronutrientes empleados en el sistema hidropónico



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

Descripción de la instalación

La construcción del sistema acuapónico así como el hidropónico se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Internacional SEK. En específico fueron desarrolladas y monitoreadas en el huerto ubicado junto a la Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales posee una superficie de 30 m². Siendo usado 1 m² por cada sistema.

Lo primero fue elaborar las estructuras en madera y preparar los tubos con sus respectivos agujeros, el siguiente paso es colocar los elementos de cada reactor en su respectivo lugar, para posteriormente ponerlo a funcionar, verificando que no existan fugas de agua y todos los elementos cumplen de buena forma su trabajo y por último se introduce los organismos vivos en este caso lechugas y tilapias rojas.

Descripción del cultivo de plantas y peces

Cultivo de plantas

Se desarrollaron dos cultivos de lechuga con 15 plántulas en cada sistema, el acuapónico empleando los nutrientes para las plantas a partir de los peces con sus excretas. En el caso del sistema hidropónico se adicionó macro y micro nutrientes elaborados químicamente.

Se realizó un lavado del sustrato de las plántulas para retirar la turba adherida, se tomaron medidas de peso inicial fresco, altura y número de hojas, posteriormente se realizó el trasplante de las plántulas en vasos para hidroponía de dos pulgadas. Cada 15 días, se retiraron las plantas en su totalidad para la toma de medidas de peso fresco, altura, longitud de raíz y número de hojas. Al final del cultivo se realizaron medidas post cosecha de peso final fresco, altura, así como el número de hojas y longitud de raíz en ambos cultivos para su posterior comparación.

Cultivo de peces

Los peces de igual forma son puestos en agua con condiciones químicas (pH, temperatura, amonio, nitritos y nitratos) adecuadas, con el fin de que se desarrollen de la mejor manera para que alcancen buen peso y tamaño, así como un agradable sabor.

- El pH en un rango de $7\pm0,65$
- Temperatura del agua de los peces 24°C , se controló la temperatura del estanque gracias a un calefactor sumergible el cual trabajo 24 horas al día a una temperatura de 24°C
- Oxígeno disuelto en el agua se mantuvo $6,8\pm0,08$ mg/L
- Se alimentaban los peces al 5% de la biomasa, con balanceado con el 40% de proteína y químicamente neutra, 2 veces al día.

Cuando los alevines llegaron al lugar del proyecto, estos fueron incorporados en un tanque por un periodo de 5 días para revisar su comportamiento, consumo de alimento y supervivencia al transporte. Se tomaron 2 medidas de peso y longitud de las tilapias una al inicio del proyecto y otra al final del mismo.

Cálculos

Cálculos en las plantas de lechuga

Peso

Para el cálculo del peso de las lechugas, se utilizó la balanza digital Sintecho SA 210. Se retiró la planta de lechuga del sistema acuapónico por un tiempo de 5 minutos para reducir la cantidad de agua contenida en las raíces, seguidamente se registró el peso fresco total de la lechuga, restando el peso de las canastillas que fue de 2,36 gr.

Foto 15. Cálculo del peso de lechugas en balanza digital.



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

Ganancia de peso

A partir de los resultados de peso final y peso inicial se determinó la ganancia de peso en gramos y ganancia de peso porcentual utilizando las siguientes ecuaciones.

$$\text{Ecuación 1} \quad \text{ganancia de peso (gr)} = Pf - Pi$$

$$\text{Ecuación 2} \quad \text{ganancia de peso (\%)} = \frac{Pf - Pi}{Pf} \times 100$$

Donde Pf corresponde al peso registrado para el día de cosecha y Pi al peso registrado al inicio del proyecto.

Altura lechuga

Se utilizó una cinta métrica para la medición de la altura de las plantas de lechuga, se ubicó el punto cero en el inicio del tallo de la lechuga y se tomó la medida hasta la parte más alta de la planta.

Foto 16. Medición de altura de la lechuga.



Autor: Cristhofer Tapia, 2018.

Ganancia de altura

A partir de los resultados de altura final y altura inicial se determinó la ganancia de altura en centímetros y ganancia de altura porcentual utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Ecuación 3} \quad \text{ganancia de altura (cm)} = H_f - H_i$$

$$\text{Ecuación 4} \quad \text{ganancia de altura (\%)} = \frac{H_f - H_i}{H_f} \times 100$$

Donde H_f corresponde a la altura registrada el día de cosecha y H_i a la altura registrada el día 1.

Número de hojas

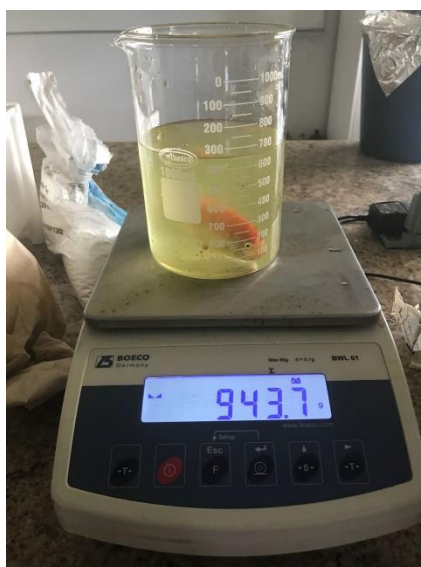
Se realizó el conteo manual de número de hojas verdaderas para cada planta de lechuga, sin tomar en cuenta los cotiledones cuando la planta ingresa al proceso y un segundo conteo al ser cosechadas al final del proyecto.

Cálculos en Tilapias rojas

Peso

Se utilizó la balanza digital Lexus Star 3000. Partiendo del peso conocido de un recipiente con agua, el pez fue introducido y por medio del cálculo de diferencias de pesos se registró el peso del ejemplar al entrar al tanque y una segunda vez al terminar el proyecto es decir a los 60 días.

