



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“Revisión bibliográfica de uso de sistemas hidropónicos en el
cultivo de hortalizas”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Poma Astuhuaman, Walter Aldair (ORCID:0000-0002-6477-7615)

ASESOR:

Dr. Valdiviezo Gonzales, Lorgio Gilberto (ORCID: 0000-0002-8200-4640)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad de Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2020

Dedicatoria

A Dios y mis padres por haberme apoyado incondicionalmente, mediante sus enseñanzas, consejos y esfuerzo que me han inculcado como la persona que soy actualmente; así logrando cumplir un logro más gracias a ustedes.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por guiarme en la vida en momentos difíciles y a mis padres: Walter y María: por su confianza, esfuerzo y sacrificio en mi formación durante todo este tiempo.

Y expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad César Vallejo, toda la Escuela de Ingeniería Ambiental y al Dr. Lorgio Valvidiezo por la enseñanza de sus conocimientos y paciencia.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de Tablas.....	v
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Abreviaturas.....	vii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	26
3.1 Tipo y diseño de investigación	26
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	26
3.4 Participantes.....	29
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29
3.6 Procedimientos.....	30
3.7 Rigor científico.....	31
3.8 Método de análisis de información	32
3.9 Aspectos éticos	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
V. CONCLUSIONES.....	38
VI. RECOMENDACIONES.....	39
REFERENCIAS	40
ANEXOS.....	51

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Propiedades fisicoquímicas de la lechuga</i>	52
Tabla 2. <i>Clasificación taxonómica de la lechuga</i>	52
Tabla 3. Tabla de los tipos de sustratos y sus propiedades físico-químicas.....	13
Tabla 4. Tabla de Antecedentes	18
Tabla 5. Matriz de Categorización Apriorística	27
Tabla 6. Ficha de Recolección de Datos.....	53
Tabla 7. Resumen de Criterios de Búsqueda.....	31
Tabla 8. Tipos de fuentes de aguas empleadas en los sistemas hidropónicos	53
Tabla 9 Tipos de sustratos empleados en los sistemas hidropónicos	54
Tabla 10 Tipos de soluciones nutritivas empleados en los sistemas hidropónicos	55
Tabla 11 Tipos de iluminación artificial empleados en los sistemas hidropónicos	56
Tabla 12 Tipos de sistemas automatizados empleados en los sistemas hidropónicos.....	56
Tabla 13 Tipos de organismos empleados en los sistemas hidropónicos	57
Tabla 14 Tipos de biofiltros alternos empleados en los sistemas hidropónicos.....	58

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Jardines hidropónicos, conocidos como Jardines Colgantes de Babilonia	5
<i>Figura 2.</i> Diseño del Chinampa.....	6
<i>Figura 3.</i> Nutricultura.....	6
<i>Figura 4.</i> Sistema Hidropónico de Técnica de película de nutrientes.....	7
<i>Figura 5.</i> Sistema Hidropónico de Técnica de Flotación Profunda.....	8
<i>Figura 6.</i> Sistema Aeropónica.....	9
<i>Figura 7.</i> Sistema de marco A (1) y Sistema de marco A con riego aeropónico (2).....	10
<i>Figura 8.</i> Sistema Acuapónico.....	11
<i>Figura 9.</i> Disminución del volumen de los nutrientes, por las plantas.	15
<i>Figura 10.</i> Modelo Integral basado en IO.....	51
<i>Figura 11.</i> Diseño del Sistema Hidropónico Inteligente.....	51

Índice de abreviaturas

MINAGRI: Ministerio de Agricultura y Riego

UN: Naciones Unidas

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura

BM: Banco Mundial

GEI: Gases de Efecto Invernadero

AAC: Agricultura de Ambiente Controlado

a.C: Antes de Cristo

T: Temperatura

CE: Conductividad Eléctrica

HR: Humedad Relativa

CO₂: Dióxido de Carbono

LED: Diodo Emisor de Luz,

TFP: Técnica de Flotación Profunda

TPN: Técnica de Película de Nutrientes

AP: Acuapónico

AE: Aeropónico

HL: Humus Líquido

IT: Implementación de Tecnología

DFFF: Densidad del Flujo de Fotones Fotosintéticos

NT: Tratadas en Invernadero

IVT: Tratadas en Vitro

LO: Longitud de Onda

DGL: Digestato del Biogás Líquido

DGS: Digestato Sólido

SE: Solución Estándar

DBA: Digestato del Biogás Diluido con Agua

ARPP: Aguas Residuales Porcinas Pretratadas

LDT: Lodos Domésticos Tratados

SIA: Sistema de Irrigación Automatizada

MIC: Modelo Integral en Base IO de Control Manual

AFC: Arrozales Flotantes con Sustrato de Ceramista

IO: Internet de las Cosas

Cu: Cobre

Zn: Zinc

kWh: kilovatio por hora

p.: Página

pp.: Páginas

párr.: Párrafo

Resumen

Los objetivos de esta investigación, fue describir las mejoras reportadas en la literatura en los sistemas hidropónicos de los cultivos de hortalizas, así mismo, identificar las eficiencias de los diversos sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas en la actualidad. El enfoque presente de esta investigación fue tipo básica, con un diseño cualitativo narrativo de tópicos. Se ha considerado 54 documentos científicos conformado por artículos científicos, libros, entre otros. Los resultados obtenidos respecto a las mejoras incluyen: aplicación de agua marina (fuente de agua); fibra de cáscara de coco, perlita y biocarbón de cáscara de arroz (sustratos); bioinoculantes y ácidos orgánicos, aguas residuales porcinas pretratadas no diluidas, digestato solido (sustrato) y digestato liquido (soluciones nutritivas); roja, azul y verde (iluminación artificial); irrigación automatizada, modelo integral en base IO (sistemas automatizados); cangrejos rojos y blancos (organismos); arrozales flotantes junto al sustrato de ceramista (biofiltro). En cuanto al ahorro del agua, se incluyen a la técnica de película de nutrientes, técnica de flotación profunda, aeroponía y acuponía, redujeron el consumo del agua un 95%; respecto al ahorro energético, los sistemas hidropónicos, introducidos en un invernadero, logran ahorrar el consumo, mediante focos LEDs o el empleo de la energía renovable y en cuanto al ahorro de nutrientes, el sistema acuapónico, reemplazaron las soluciones nutritivas convencionales, por las excretas (nutrientes) de los peces, en donde, son recicladas y empleadas en los cultivos de hortalizas. Se recomienda sugerir investigaciones sobre tópicos específicos, respecto a mejoras en soluciones nutritiva, sustratos, fuentes de agua, iluminaciones artificiales, organismos, automatizaciones para una producción sostenible y mejoría en la biomasa en los cultivos de hortalizas, para futuras investigaciones.

Palabras clave: Sistemas hidropónicos, acupónicos y aeropónicos, cultivo de hortalizas hidropónicas, eficiencia en sistemas hidropónicos.

Abstract

The objectives of this research were to describe the improvements reported in the literature on hydroponic systems in vegetable crops as well as to identify the efficiencies of the various hydroponic systems in vegetable crops today. The present focus of this research was basic type, with a qualitative narrative design of topics. Fifty-four scientific papers have been considered, consisting of scientific articles, books, among others. The results obtained regarding improvements include: application of seawater (water source); coconut shell fiber, perlite and rice shell biocoal (substrates); bioinoculants and organic acids, undiluted pre-treated pig wastewater, solid digestate (substrate) and liquid digestate (nutrient solutions); red, blue and green (artificial lighting); automated irrigation, IO-based integral model (automated systems); red and white crabs (organisms); floating rice paddies next to the ceramic substrate (biofilter). In terms of water saving, the nutrient film technique, deep flotation technique, aeroponics and acupuncture, reduced water consumption by 95%; with respect to energy saving, hydroponic systems, introduced in a greenhouse, managed to save consumption, through LEDs or the use of renewable energy and in terms of saving nutrients, the aquaponic system, replaced the conventional nutritional solutions, by the excrements (nutrients) of fish, where they are recycled and used in vegetable crops. It is recommended to suggest research on specific topics, regarding improvements in nutritive solutions, substrates, water sources, artificial lighting, organisms, automations for a sustainable production and improvement in the biomass in vegetable crops, for future research.