Foto 17. Cálculo de peso de las tilapias



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

A partir de los resultados de peso final y peso inicial se determinó la ganancia de peso en gramos y ganancia de peso porcentual utilizando las ecuaciones.

Ecuación 1 *ganancia de peso (g) = $P_f - P_i$ (1)*

Ecuación 2 *ganancia de peso (%) = $\frac{P_f - P_i}{P_f} \times 100$*

Longitud total

Se realizó la medición de la longitud total del pez desde el inicio de la cabeza hasta la aleta caudal, sobre un plano horizontal compuesto por un papel plastificado. Se realizó una captura fotográfica para la obtención de la medida puesto que el pez no permanece estático

sobre la superficie y se debe conservar el menor tiempo posible fuera del agua al pez para así reducir el estrés generado y evitar su muerte.

$$\text{Ecuación 3} \quad \text{ganancia de longitud (cm)} = L_f - L_i$$

$$\text{Ecuación 4} \quad \text{ganancia de longitud (\%)} = \frac{L_f - L_i}{L_i} \times 100$$

Donde L_f corresponde a la longitud de los peces registrada el día 60 y L_i a la longitud de los peces registrada el día 1.

Eficiencia de los reactores

Se obtuvo la eficiencia de los sistemas en porcentaje mediante la fórmula

$$\text{Ecuación 5} \quad \text{Eficiencia productiva} = \frac{\text{Cantidad de biomasa producida}}{\text{Superficie del área}}$$

Siendo:

Cantidad de biomasa producida: el peso total en kg de las lechugas y peces en conjunto al final del proyecto para el sistema acuaponico y el total en kg de lechugas para el hidropónico.

Superficie del área: los m² que ocuparon los tubos así como los tanques de agua y peces respectivamente.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza con el fin de determinar diferencias significativas en el crecimiento de Lactuca sativa “lechuga cresa” en el sistema acuapónico e hidropónico de igual forma para las Tilapias rojas.

Resultados

En la experimentación con el sistema acuapónico en una zona urbana con espacio limitado y un sistema hidropónico en las mismas condiciones, se calculó una longitud de las hojas en promedio inicial entre 4,39 y 4,69 cm en ambos sistema. En los primeros 15 días del proyecto se obtuvo en promedio en las longitudes de las hojas de 13,35cm en las lechugas hidropónicas y 10,9 cm en las Acuapónicas, así como 22,17 cm y 27,22 cm a los 60 días al finalizar el

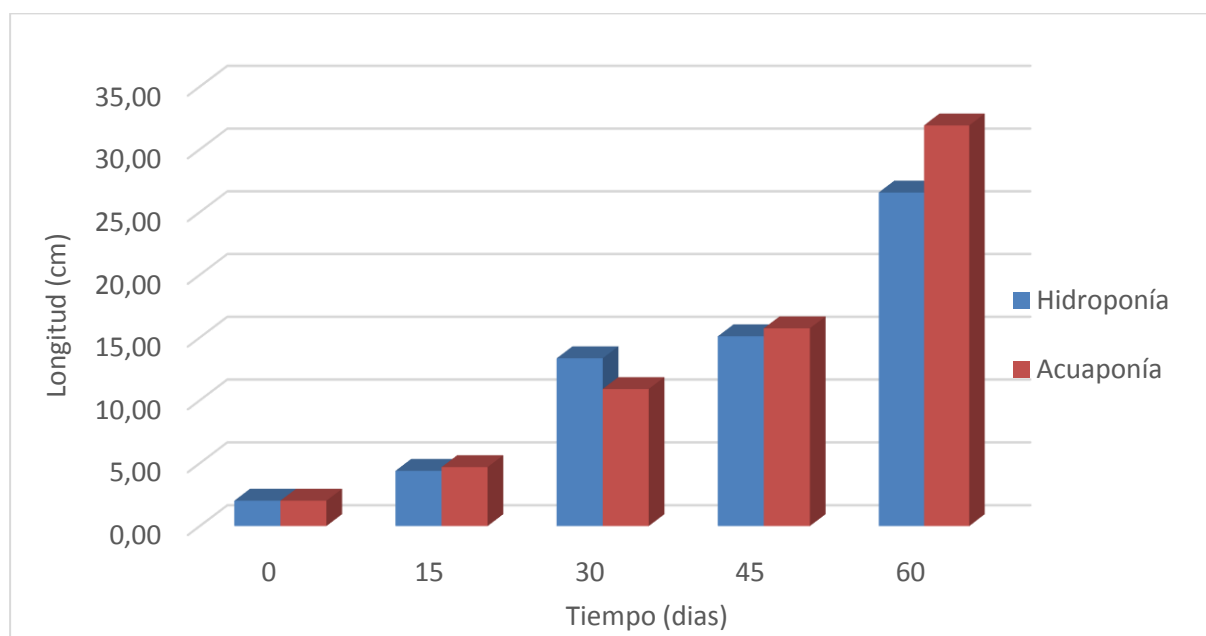
proyecto. Siendo en promedio mayor la altura de las lechugas en el sistema acuaponico en 2% en relación al valor obtenido en el reactor hidropónico . Ver Tabla 3 y gráfica 1.

Tabla 3. Resultados de Ganancia de altura de *Lactiva .Sativa* en los sistemas acuapónicos e hidropónicos

Parámetro productivo	Fórmula	Resultado Lechugas Acuaponía	Resultado Hidroponía
Ganancia de longitud de hojas	$ganancia\ de\ longitud\ (cm) = H_f - H_i$	27,22 cm	22,17 cm
	$ganancia\ de\ longitud\ (\%) = \frac{H_f - H_i}{H_f} \times 100$	85,3%	83,5%

Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

Gráfica 1. Crecimiento de la longitud de las hojas de las lechugas



Fuente: Tapia Cristhofer, 2018.

Con respecto a la longitud ganada por las tilapias rojas se puede decir que se mantuvo un crecimiento de 0,14 cm/día , registrando un promedio de 2,56 cm por Tilapia al entrar en el

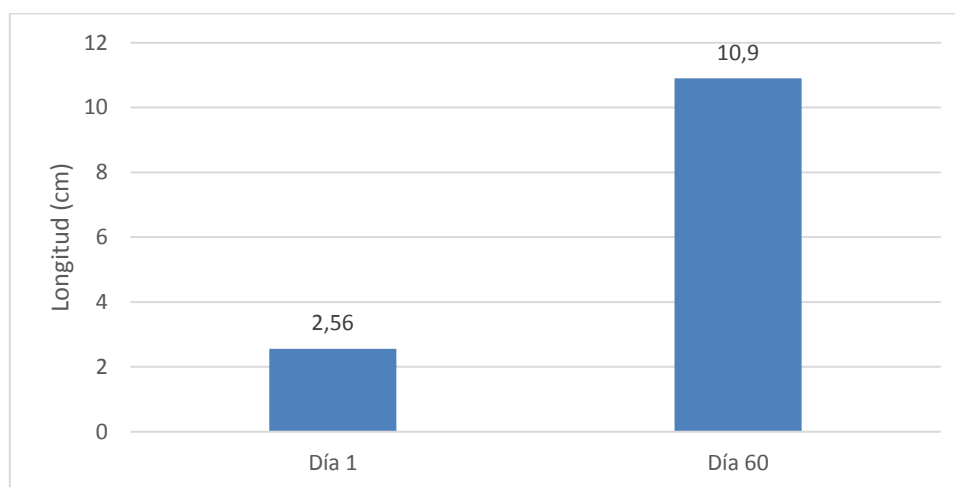
tanque de agua del sistema acuaponico al inicio del proyecto, llegando a los 60 días se obtuvo un promedio de 10,9 cm por pez. Ver (Tabla 4 y grafica 2).

Tabla 4. Resultados de Ganancia de longitud en las Tilapias rojas.

Parámetro productivo	Fórmula	Resultado Tilapias Rojas
Ganancia de longitud peces	$ganancia\ de\ longitud\ (cm) = H_f - H_i$	8,34 cm
	$ganancia\ de\ longitud\ (\%) = \frac{H_f - H_i}{H_i} \times 100$	76,51 %

Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

Gráfica 2. Ganancia de longitud de las tilapias rojas.



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

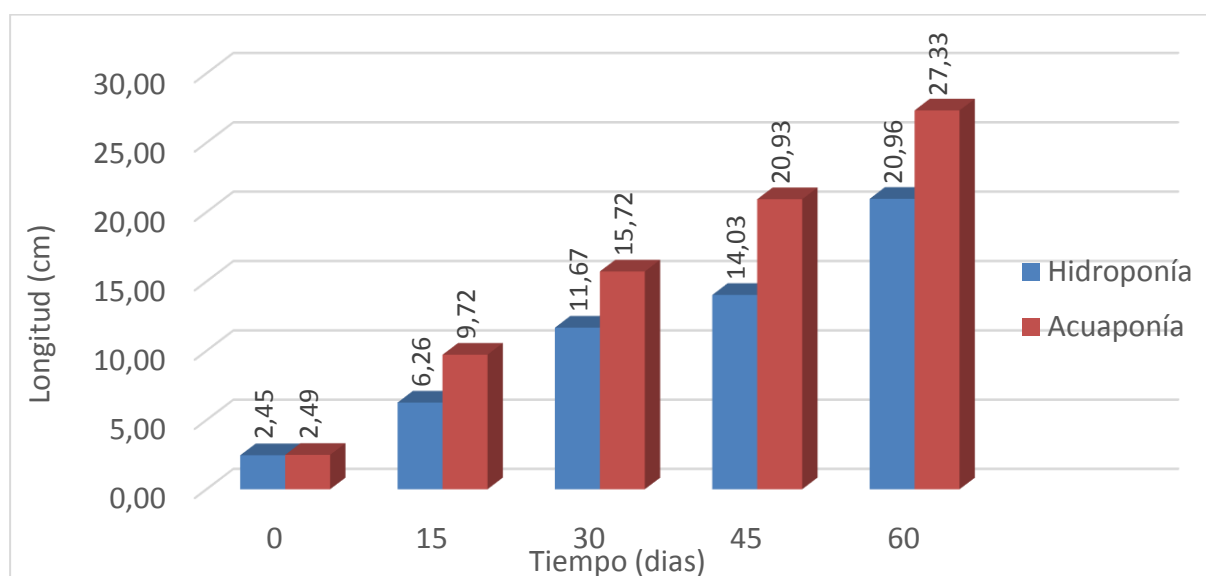
En el crecimiento de la raíz que inició en promedio con 2,49 cm en acuaponia y 2,45 cm en hidroponía. Se alcanzó a los 2 meses en promedio 21,46 cm, es decir se ganó 88,4% de longitud de raíz en acuaponia siendo este valor mayor que en hidroponía en donde se logró ganar 14,03 cm o 82,5% desde el valor inicial. Ver (Tabla 5 y gráfica 3).

Tabla 5. Resultados de la Ganancia de longitud en la raíz de *L.Sativa* en los sistemas acuapónicos e hidropónicos

Parámetro productivo	Fórmula	Resultados Acuaponía	Resultado Hidroponía
Ganancia de longitud de raíz	$ganancia\ de\ longitud\ (cm) = Hf - Hi$	18,97cm	11,57cm
	$ganancia\ de\ longitud\ (\%) = \frac{Hf - Hi}{Hf} \times 100$	88,4%	82,5%

Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

Gráfica 3. Crecimiento de la longitud de la raíz de Lactiva Sativa “Lechuga”.