Keywords: Hydroponic, acupuncture and aeroponic systems, hydroponic vegetable cultivation, efficiency in hydroponic systems.

I. INTRODUCCIÓN

La Agricultura Peruana de hoy en día está en riesgo debido al cambio climático. En los últimos 40 años, hubo una disminución del 20% a 30% de los glaciares; colocando en peligro a la agricultura convencional, provocando la desertificación del suelo, el desequilibrio en las tierras agrícolas, el sistema minifundista por medio de fraccionamiento de parcelas, la calidad de los cultivos y las condiciones productivas, teniendo efectos negativos en la producción agropecuaria.

Asimismo, se estimó que el 34% del suelo agrícola costera está en constante riego, sin embargo, el 66% del suelo agrícola andino está pendiente al riego por precipitaciones, volviéndolo vulnerable a los impactos ambientales negativos producidos por el cambio climático (MINAGRI, 2020, párr.11-13).

Por lo que, en 2018, el Grupo Intergubernamental de Expertos, informó sobre el aumento de temperatura hasta 1.5°C del calentamiento global, tanto que, si sigue aumentando tendrá impactos ambientales negativos como el derretimiento de los glaciares e incremento del nivel del mar (10 cm), la disminución de ecosistemas acuáticos en un 70 a 90% (corales) (UN, 2018, párr.9-11).

De igual importancia, la actividad agricultura es una de las actividades más productivas que tiene el Perú, por la presencia de diversos agroclimas (por altitudes de las Cordilleras de los Andes y corrientes del Pacífico), recurso hídrico (lo manejan mediante cuencas hídricas por entidades como la Autoridad Nacional del Agua), haciéndolo posible su alta productividad (MINAGRI, 2019, pp.23-57).

El Decreto Supremo N° 009-2016-MINAGRI, busca asesorar tanto a los agricultores y agricultoras, en el manejo sostenible de los recursos naturales para el aprovechamiento de la población rural del campo y económicamente, de esta manera mantener la producción de cultivos de hortalizas (MINAGRI, 2019, pp.23-57); por ejemplo, la lechuga perteneciente a la especie (*Lactuca sativa L.*) son muy consumidas en todo el Perú, por su textura y propiedades fisicoquímicas donde están detallados en la tabla (anexo 5 y 6) (Saavedra, Corradini, Antúnez, Felmer, Estay y Sepúlveda, 2017, p. 19; Cubillos, 2015, p.13; Méndez y Menchu, 2012, p. 36).

El Banco Mundial en América Latina y el Caribe (2018), expuso en un estudio, de que el sector agrícola es el potencial económico del Perú, donde forma 24% de empleos, proporciona el crecimiento productivo y la competitividad entre otros sectores, porque, el PBI de este sector es el más elevado, por sus aportaciones del 7.3% del valor agregado. Además, el desarrollo de la agricultura rinde anualmente un 3.3%, permitiendo la competencia en el mercado. No obstante, se estimó que la producción en la región costera se elevó un 7.2%, a diferencia de la región selvática que bajo al -0.2% y la región andina se mantuvo al 0.2%, por lo tanto, se necesita recurrir a nuevas estrategias productivas, entre ellas fomentar la innovación tecnológica entre otros (BM, 2018, párr.6-9).

Según INFOCARBONO, se estimó que, en los diferentes sectores económicos del país, en cuanto a emisiones de gases (CO₂) hacia la atmósfera, son los siguientes: Uso de suelos, cambio de usos de suelos y silvicultura (44.95%), Energía (30.02%), Agricultura (15.6%), Desechos (5.8%), Procesos Industriales y Usos de productos (3.60%) (INFOCARBONO, 2019, p.48).

De la misma forma, el problema de la agricultura convencional es que también aporta con contaminantes como los gases de efecto invernadero (GEI), como las categorías de suelos agrícolas (51.38%), fermentación entérica (35.52%), empleo de estiércol (5.32%), cultivos de arroz (4.32%), incineración de residuos agrícolas (2.07%), quema de sabanas (1.39%) (INFOCARBONO, 2019, pp. 170-171). Sin embargo, esta estimación impacta a la atmósfera sino, también al agua y al suelo debido al uso excesivo de plaguicidas, insecticidas, fungicidas y herbicidas para el control fitosanitario, pues al emplear estos agrotóxicos al suelo, puede filtrar hacia las aguas subterráneas como también en las escorrentías llevando consigo elementos tóxicos, de este modo afectando la calidad del agua y la productividad del suelo agrícola (MINAGRI, 2015, p.15).

Mediante investigaciones, se halló que en ciudades de Nueva York y Europa han aplicado, tipos de granja o invernaderos, que utilizan sistemas sin suelo, en los cuales, tenemos a la hidroponía, aeropónicos y acuapónicos, donde se conoce como agricultura de ambiente controlado (AAC) y se encuentra frecuentemente estas granjas, dentro o encima de las edificaciones (Goodman y Minner, 2018, pp.161).

De hecho, el sistema hidropónico es altamente rentable y ecológico, de esta manera apoyamos el cuidado del medio ambiente. En este sentido las ventajas de la hidroponía son mayores que las de que se puede tener en el suelo, como mayor control en su nutrición y su temperatura al entorno durante el crecimiento de las hortalizas, el aumentar el proceso productivo de alimentos, reducir el consumo del agua, entre otros; que ayudara a mitigar los impactos negativos hacia el medio ambiente, como a la salud de las personas (Beltrano *et al.*, 2015, pp.17-19).

En la presente investigación tenemos como objetivo general: Evaluar la evolución de los sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas y como objetivo específico 1: Describir las mejoras reportadas en la literatura en los sistemas hidropónicos de los cultivos de hortalizas, objetivo específico 2: Describir las eficiencias de los diversos sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas en la actualidad. Como así, el problema de investigación general ¿Cómo ha evolucionado los sistemas hidropónicos de los cultivos de hortalizas? y del problema específico 1: ¿Cuáles son las mejoras reportadas en la literatura en los sistemas hidropónicos de los cultivos de hortalizas?, problema específico 2: ¿Cuáles son las eficiencias en los diversos sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas en la actualidad?.

Esta investigación se desarrolló, por la escasa información de investigaciones de los sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas en nuestro país, por ello, este estudio aportara y contribuirá con investigaciones mediante la revisión bibliográfica sistemática de artículos científicos, proyectos tecnológicos e innovadores referente a la evolución y mejoras de los sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas en la actualidad, como una alternativa tecnológica sostenible y ecoeficiente.

Asimismo, algunas granjas incorporadas con estos sistemas, pueden minimizar el uso del agua a un 90% a diferencia de la agricultura convencional, tanto que, este consume el 70% de este recurso. Por otra parte, hay regiones con un uso limitado del agua, como la región Nena, que en los últimos 40 años se redujo un 60%, por esta razón, se buscó una manera de mitigar los escases de este recurso, esto se puede notar en Arabia Saudita, Egipto, Irán entre otros, donde emplearon la acuaponía (crianza de peces y el cultivo de hortalizas) (FAO, 2018, párr. 1-3)

Y aportes como ello, nos permite ampliar el conocimiento de los sistemas, en lo cual se evita los impactos negativos ambientales que presenta la agricultura convencional y, por otra parte, guiar en las futuras investigaciones y organizaciones ambientales, tanto dentro como fuera del país.