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

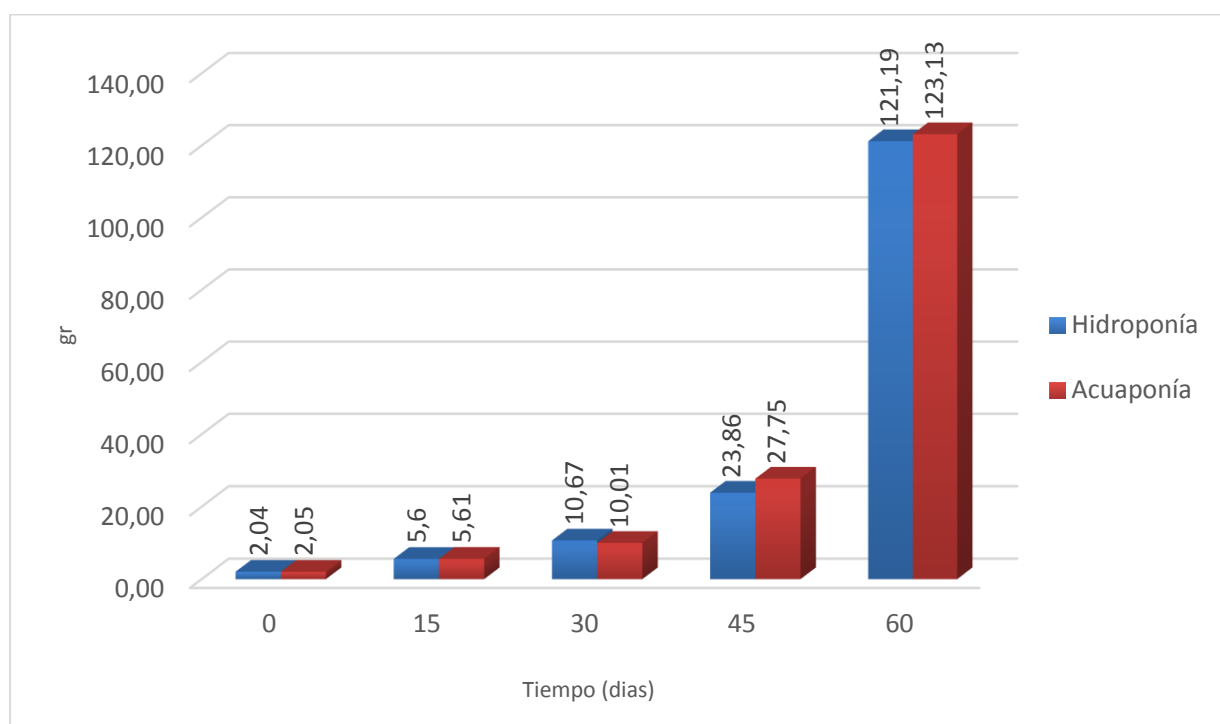
En cuanto a la ganancia de peso, el sistema acuapónico tuvo mayor ganancia de peso en el proyecto adquiriendo 119,3 gr en promedio por lechuga y 111,19 gr en el sistema hidropónico. Manteniendo una ganancia promedio de 2 gr/día y 1,85 gr/día en acuaponía e hidroponía respectivamente. Ver la Tabla 6 y gráfica 4.

Tabla 6. Resultados de la Ganancia de peso de *Lactiva.Sativa* en los sistemas acuapónicos e hidropónicos

Parámetro productivo	Fórmula	Acuaponía	Hidroponía
Ganancia de peso	$ganancia\ de\ peso\ (g) = Pf - Pi\ (1)$	119,3 gr	111,19 gr
	$ganancia\ de\ peso\ (\%) = \frac{Pf-Pi}{Pf} \times 100$	98,29%	98,17 %

Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

Gráfica 4. Dinámica de ganancia de Peso de Lechuga “*Lactiva Sativa*”.



Fuente: Tapia Cristhofer, 2018

El peso ganado por las tilapias rojas se puede afirmar que se mantuvo un crecimiento constante de 1,23 gr cm/día, registrando en promedio valores iniciales de 1,72 gr por pez, a los 60 días

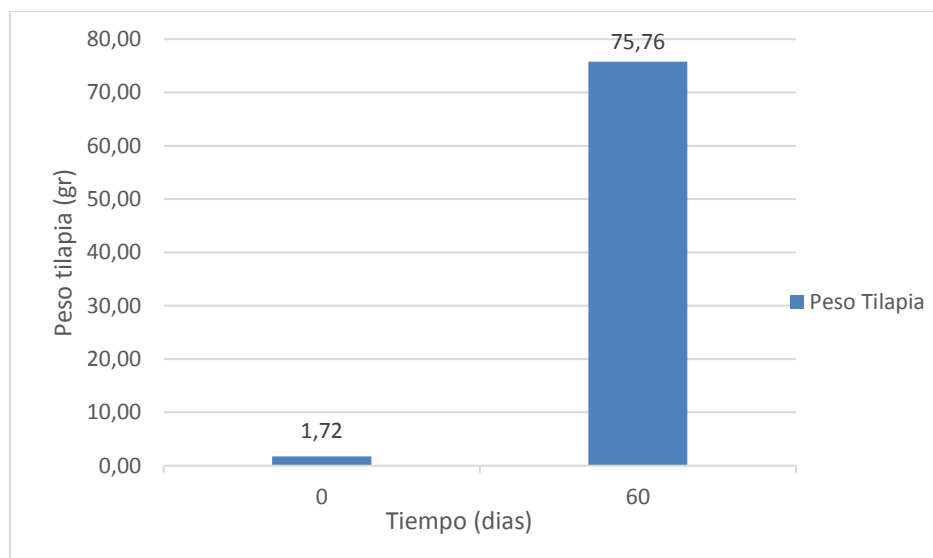
al finalizar el proyecto se registraron pesos de 75,76 gr en promedio por pez con una ración de comida de al 5% de la biomasa total como se puede apreciar en la tabla 7 y gráfico 5.