II. MARCO TEÓRICO

Inicialmente, la tecnología de la hidroponía surgió en la antigüedad, en el cual, utilizaban granjas sin suelo, para sus cultivos sobre el agua, uno de los aportes en la agricultura fueron los Jardines Colgantes de Babilonia, ubicada cerca al río Éufrates, alrededor de 605 - 562 a. C., por su modelo arquitectónico (las terrazas de piedra fueron colocadas de manera de escalones, donde cultivaron distintas especies de plantas y eran regados desde las terrazas, y con la ayuda de la gravedad regaba a las demás plantas). En la *figura 1*. representa el diseño arquitectónico de los jardines.

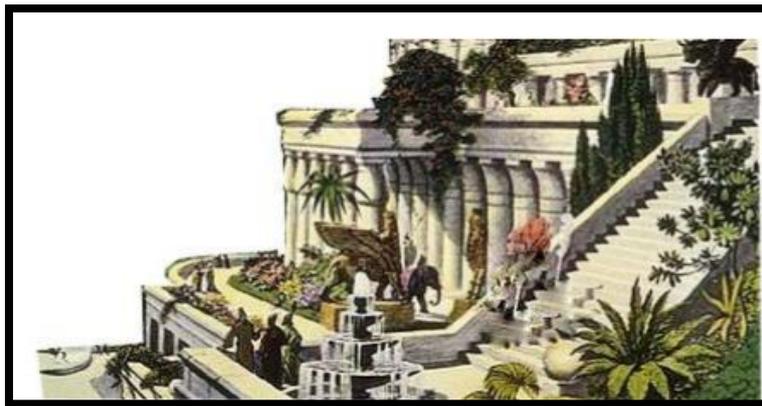


Figura 1. Jardines hidropónicos, conocidos como Jardines Colgantes de Babilonia
Fuente: Beltrano, 2015, p. 13.

Así mismo, Marco Polo (1275-1292) relataba la descripción de los jardines flotantes en sus diarios de viaje por la China (Vargas, 2010, p. 44); también realizaban cultivos de arrozales combinando los peces (anguilas de lodo, carpa, misgurno) (Veiga, 2019, pp. 300). En culturas, como Los Aztecas, utilizaban la técnica de jardines flotantes, formado una balsa a base de cañas y tierra de bajo del lago como sustrato, esta se llamó "chinampas" donde cultivaron variedad de verduras y frutas, donde lo utilizaron sobre el Lago Tenochtitlán por necesidad, debido a que la civilización estaba en guerra por el territorio. Según el historiador William Prescott, en el siglo XVI, a la llegada de los españoles, se impresionaron por la cantidad de islas de verduras (chinampas) sobre el lago, donde hasta el siglo XIX siguió siendo utilizadas pero su uso disminuyó (Beltrano, 2015, pp. 12-18). En la *figura. 2* se muestra el diseño, de balsas hechos con cañas y tierra como sustrato, donde cultivaban.

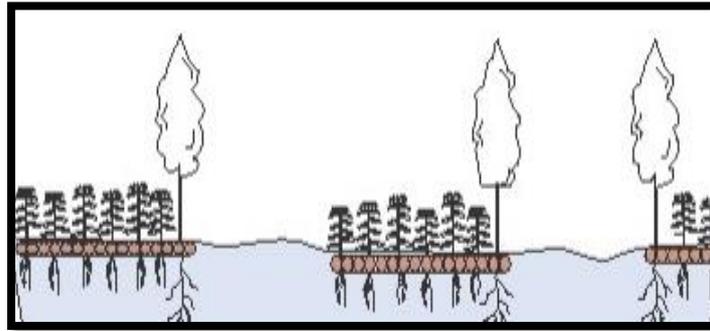


Figura 2. Diseño del Chinampa

Fuente: Beltrano, 2015, p. 15.

Alrededor de 1699 en Inglaterra, uno de los pioneros en emplear el desarrollo de las plantas en distintos envases en un medio líquido, fue el naturalista John Woodward. De la misma forma, en el año 1860, el investigador Julius von Sachs (botánico alemán) y Wilhelm Knop (químico alemán) entre otros, desarrollaron un cultivo a base de solución nutritiva, nombrado “nutricultura”. Y al transcurso de los años, en 1969 el científico estadounidense William Frederick Gericke mediante sus investigaciones en la Universidad de California, utilizó esta tecnología para usos comerciales (Gavilán, 2015, p. 3). En la figura 3. representa el desarrollo de una planta en un recipiente con una solución de nutrientes.

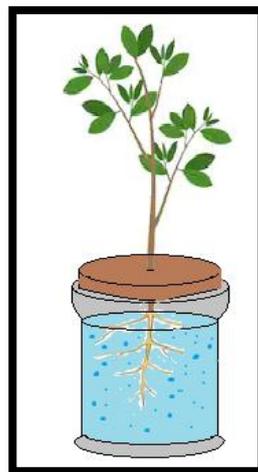


Figura 3. Nutricultura

Fuente: Elaboración propia

Según Beltrano (2015), el ministerio británico de agricultura, en 1935 y 1945 emplearon la hidroponía en la campaña “Cultivar Mas Comida” durante la segunda guerra mundial (p. 23).

Por otra parte, esta tecnología se ha adecuado para el cultivo de hortalizas por su desarrollo de la hoja, creando sistemas hidropónicos como: el TPN (Técnica de Película de Nutriente), fue diseñado por el inglés Alan Cooper (1960), este sistema de recirculación está conformado por largas canaletas con agujeros en la parte superior para el montaje de las plántulas, donde se desarrollará las plantas porque en las canaletas fluirá el agua teniendo un contacto directo con las raíces, de manera que fluya adecuadamente, debe tener una pendiente (1-4%), en el cual, el agua es capturado en un recipiente y luego reutilizarlo para evitar que la película de nutrientes se seca (Son, Kim y Ahn, 2016, párr. 2; Mattson y Lieth, 2019, p. 570); en la siguiente *figura 4*. observamos el enfoque que tiene las raíces suspendidas en la canaleta, en el cual tiene un contacto con la solución de nutrientes recirculando, mediante el bombeo de este y constantemente aireada en un cierto periodo.

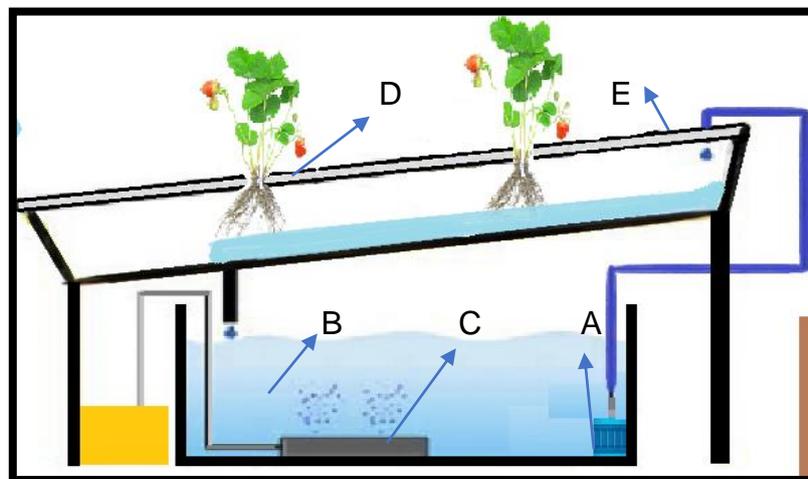


Figura 4. Sistema Hidropónico de Técnica de película de nutrientes, compuesto por: bomba de aire (A), solución nutritiva (B), aireador (C), cultivo de hortaliza (D) canaleta (E).