Tabla 7. Resultados de la Ganancia de peso de Tilapias rojas

Parámetro productivo	Fórmula	Resultado Tilapias Rojas
<i>Ganancia de peso</i>	<i>ganancia de peso (g)</i> $= Pf - Pi$ (1)	74,04 gr
	<i>ganancia de peso (%)</i> $= (Pf - Pi) / Pf \times 100$	97,73 %

Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

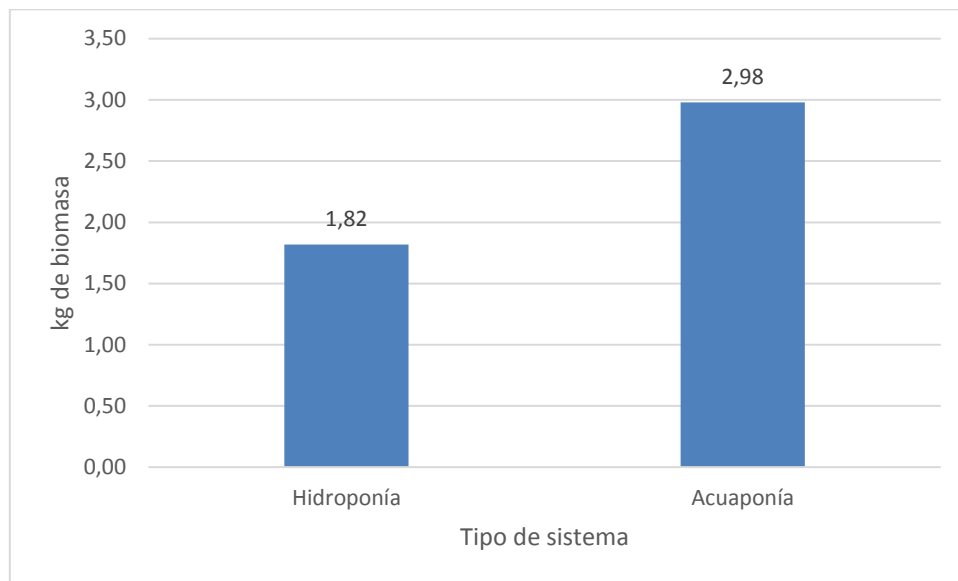
Gráfica 5. Ganancia de peso de Tilapias Rojas



Fuente: Tapia Cristhofer, 2018.

Mientras que la rentabilidad fue de 1,82 kg de biomasa por m² en el sistema Hidropónico y en el caso del reactor acuaponico se obtuvo 2,98 kg de biomasa vegetal y animal por m². Observar la gráfica 5. Es decir en el sistema acuapónico se produce un 38,93% más de biomasa que el reactor hidropónico.

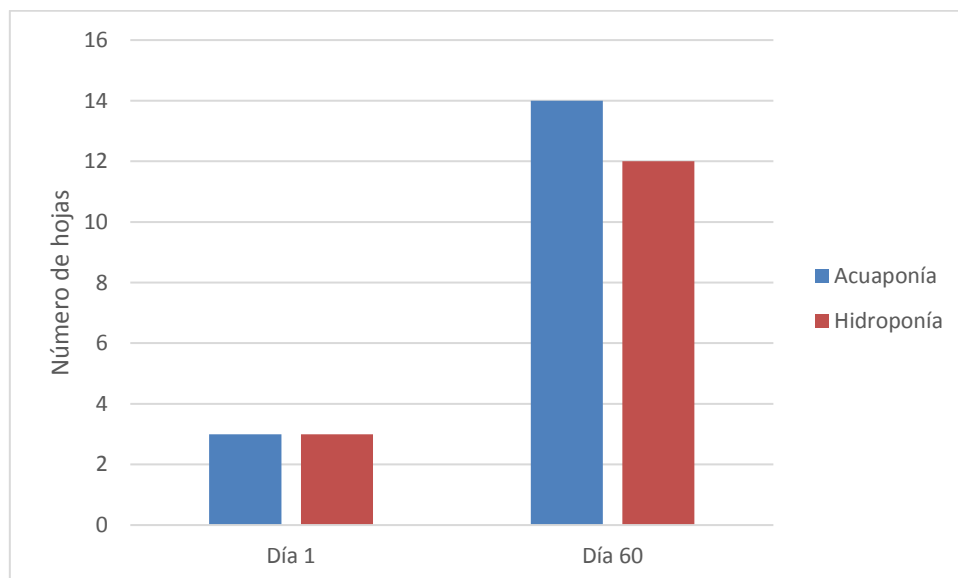
Gráfica 6. Biomasa alcanzada en los sistemas acuapónico e hidropónico



Fuente: Tapia Cristhofer, 2018.

El resultado referido al número de hojas por lechuga en promedio fue superior en el reactor Acuapónico con 14 hojas por lechuga mientras que en el sistema hidropónico se registró 12 hojas en promedio por lechugas.

Gráfica 7. Comparación del número de hojas por lechuga durante el proyecto.