Fuente: Elaboración Propia

El TFP (Técnica de Flujo Profundo) fue introducido por Hoagland Robert y Arnon Israel en 1950; es un sistema de cultivo en aguas profundas, donde utiliza camas de cultivo en balsa sobre el agua, para que las plantas puedan crecer con las raíces suspendidas en el agua junto con la solución nutritiva con un suministro de aire, este sistema produce de forma activa; sin embargo, las plantas con un crecimiento

prolongado, puede ser afectados por mohos o algas (Wortman, 2015, p. 37; Seungjun y Jiyoun, 2015, p. 208).

En la *figura 5* se muestra el diseño de funcionamiento a base de un recipiente conteniendo solución nutritiva, oxigenada por un aireador; la superficie de este, se cubre con una plancha de poliestireno, donde tendrá unos agujeros para colocar las plantas y a si las raíces flotaran sobre la solución.

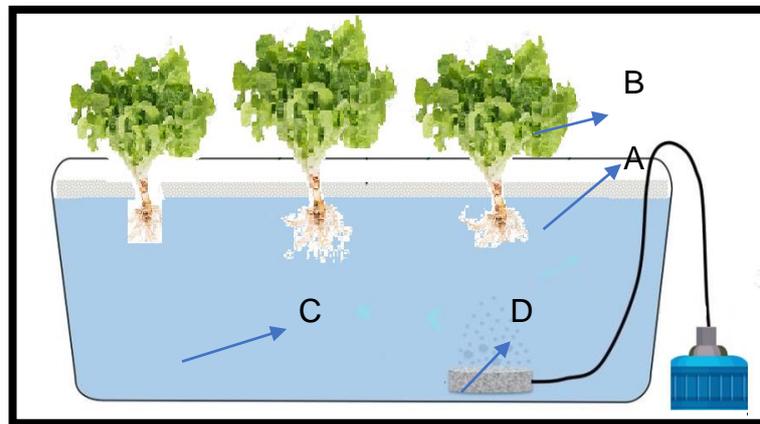


Figura 5. Sistema Hidropónico de Técnica de Flotación Profunda, compuesto por: planta de polietileno (A), cultivo de hortaliza (B), solución nutritiva (C) y aireador (D). Fuente: Elaboración Propia

En 1980, en los Países Bajos (Roermond), debido al avance de la iluminación y plásticos, se inventaron la primera granja vertical con luz artificial, donde las condiciones o factores pueden ser controladas, este proyecto fue de la combinación de empresas técnicas Schulte & Lestrade (Besten, 2019, p. 308).

Por otro lado, los sistemas aeropónicos fueron desarrollados por el italiano Franco Massantini (1980), donde se basa en encerrar el sistema radicular, en una cámara oscura que provee solución nutritiva nebulizada (neblina fina de concentración saturado de oxígeno disuelto de solución nutritiva) con un rociador, teniendo contacto directo periódicamente con la zona de la raíz y son drenadas (*Figura 6.*) (Buckseth, Sharma, Pandey, Singh y Muthuraj, 2016, pp. 82-83; Mattson y Lieth, 2019, p. 570). En la siguiente *figura 6*, muestra el diseño del sistema, basandose en una camara de cultivo, donde está contiene el agua más la solución nutritiva, con el apoyo de la bomba de aire, se bombea hacia el rociador y esta rocía las

raíces del cultivo, sin embargo, la solución nebulizada desciende por gravedad sobre el contenedor y vuelve a la etapa inicial.

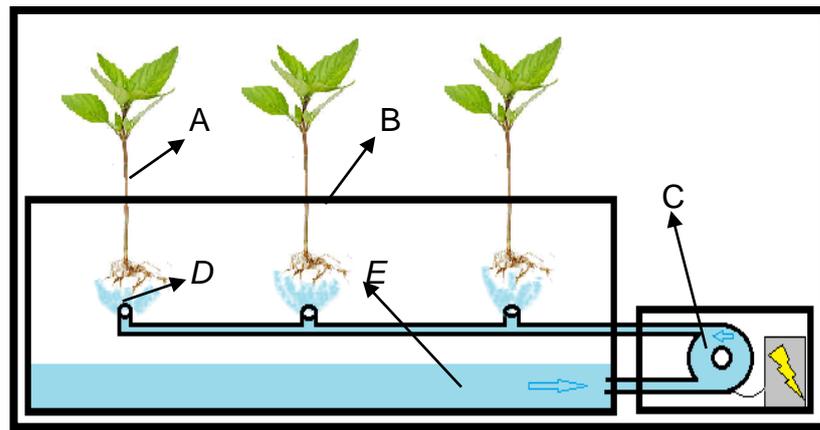


Figura 6. Sistema Aeropónico, está compuesta por: cultivo de hortaliza (A), cámara oscura (B), bomba de agua (C), rociador (D) y solución nutritiva (E).

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, Morgan J.V. (1985) investigó una manera de aumentar la eficiencia del uso del espacio donde describió su principio para un sistema de marcos A, con 12 niveles, a su vez, los investigadores Leoni, Pisanu, Grundina (1994), aplicaron el sistema marco A con riego aeropónico, en los cultivos de lechugas y tomates (Os, Gieling y Lieth, 2019, p. 616).

La figura. 5 muestra un diseño de manera que, duplica el espacio, pero las plantas que se encuentran en los niveles más inferiores no recibirán mucha luz, resultando una producción menor.

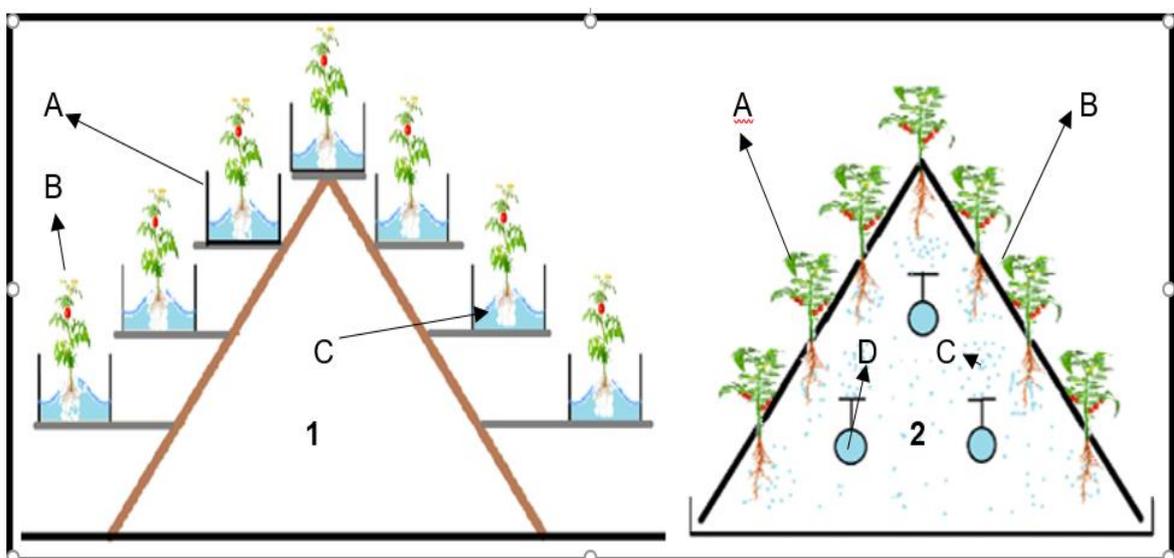


Figura 7. Sistema de marco A (1) compuesto por: canaleta (A), cultivo de hortalizas (B), solución nutritiva (C) y Sistema de marco A con riego aeropónico (2) compuesto por: cultivo de hortaliza (A), soporte (B), solución nutritiva nebulizada (C) y nebulizador (D).

Fuente: Elaboración Propia

El sistema acuapónico fue diseñado por el norteamericano Mark McMurtry, en 1990, en la Universidad Estatal de Carolina del Norte (Konig, Janker, Reinhardt, Villarroel y Junge, 2018, p. 233); este se basa en la recirculación acuícola con TPN, dado que, al alimentar a los peces de tipo comercial, donde excretan material (amoníaco) donde se acumula en el agua, puesto que, nitrifica y biofiltra las plantas, como parte de solución nutritiva (nitrato entre otros) (Endo, 2019, p. 340.),

En la *figura 8.* se muestra un sistema de cultivo de peces compuesto por un aireador y una bomba de agua; y dos lechos de balsa flotante hidropónica con iluminación LED, donde el agua residual del sistema de acuicultura pasa por un biofiltro, para desintoxicar el amoníaco producido por los peces, de esa manera, poder recircula por el sistema hidropónico como fertilizante para las plantas.

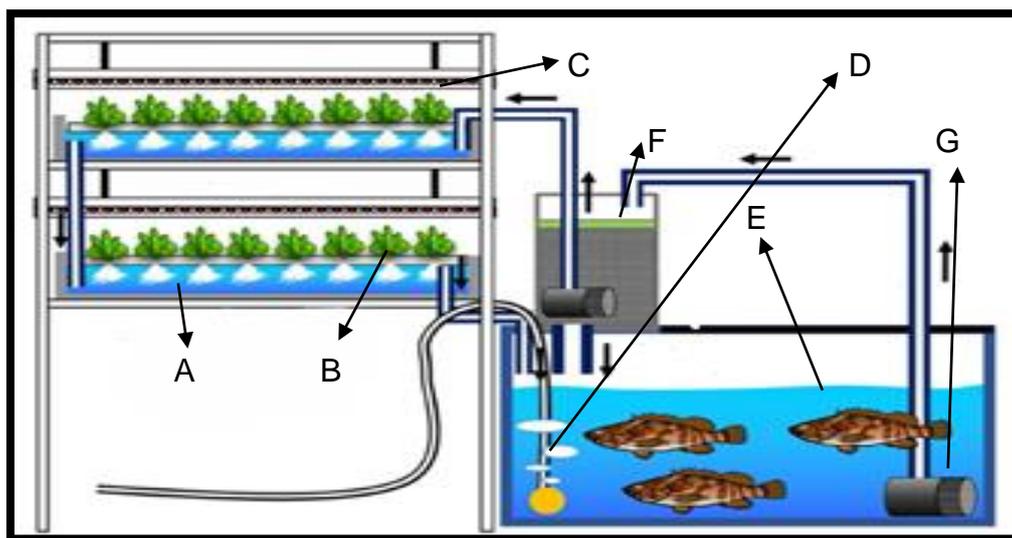


Figura 8. Sistema Acuapónico, compuesto por: solución nutritiva (agua reciclada de la granja de los peces) (A), cultivo de hortaliza (B), iluminación LED (C), aireador (D), cultivo de peces (E), biofiltro (F) y bomba de agua (G).

Fuente: Endo, 2019, p. 348.

En la actualidad se necesita utilizar eficientemente los recursos, dado que, el sistema hidropónico al interior de un invernadero, se logra minimizar a un más, que, en el campo abierto, el consumo del agua a un 95% y de la superficie del suelo en un 90%, entre otros (Kozai y Niu, 2020, p. 472). Como también, el consumo de la energía eléctrica. Según Kozai y Niu (2016) se utiliza de 7 a 10 kWh, por cada lechuga, por ello, utilizaron focos LEDs reduciendo el consumo a un 50% (4-5 kWh) (p.397).

En vista de reducir el consumo de energía eléctrica (iluminación, aire acondicionado, etc), se ideó en aplicarlo en zonas rurales, mediante el suministro de la energía renovable, como, por ejemplo: solar, eólica, entre otros; para luego, utilizar eficientemente la energía eléctrica almacenada en la batería (Kozai y Niu, 2020, p. 473).

Entre tanto, las hortalizas son las plantas comestibles que se pueden cultivar en un medio, tales como, en las chacras, huertos e invernaderos, en donde, estas se clasifican en: raíz (zanahoria (*Daucus carota*), betarraga (*Beta vulgaris*), etc.); hoja (lechuga (*Lactuca sativa*), acelga (*Beta vulgaris*), espinaca (*Spinacea oleracea*), etc.); tallos y bulbos (papa (*Solanum tuberosum*), cebolla (*Allium cepa*), etc.); flor y coles (brócoli (*Brassica oleracea*), alcachofa (*Cynara scolymus*), etc.) y frutos (tomate (*Physalis ixocarpa*), pepino (*Cucumis sativus*), etc.); estos cumplen una función importante, la que es contribuir en la alimentación, debido a los componentes bioactivos, por ejemplo: los fitoquímicos y antioxidantes, esto es claro en las frutas y verduras, mediante el consumo de sus hojas, raíces, tallos, frutos y flores (Pantoja y Gonzáles, 2014. pp. 20-21).

Hasta ahora, las hortalizas se suelen realizar sobre un sustrato, en los sistemas como apoyo en las raíces de las plantas y conservar la concentración de la solución nutritiva, teniendo en cuenta que la solución proporciona una óptima condición para el crecimiento de las microalgas, teniendo un efecto negativo en la absorción de nutrientes de las plantas, lo que afecta en el valor del producto, mientras que las algas secretan toxinas y son absorbidas por el cultivo, en el cual, tendría un impacto dañino en la salud de las personas (Awad. Lee, Ahmed, Vu, Farooq, Kim, kim, Vithanage, Usman, Al-Wabel, Meers, Kwon y Ok, 2017, p. 582).

Además, los sustratos se clasifican en 2 tipos: sustratos químicamente inertes, solo proceden como soporte de la planta, como, por ejemplo: arena silíceas, grava, perlita, arcilla expandida, entre otros; y los sustratos químicamente activos, cumple como soporte y almacén de nutrientes, proporcionados por la solución nutritiva (Andreau, Gimenez y Beltrano, 2015, p. 82).

Según Andreau, Giménez y Beltrano (2015), el origen de los materiales, se dividen en materiales orgánicos; los cuales son de origen natural (descomposición biológica, como: las turbas), síntesis (polímeros orgánicos no biodegradables, por medio de síntesis química) y subproductos e residuos (por medio del proceso del compostaje); materiales inorgánicos, se dividen en: origen natural (obtenido por tratamientos físicos simples, como: la arena, grava , entre otros); transformados (obtenido por tratamientos físicos complejos, como: perlita, vermiculita, lana de roca, entre otros); residuos y subproductos (provenientes de actividades industriales, como: estériles del carbón, escorias de horno alto, entre otros) (p. 83).

Sin embargo, se ha desarrollado alternativas que logren mantener la calidad del agua por la mitigación del crecimiento de las algas, como el biocarbon (carbón vegetal), que permite una mejor retención de nutrientes, entre ellos, el nitrógeno y fósforo; y su capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Kaudal, Chen, Madhavan, Downie y Weatherley, 2016, párr.1). En la tabla 3., se describe sus tipos de sustratos y parámetros físico-químicos, en los cuales, presentan altas y bajas concentraciones para su elección en su uso, teniendo en cuenta que, los sustratos tendrán contacto directo con la raíz e indirectamente con la solución nutritiva, por ello, se recomienda que CE sea bajo y un pH aproximadamente neutro en los distintos sistemas hidropónicos.