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

Tabla 8. Tabla de costos de reactores

Elemento	precio	Sistema acuaponico	Total costo	Sistema hidropónico	Total costo
	\$	cantidad	\$	Cantidad	\$
Estructura de madera	20	1	20	1	20
2 Tubos PVC con agujeros	10	1	10	1	10
Manguera (m)	1,2	3	3,6	2	2,4
Bomba de agua	14,5	1	14,5	1	14,5
Bomba de aire	12,2	1	12,2	0	0
Calefactor de agua	25	1	25	0	0
Peces	0,18	150	27	0	0
Alimento peces(kg)	5/kg	2	10	0	0
Solución nutritiva	30	0	0	2	60
Tanque para agua	20	0	0	1	20
Tanque para peces	20	1	20	0	0
Canastillas para plántulas	0,2	20	4	20	4
Esponja para plántulas	1,5	1	1,5	1	1,5
Biofiltro	28,5	1	28,5	0	0
Costo agua	0,15/L	40	6/mes	70/L	10,5/mes
Costo luz			8/mes		8/mes
plántulas	0,15	20	3	20	3
TOTAL			185,3		145,9

Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

En la tabla8, podemos apreciar el valor de todos los elementos empleados en el reactor con precios y cantidades empleadas específicamente en este proyecto, si bien no es una inversión de valores elevados trae consigo varios beneficios, no solo alimenticios, sino también

ambientales, con lo cual se puede decir que vale totalmente la pena invertir en un reactor acuapónico diseñado para centros urbanos.

El agua empleada en los sistemas fue agua potable de Quito, y a pesar de que no era parte del estudio se pudo comprobar que esta agua es apta para el cultivo de peces, bacterias y vegetales después de ser desclorada.

Discusión

La acuaponía puede ser empleada en varias formas y con diferentes capacidades (Congreso Nacional, 2017), en esta investigación para el cultivo de lechuga y tilapias en sistema acuaponico e hidropónico se trabajó con un técnica de solución nutritiva recirculante (NFT), que entre sus ventajas destacan la facilidad en su instalación, la versatilidad para el cultivo de diferentes plantas, mayor cantidad de plantas, mayor eficiencia productiva; al mismo tiempo, al ser tan delgada la película de agua que fluye por los tubos, este siempre se encuentra oxigenada y por medio de la gravedad se integra al tanque de los peces permitiendo también su oxigenación sin el empleo de equipos.

Gutiérrez menciona que para una mejor productividad de un sistema acuapónico se debe filtrar el agua del tanque de peces antes de ser empleada como fertilizante para las plantas, es por esto que se diseñó un biofiltro el cual se utilizó con el fin remover las excretas, el alimento no consumido por los peces y los sólidos suspendidos ya que estos pueden obstruir a las raíces de las plantas, además brinda una superficie de contacto para las bacterias nitrificantes, responsables de la nitrificación como lo menciona (Odir, Zometa, Rodrigo, & Vega, 2010). Existen diversos materiales que pueden ser empleados para diseñar un biofiltro, en este proyecto se utilizó esponja, tapas de plástico, pedazos de manguera corrugada de plástico. arlita o arcilla expandida a lo contrario de otras investigaciones en las cuales utilizaron bolas plásticas, malla plástica, perlón, espuma y graba.

El crecimiento de lechuga cultivada en sistema acuapónico NFT adquirió un mayor crecimiento que en el sistema hidropónico NFT , logrando una mayor altura que lo reportado por Zambrano, que obtuvo, en el mismo tiempo de cultivo y con el mismo número de relación tilapia-lechuga (1:1), un crecimiento en longitud de hoja de en 24,38 cm y de 29,91 cm de longitud de raíz. Esto se puede deber a la eficiencia y al modelo de biofiltro utilizado, ya que depende al modelo y tiempo de maduración del filtro, mejora el trabajo desempeñado por las bacterias nitrificantes que son las que van a influir directamente en los niveles de nutrientes asimilables para las plantas y al tipo de estructura empleado en el sistema acuapónico, que de igual forma trabajo con la técnica NFT pero el diseño de la estructura del sistema fue diferente al utilizado en esta investigación.

En relación al rendimiento en peso fresco de lechuga logrado en el sistema hidropónico (1,82 kg/m²) se considera bajo si se compara con el rendimiento obtenido en el reactor acuapónico (2,8 kg/m²), aunque ambos sistemas son mayores a los obtenidos por Luna en el 2015 (1,56 kg/m²). En cuanto a la proporción de las lechugas en el sistema acuapónico diseñado, fue de 15 lechugas/ m² para los dos sistemas construidos en este proyecto. Empleando la misma densidad para ambos sistemas, 15 plantas para 15 peses, con una proporción 1:1 dio muy buenos resultados aunque (Pimentel, Junier, Del, & Johannys, 2011) en su investigación utilizando el mismo sistema trabajo una proporción 1.7: 1 obteniendo en el mismo tiempo de cultivo mejores resultados en longitud de hoja y longitud de raíz , mas no en el peso total promedio por planta que fue de 91,29 gr en sistema acuaponico, mientras que en este proyecto se obtuvieron promedios de peso por planta de 121,19 gr en el caso del reactor hidropónico y 123,13 gr en el acuapónico a los 60 dias de haber colocado las plántulas de lechuga en los tubos de los sistemas.

Respecto a la cantidad de alimento diario disponible para el sistema acuaponico se trabajó con 18 gr para un sistema acuaponico que contiene 15 tilapias rojas valor que fue

sugerido por (Rakocy, Shultz, Bailey, & Thoman, 2004) que recomiendan suministrar 60 g de alimento para sistemas con 50 tilapias , o 1,2 gramos de alimento por pez, esta cantidad de alimento se garantiza los nutrientes necesarios para la producción integral de tilapia-lechuga/m². Los buenos resultados dependerán de las densidades con las que se trabaje en el sistema, del tipo de alimento suministrado, el % de proteína en el alimento y la especie a cultivar. Por esta relación es necesario manejar una buena proporción entre el número de plantas, y la cantidad de peces; como mínimo se recomienda tener un pez por cada 1,9 plantas (Guerrero & Sarauz, 2015).