Tabla 3. Tabla de los tipos de sustratos y sus propiedades físico-químicas

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	SUSTRATOS							
	Compost de posidonia y vegetales	Compost de vegetales de invernadero	Turba " <i>Sphagnum rubia</i> "	Corcho	Fibra de coco	Cascara de arroz	Perlita	vermiculita
Conductividad Eléctrica (CE)	7,4 dS/m ¹	22,85-34,29 dS/m ¹	0,4 dS /m ¹	0,5 dS/m ¹	3,52 dS/m ¹	0,11 dS/m ¹	74,7 μS/cm	0,31-0,63 dS/m ¹
pH	8,14	7,9-8,0	3,9	6,5-7,0	5,7	6,7	7,85	7,93-8,31
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC, meq/100g)	-	41,0-45,9	99	50	61	-	-	-

Fuente: Gavilán, 2015, p. 75; Urrestarazu, Cañero, Navarro, Ortega y Egea, 2019, p. 50; Pisa, Wuta y Muchaonyerwa, 2020, p. 27.

No obstante, en la hidroponía suele presentar eutrofización por parte del clima, donde esta genera una floración de microorganismos, por ejemplo: Cianobacterias, que biosintetiza los metabolitos secundarios "cianotoxinas alcaloides y peptidos", sin embargo, estos se clasifican en familia (Neurotoxinas "Agente neuromuscular despolarizador post-sináptico, que afecta la parálisis muscular"; Hepatotoxina "De tipo microcistina-LR, son captados por el sistema de transporte de ácidos biliares que afecte al hígado de la persona y las plantas son absorbidas por las raíces, en donde, habrá mayor influencia de toxinas en las hojas"; Citotoxinas "Esta bloquea la síntesis de proteínas en las células, afectando los riñones, glándulas suprarrenales ente otros, al igual que a las células vegetales" (Corbel, Mougin y Bouaicha, 2014, pp. 2-9).

También, algunos mohos desarrollan toxinas elevadas y se hallan de forma algodonosas en las hortalizas; *Listeria monocytogenes*, este se prolifera en refrigeración y se puede prevenir mediante el cocido; *Clostridium botulinum*, esta bacteria desarrolla altas toxinas, si la hortaliza tiene contacto con la superficie del suelo, provocando intoxicación por botulismo. Por otra parte, también se genera

sustancias antinutritivas, pongamos por caso: las hojas de las espinacas que presentan oxalatos, en donde se fija el calcio y se limita el consumo a las personas perceptibles a la litiasis renal (Batalla, 2004, pp. 121).

Tal como, el caso de la neumonitis por hipersensibilidad infantil (HI) en un infante de 14 años por disnea, ante un análisis de biopsia de pulmón (toracoscopia) e histológico, mostró una infiltración de los espacios alveolares y el intersticio con linfocitos e macrófagos; a causa del microorganismo fúngico dominante (104 UFC/ml) *Aureobasidium pullulans*, y entre otros menores, pongamos por caso los *Fusarium spp.*, *Trichoderma viride*, *Acremonium spp.*, *Penicillium corylophilum*, *Aspergillus versicolor*, hallados en una muestra de agua de los hidropónicos. Posteriormente, se le realizó al infante un tratamiento oral con 2 mg/kg de cuerpo peso/prednisolona y se le recomendó a la familia que retirara los hidropónicos de la casa (Engelhart, Rietschel, Exner y Lange, 2009, pp. 18-19).

De igual importancia, para el desarrollo del cultivo de hortalizas, se debe tener en cuenta, la composición de la solución nutritiva (SN), como los macronutrientes (Carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre), a lo cual, son necesarios en g/L y los micronutrientes (Hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno, níquel, cloro) en mg/L de solución, sin embargo, se requiere en forma iónica (cationes y aniones) para su desarrollo de las plantas compuesto por agua, pero en investigaciones consideran particularmente, los macronutrientes primarios (N, P, K), secundarios (Ca, Mg, S) y los micronutrientes (Fe, Si); generalmente la SN es monitoreada por la conductividad eléctrica (CE), porque, es un indicador de concentración y de pH para el control de cada elemento mineral (Rouphael, Kyriacou, Spyridon, De Pascale y Colla, 2018, p. 281).

Para Wada (2017, p. 7), para aplicar las soluciones nutritivas en el sistema, debe seguir el principio de la fórmula de Yamazaki, propuesto por el Dr. Yamazaki para sistemas, en el cuál, midió las concentraciones aparentes (CA) de absorción de los nutrientes mediante las plantas cultivadas en recipientes con agua aireada donde se vio, que el volumen de la solución disminuyera en una estimación de 70 a 80%. En la figura 9, se muestra en la fase (A): el volumen de la solución nutritiva inicial (w_1) y la concentración por elemento inicial (n_1); y la fase (B): volumen de la solución nutritiva final (w_2) y la concentración por elemento final (n_2); en esta, se observó

una disminución de concentraciones aparentes de absorción de nutrientes por las raíces de las plantas:

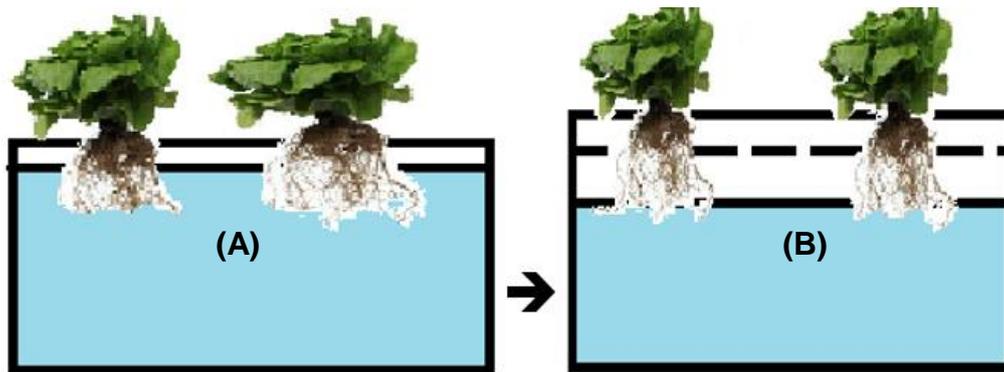


Figura 9. Disminución del volumen de los nutrientes, por las plantas.

Fuente: Elaboración Propia.

De este modo, que el volumen de la solución de nutrientes ($w1$) y una concentración por cada elemento ($n1$) al inicio del cultivo, de igual manera un volumen de la solución de nutrientes ($w2$) y una concentración de cada concentración por cada elemento ($n2$) al final del cultivo. La concentración aparente de la absorción de nutrientes por las plantas (N/W); la formula (1) se aplica para calcular las CA por absorción de nutrientes por las plantas, presentada en la siguiente (1):

$$\frac{N}{W} = \frac{n1 \times w1 - n2 \times w2}{w1 - w2} \quad (1)$$

El N/W de cada elemento fue calculado por distintas condiciones como, por ejemplo: conductividad eléctrica, pH, temperatura, etc (Wada, 2017, p. 7).

Por otra parte, los factores ambientales son importantes para los sistemas hidropónicos debido a que influye directamente con el desarrollo de la planta, como el suministro del agua en los sistemas, siendo así, esenciales en su uso, como, por ejemplo: el agua de lluvia (presenta baja conductividad eléctrica), agua superficial (puede ser de alta calidad pero a la vez baja, debido a la contaminación de las áreas urbanas cercanas), subterránea puede ser una óptima fuente de agua pero debido a la lixiviación de la superficie puede afectar la calidad, por ejemplo: la agricultura y su transporte de nutrientes hacia los acuíferos) y de mar desalinizada es eficiente pero resulta caro pero en países como Arabia Saudita lo emplean; en cambio, el agua del grifo municipal es el más accesible, puede que no sea adecuada para su uso en sistemas cerrados; a causa de que, si han agregado

calcio y cloro durante su proceso de tratamiento del agua municipal, entonces es particularmente importante que los cloruros estén presentes a menos de 1.5 mmol / L; por ende, en las regiones áridas y semiáridas, los niveles de cloruro son típicamente más altos que esto para que los productores tienen que manejar esto usando cultivares resistentes a la salinidad y otros medios (Os, Gieling y Lieth, 2019, pp. 588-591).