Al comparar la longitud de hojas de lechugas entre ambos sistemas, se encuentra que crecieron más las lechugas acuapónicas con el efluente fertilizado por las tilapias se asumió que esta agua tuvo más nutrientes. La longitud de la raíz en el sistema hidropónico es notablemente menor a partir del día 15 de investigación hasta el final de este trabajo.

Hablando de los parámetros más importantes en cultivos acuapónicos e hidropónicos están el pH, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la nitrificación, registrando valores en rangos entre 6,8 y 7,4 en ambos reactores, superando a lo encontrado por Hernández, cuyos valores se encuentran entre 6,1 a 6,3 en Sistema acuapónico con filtro. No se sobrepasa a lo recomendado por Meza en 2016 que indica un pH de 7 garantiza un funcionamiento correcto. Sin embargo, se ha planteado que en un sistema acuapónico el pH debe mantenerse sobre los 7,0 para promover la nitrificación (García Ulloa et al., 2005). Asimismo, se ha mencionado que en rangos de 6 a 9 de pH la nitrificación puede ocurrir, con una temperatura óptima para la proliferación de las bacterias nitrificantes de 30°C (Díaz, 2013).

En este tipo de sistemas de recirculación las bacterias encargadas de transformar amonio a nitritos son las Nitrosomas spp., mientras que las bacterias Nitrobacter spp., transforman el nitrito a nitrato, estos procesos son de gran importancia debido a que el amonio y el nitrito son productos altamente tóxicos para los organismos acuáticos, mientras que los nitratos también

lo son, aunque en menor grado, porque muchas especies en cultivo lo pueden tolerar; entonces en acuaponía, las plantas son las responsables de aprovechar el nitrato en sus procesos nutritivos y en su crecimiento (Candarle, 2016).

En cuanto al peso y longitud ganados por las tilapias rojas en 60 días corresponde a 74,04 gr en promedio por pez, mientras que para la longitud alcanzada en 60 días se calculó el valor promedio de 8,34 cm por pez o 0,136 cm por día en cada Tilapia. En cuanto a la evaporación de agua en los sistema de cultivo de la tilapia, se registró en promedio 5 litros de agua repuesta en cada sistema, que equivale al 12,5% del volumen total en sistema hidropónico y a 7,14 % de toda el agua en el sistema acuapónico.

En los controles y monitoreo diario realizo revisiones de cada una de las lechugas cultivadas debido a la posible presencia de plagas, sin embargo en este estudio no se encontró plaga alguna. A temperatura se mantuvo con un valor entre 20° C y 24° C durante los dos meses de proyecto, de igual forma se mantuvo registro y control del pH en el agua de ambos sistemas, registrando valores de $7\pm0,65$ en el sistema acuaponico y de $6,5\pm0,5$ en el agua del sistema hidropónico.

Es interesante mencionar que a pesar de que la longitud de hoja y raíz, el peso de la lechuga y la biomasa producida son mayores en el sistema acuaponico, por su parte el color verde de las lechugas no se comparan al verde intenso presente en las lechugas hidropónicas.

Foto 18. Comparación de altura de las hojas de las lechugas



Fuente: Cristhofer Tapia, 2018.

En esta imagen se puede observar a la izquierda de la foto una hoja y una planta de una lechuga Acuapónica y una Hidropónica en la parte derecha de la imagen si bien la longitud es ligeramente mayor en la hoja y planta de la izquierda el color es un verde algo más oscuro en la de la derecha. Una de las posibles razones es que algún mineral no ha llegado a los niveles deseados como lo menciona Ramírez, ya que estos nutrientes no son incorporados al sistema en la cantidad adecuada, sin embargo el sabor y textura de las lechugas son muy buenos y similares.

Conclusiones

El sistema acuapónico pensado e implementado en este trabajo demostró ser viable para la producción complementaria de alimentos en espacios limitados en zonas urbanas ya que

logró producir proteína animal y vegetal de forma integral. El diseño desarrollado para el sistema acuaponico e hidropónico resultó ser eficiente y óptimo para mantener las condiciones de cultivo necesarias. Además los materiales empleados en los reactores son fáciles de adquirir y su construcción es sencilla y rápida. Es necesario recalcar que la producción de biomasa fue un 38,93% mayor en el reactor acuapónico manteniendo la misma área que en el sistema hidropónico.

Los productos procedentes del sistemas acuaponía son considerados como productos orgánicos, al no emplear químicos como plaguicidas y fertilizantes en los procesos de cultivo por lo cual poseen un valor agregado en el mercado local.

Se concluye que el diseño pensado y empleado en los sistemas son fáciles de construir y manejar en espacios de la urbe limitados produciendo productos de calidad y buen sabor, de forma totalmente orgánica. A la par de brindar un apoyo económico, al suministrar proteína animal y biomasa vegetal, pudiendo causar un impacto positivo en la seguridad alimentaria, social y económica de una familia, ya que este tipo de tecnología a más de ser rentable y con un alto potencial comercial, se podría considerar como estrategia para el desarrollo sostenible de las zonas urbanas.

Recomendaciones

Se recomienda continuar los estudios en el reactor acuapónico unifamiliar con el fin de experimentar con otras especies de plantas y animales con el fin de encontrar mejores eficiencias.

Es importante empezar el proyecto con peces de una sola talla y edad para evitar la depredación de peces pequeños por parte de los de mayor tamaño, manteniendo niveles altos de supervivencia en relación a las tilapias rojas.

Se recomienda trabajar con un sistema acuaponico que incluya clarificador antes del biofiltro para mejorar el rendimiento del reactor, al reducir sólidos suspendidos y algas del proceso. Y si es posible emplear material reciclado en la construcción del reactor hacerlo, con el objetivo de reducir costos de construcción.

Es necesario un buen control de la calidad del agua , para no tener problemas con los peces y plantas empleadas en el sistema debido a que el agua es parte fundamental del reactor y su buen estado es sinónimo de un buen desempeño al producir biomasa.

Referencias

- Campos-Pulido, R., Alonso-López, A., Asiain-Hoyos, A., Reta-Mendiola, J. L., & Avalos-De la Cruz, D. A. (2015). LA ACUAPONÍA, DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA SUSTENTABLE. *AQUAPONICS: SUSTAINABLE PRODUCTIVE DIVERSIFICATION.*, 8(3), 66–70. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fap&AN=108617514&site=ehost-live>
- Candarle, P. (2016). Técnicas de Acuaponia. *Cenadac*, 1–47.
- Cordera Campos, R. (2017). Globalización en crisis; por un desarrollo sostenible. *Economía UNAM*, 14(40), 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.eunam.2017.01.001>
- FAO. (2009). Cómo alimentar al mundo en 2050, 2050(1), 1–28.

- FAO, & OPS. (2017). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2017*. <https://doi.org/978-92-5-309960-3>
- García, A. M., Ramírez, A., & Lacasaña, M. (2002). Prácticas de utilización de plaguicidas en agricultores. *Gaceta Sanitaria*, 16(3), 236–240. [https://doi.org/10.1016/S0213-9111\(02\)71667-1](https://doi.org/10.1016/S0213-9111(02)71667-1)
- García Ulloa, M., León, C., Hernández, F., & Chavéz, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponia. *Avances de Investigación Agropecuaria*, 9, 5. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gilsanz, J. C. (2007). Juan C. Gilsanz*. *Hidropinia*, 32.
- Girón, A. (2016). Objetivos Del Desarrollo Sostenible Y La Agenda 2030: Frente a Las Políticas Públicas Y Los Cambios De Gobierno En América Latina. *Problemas Del Desarrollo*, 47(186), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2016.08.001>
- Gómez-Merino, F. C., Ortega-López, N. E., Trejo-Téllez, L. I., Sánchez-Páez, R., Salazar-Marcial, E., & Salazar-Ortiz, J. (2015). LA ACUAPONÍA: ALTERNATIVA SUSTENTABLE Y POTENCIAL PARA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN MÉXICO. *AQUAPONICS: SUSTAINABLE AND POTENTIAL ALTERNATIVE FOR FOOD PRODUCTION IN MEXICO.*, 8(3), 60–65. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fap&AN=108617513&site=ehost-live>
- Guerrero, M., & Sarauz, S. (2015). PANORAMA AGROECONÓMICO DEL ECUADOR.
- Gutiérrez, M. E. M. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos Aquaponic recirculation systems, (60).
- Hernández, F. (2017). Diseño , construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis Mossambicus*) y Lechuga Crespa (*Lactuca Sativa*).
- IDAE. (2007). *Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada*.
- Kanchi Díaz, D. A. (2013). Implementación de un sistema acuapónico urbano bajo invernadero en la ciudad de Xalapa, Ver., 40.
- Luna, A. (2015). ANÁLISIS TÉCNICO DE LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) Y LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN DOS SISTEMAS DE ACUAPONÍA/TECHNICAL ANALYSIS OF TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) A..., (October).
- Mapama. (2011). La contaminación y el deterioro de los recursos naturales, 2, 19–33. Retrieved from http://www.cma.gva.es/areas/educacion/educacion_ambiental/educ/sensibilizacion/pdf/MANUALDE_2.PDF
- Mart, R. (2015). La acuaponía como herramienta didáctica para la enseñanza de la ciencia y la tecnología, (February). <https://doi.org/10.13140/2.1.2680.9129>
- Meza, E. (2016). Universidad veracruzana.
- Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Iglesias, V., Muñoz, M. P., Achú, E., Cornejo, C., ... Brito, A. M. (2016). *Plaguicidas organofosforados y efecto neuropsicológico y motor en la Región del Maule, Chile*. *Gaceta Sanitaria* (Vol. 30).

<https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.01.006>

Nacional, C. (2017). Producción de lechuga y tilapia en acuaponia.

Odir, E., Zometa, G., Rodrigo, P., & Vega, L. (2010). Elmer Odir Grande Zometa Pedro Rodrigo Luna Vega Zamorano, Honduras.

Pimentel, B., Junier, A., Del, C., & Johannys, C. (2011). Producción de tomate y tilapia en un sistema acuapónico con 50, 100, 150 y 200 ppm de nitrógeno.

Rakocy, J. E., Shultz, R. C., Bailey, D. S., & Thoman, E. S. (2004). Aquaponic Production of Tilapia and Basil : Comparing a Batch and Staggered Cropping System, 63–69.

Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., & Hurtado Giraldo, H. (2008). La acuaponia: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1), 32–51. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3050675>

Salinas, H. M., Linares, Samantha Jennifer Martínez Ortega, A., Gaspar, G. O., Adrian, R., Lule, M., Qfb, A., & Mejía, R. (2006). *Acuaponia, plantas y peces libres de químicos*.

Serra-Majem, L. (2010). Nutrición comunitaria y sostenibilidad: concepto y evidencias. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 16(1), 35–40. [https://doi.org/10.1016/S1135-3074\(10\)70010-7](https://doi.org/10.1016/S1135-3074(10)70010-7)

Urteaga, E. (2009). Las teorías económicas del desarrollo sostenible. *Cuadernos de Economía*, 32(89), 113–161. [https://doi.org/10.1016/S0210-0266\(09\)70051-2](https://doi.org/10.1016/S0210-0266(09)70051-2)

van Hemmen, J. J. (1992). Agricultural Pesticide Exposure Data Bases for Risk Assessment (pp. 1–85). https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9748-9_1