Por lo que, la calidad del agua de riego generalmente se evalúa mediante la disolución de minerales y sales en el agua. Porque, si hay una alta salinidad, aumentaría la conductividad eléctrica ($CE < 2 \text{ mS / cm}$) provocaría la supresión para muchas plantas. La CE óptima del suministro del agua debe ser menor de 0,5 mS / cm y la concentración de sodio es inferior a 0,5 mmol / L (Os, Gieling y Lieth, 2019, p. 594), por ende, se recomienda que la (CE) no debe ser menor de 0.25 dS/m (Mattson y Lierth, 2019, p. 573)

Sin embargo, en los sistemas acuapónicos de menor escala se sugiere que la CE sea menor 1 dS m⁻¹, el pH adecuado en los sistemas hidropónicos está en un rango de 5.5 a 6.0; a diferencia del pH de la solución nutritiva del acuapónico que se estima entre 7.0 a 7.5. (Wortman, 2015, p.39).

Durante el desarrollo el desarrollo de los cultivos de hortalizas, debe estar presente los factores microclimáticos, tal como, la radiación solar emitida de forma perpendicular sobre la superficie con una fracción de radiación que llegue hacia los cultivos hidropónicos; la luz que influye en la composición fitoquímica (antocianinas, carotenoides, clorofilas y flavonoides) del tejido de las plantas, a diferencia de la tecnología de diodos (LED), aplicado en su mayoría en invernaderos, como la luz azul entre las más recomendables (400 – 500 nm, espectro electromagnético) para su manejo óptimo (intensidad y calidad espectral) proporciona un aumento efectivo en la biosíntesis de metabolitos secundarios y la acumulación de antocianinas en las hojas, es el caso del albahaca (*Ocimum basilicum L.*), la lechuga (*Lactuca sativa L.*) y entre otras (Zheng *et al.*, 2018, p. 2246); la temperatura óptima para el cultivo es de 22 °C durante el día y 18 °C en la noche, de manera que, sus propiedades organolépticas y su composición fitoquímica han aumentado significativamente, es el caso del aumento significativo de flavonoides (Abdulmajeed, Derby, Strickland y Qaderi, 2017, p. 199); la humedad relativa (HR %) se estima en 20 a 35 % diurno y 70 a 85% nocturno, este factor es posible manejarlo en los invernaderos; si HR es

alta, causaría la disminución en el flujo de savia mediante del floema, reduciendo la translocación de iones dentro de los tejidos vegetales, presentando síntomas de la deficiencia en nutrientes y el enriquecimiento de dióxido de carbono (CO₂) presentes en el ambiente debe optar de 1000 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, incrementando el contenido de flavonoides y derivados del ácido cafeico en los cultivos como la lechuga (*Lactuca sativa L.*) y entre otras hortalizas (Baddadi, Bouadila, Ghorbel y Guizani, 2019, pp. 29-30; Rouphael, *et al.*, 2018, p. 276).

En la tabla 4, describe los aportes de investigadores en los distintos sistemas hidropónicos, como las condiciones ambientales y de la solución nutritiva; condición operativa y mejoras:

Tabla 4. Antecedentes

Tipo de sistema	Condiciones de la solución nutritiva	Condiciones Ambientales	Mejoras	Condición de Operación	Resultados	Autores
TFP	Solución de Hoagland: CE=0,11-0,12 Sm^{-1} y pH: 5,8-6,0.	T=23°C, HR=70% Enriquecimiento de $CO_2 = 700 \mu mol mol^{-1}$	Implementaron paneles LED de 2 colores, rojo (R) y azul (B), LO =660nm-450nm y la densidad del flujo de fotones fotosintéticos =180 $\mu mol m^{-2} s^{-1}$. 20 $\mu mol m^{-2} s^{-1}$.	Se realizó 6 tratamientos de cultivo de lechuga (T) con irradiación continua e intermitente (R-B), con una sola luz/ciclo oscuro (L/D). 16h/8h (24h), el tratamiento más indicado fue el T4 con 4 ciclos de $\frac{4h}{2h}$.	En el T4 aumento el peso fresco entre el brote y raíz=139-18.13g, el diámetro del tallo=12.07mm, altura de la planta=26.23cm y el n° de hojas=31.	Chen y Yang, 2018, pp. 221-223.
TFP	El pH =7.8.	T ambiente = 1.31-26°C.	Aplicaron bioinoculantes, bacteria (<i>Bacillus subtilis</i>) y micorriza (<i>Glomus fasciculatus</i>); y ácidos orgánicos (HL) como solución nutritiva.	En el cultivo de lechuga hidropónica (<i>Lactuca sativa var. Crespa</i>), el T2=8L de humus líquido con micorriza=40 $\frac{g}{L}$ mas solución stock y T3=4L de HL con micorriza=40 $\frac{g}{L}$ mas solución stock.	El T2 obtuvo mayor peso fresco de las plantas=163 $\frac{g}{planta}$; longitud de las raíces de las plantas= cm, n° de hojas=14.8 , altura de las plantas=32cm.	Velasco, Aguirre y Ortuño, 2016, pp. 73-81
TFP Y Aeropónico	CE=0,5-1,5 $Sm^{-1}cm^{-1}$, pH=6,8-7,0	T=25-10°C HR=65% DFFF= 150 $\mu mol m^{-2} s^{-1}$	Emplearon un sistema de irrigación automatizada.	Se evaluó el crecimiento de la hierba Picrorhiza Kurroa cultivadas in vitro y de vivero, después de 12-14 semanas, bajo los sistemas de TFP y aeropónico en un invernadero por primera vez.	En condición aerópico, las plantas NT, obtuvieron una mayor altura de las plantas=6.51 cm, longitud en las hojas=4,09 cm, anchura de	Thakur, Partap, Kumar y Warghat, 2019, pp. 161-164

					las hojas=1,59 cm, diámetro del tallo=2,72 mm.	
Acuapónico Y TPN	El pH=6,9 – 7,0	T=23,4°C (día), T=25,1°C (diurno)	Emplearon granjeros de río rojo (<i>Procambarus clarkii</i>) y blanco (<i>Procambarus zonangulus</i>)	En el crecimiento de la albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) se compararon entre el sistema acuapónica y el sistema TPN, utilizando los residuos como nutrientes de los 2 tipos de cangrejos de río.	En el sistema acuapónico, obtuvo mejores resultados en los parámetros morfológicos, en la altura=94,9 cm, peso fresco=150,2g, peso seco=15,9 g, esto se dio por que, recibían nutrientes de los desechos de los cangrejos y la alimentación no consumida.	Saha, Monroe y Day, 2016, pp. 182-184
TPN	El pH=5,5-7,0; T=22-28°C; CE=09,2,1 Sm^1cm^1 .	HR=50-80%; IL=100-200 $\mu molm^2s^1$.	Aplicaron un modelo integral enfocado de IO, representados en la <i>Figura 10</i> . anexado.	Se ha diseñado e implementando un sistema hidropónico inteligente. Los valores de los sensores recogidos son utilizado en la construcción de la Red Bayesiana (clasifica y predice el valor óptimo en cada actuador para controlar de forma autónoma la granja hidropónica de la lechugas).	El mejor crecimiento fue por control automático (Red Bayesiana), en el peso=0,44g; altura=12,75cm; circunferencia=38,52cm; n° de hojas=14 y n° de cultivos productivos=10.	Alipio, De la Cruz, Doria y Fruto, 2019, pp. 2-9.
TPN	El pH del lodo=6,2		Emplearon solución de lodos domésticos tratados con ozono.	Se aplicó la dilución de lodos tratados, en 4 tratamiento diferentes para su óptima fuente de nutrición para el crecimiento hidropónico de la lechuga, como el	El T2 se desempeñó en los rasgos de altura=16,10; longitud de las raíces=30,10g; peso de la raíz=6,13g; n° de hojas=16,00; peso	Yang, Guo y Qiu, 2018, pp. 594-597.

				T2 con doble disolución con un mejor desarrollo.	fresco=21,42 y el peso seco=6,85.	
TFP	El pH del biogás de la vaca =7,69; CE= 275.7 $\mu S/cm$		Emplearon digestato del biogás diluido con agua deionizada, proveniente de la vaca.	Se utilizó digestato del biogás en los tratamientos con 10%, 20%, 40% y 60% por su potencial fertilizante como solución nutritiva en producción hidropónica de tomates (<i>Lycopersicon esculentum</i> L.).	La dilución del 10% fue el más apropiado, por la baja concentración de macronutrientes en el biogás digerido, mostrando un alto contenido de índice de clorofila=28,16; peso fresco=15,53g; contenido de azúcar=5,03; n° de frutos=14,3 y n° de flores=29,0.	Mupambwa, Namwoonde, Liswaniso, Hausiku y Ravindran, 2019, pp. 2-6.
TFP	pH=8,26	T=11-34°C	Usaron aguas residuales porcinas pretratadas (ARPP).	Las ARPP como fertilizantes líquidos en una solución de 0,5, 2,0, 150 y 300mg-L ⁻¹ , respectivamente, en los sistemas hidropónicos de los cultivos de espinacas (<i>Ipomoea aquatic Forsk.</i>).	El cultivo de espinaca en ARP no diluido a una concentración de 0,5 mgL ⁻¹ de Zn 8II), aumentando su crecimiento de peso fresco de la hoja =11,52g y peso fresco de la raíz=5,28g.	Jin, Cao, Xiang, Zhou, Ruan y Liu, 2020, pp. 2-4.
TFP			Emplearon bacterias y hongos beneficiosos.	Entre los diversos enfoques utilizados para controlar patógenos con métodos biológicos, especialmente rizobacterias	Las <i>Pseudomonas spp.</i> , reduce la podredumbre y aumento de la raíz (tomate, pepino, papa, lechuga); <i>Bacillus spp.</i> ,	

TPN Aeropónico				promotoras del crecimiento de las plantas que se utilizan como biofertilizantes, agentes de biocontrol y biorremediadores. Y así, controlar las enfermedades de las plantas y mejorar la calidad y productividad.	potencia el crecimiento del fruto y disminuye la concentración de salinidad en el agua (pimientos, tomates); <i>Gliocladium trichoderma spp.</i> , modifica la composición de la pared celular (arroz, pepino).	Seungjun y Jiyoung, 2015 pp. 207-210.
TPN	pH=5,6 CE=1,5 dSm^{-1}	T=18°C (Noche) y 25-28°C (Día) HR=70-85%	Aplicaron el biocarbon (Perlita combinado con Cascara de arroz), Perlita (PL) y Cascara de arroz (CA) como sustrato.	Se combinó el PL y CA, para obtener biocarbón a una T=500°C y aplicarlo como sustrato entre los cultivos hidropónico.	El repollo mas biocarbón, obtuvo un aumento en la masa fresca: brote=100.31g, raíces=4.04g; longitud de brote=28.40cm, n° de hojas=18.80, área de la hoja=1401.80 cm^2 y lechuga roja: masa fresca: brote=90.34g, raíces=10.09g; longitud de brote=31.40cm, n° de hojas=23.40, área de la hoja=2125.20 cm^2	Awad, et al., 2017, pp. 582-584.
Acuapónica	En verano, pH=8.13, T=29.90°C; Otoño, pH=7.54, T=21.83		Aplicaron biofiltro hidropónico a base de arrozales flotantes y sustrato de ceramista.	El diseño especial de hidroponía biofiltro está conformado por humedales construidos y arrozales flotantes hidropónicos fue construido para tratar los efluentes y establecer un sistema acuapónico a escala de estanque.	El crecimiento fue excelente, aumento en el n° de panículas efectivas=12.5, longitud de la panícula=21.17cm, n° de granos por panículas=186.7, peso de mil gramos=24.32g y	Li, Tao, Li, Peng, Song, Dai, Wu, Xie, 2018, pp. 2-8.

					su rendimiento=7127.01kg <i>ha</i> ⁻¹	
Aeropónico	pH=5,8	HR=70% T=23°C	Implementaron paneles LED colores: rojo=660 nm, azul=450nm y verde=520nm, con un fotoperiodo de 16h (06:00a.m., 22:00p.m.)	El tratamiento por espectro de luz del 100% roja (RR), 100% azules (BB), 65% rojo+35% azul (RB), y 45% rojo+35% azul+20% verde (RBG) que proporcionan iluminación en la etapa de cultivo en vitro y minituberculo de la papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) después del transplante en el invernadero (2 meses).	El BB se obtuvo mayor peso fresco del tubérculo grande=20.06g, tubérculo grande de peso seco =9.19g; el RBG, aumento el n° de tubérculos=4.00, peso fresco del tubérculo=18.92g y tubérculo de peso seco=11.96g.	Chen, Zhang, Gong, Wang, Gao, Wang, Zeng, Hu, 2020, pp. 108-115.
TPN	pH=6.74-6.8	HR=40-55% T=18-28°C (diurno) y 13-23°C (nocturno) Intensidad de la luz natural=700 <i>mol m</i> ⁻² <i>s</i> ⁻¹	Aplicaron diferentes concentraciones de agua marina y agua dulce como medio de cultivo	Se empleó en el sistema, el aumento del 5%, 10%, 15% de concentración de agua de mar más la solución nutritiva y un control de agua de grifo más la solución nutritiva, en los cultivos de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L. var. Canasta), acelga (<i>Beta vulgaris</i> L.) y achicoria (<i>Cichorium intybus</i> L.), durante 6 meses	En el cultivo de lechuga, al 5% de concentración se obtuvo un mayor peso fresco del brote=72.6g, peso seco de la planta entera=4.40g; la acelga al 10%, se obtuvo un peso fresco del brote=26.54g, peso seco de la planta entera=2.37g; y el achicoria al 10%, resultado con un peso fresco del brote=43.44g, peso seco de la planta entera=4.22g.	Atzori, Nissim, Caparrotta, Masi, Azzarello, Pandalfi, Vignolini, Gonnelli, Mancuso, 2016, pp. 255-259.

TPN	pH=5.5-6.6. CE=1.5-2.5 dSm^{-1}	Intensidad de la luz=180 $\mu Sm^{-2} s^{-1}$ (15h de luz y 9h de oscuridad), T=2-24°C HR=65%	Aplicaron el digestato del biogás	El sistema, el cultivo de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) y menta (<i>Mentha x piperita</i> L.), se le aplicó 4 combinaciones: AG, AG+LD, SD+SS, SD+LD; como medio y solución de nutrientes, como una alternativa sostenible.	En el cultivo de albahaca con SD+LD, obtuvo una altura=6.75cm, peso del brote fresco=2.853g/planta ⁻¹ , peso fresco de la raíz=0.947 g/planta ⁻¹ , peso seco de la raíz=0.043 g/planta ⁻¹ , peso seco del brote=0.093 g/planta ⁻¹ . Y en el cultivo de menta con SD+SS, altura=6.42cm, peso del brote fresco=2.48g/planta ⁻¹ , peso fresco de la raíz=2.55g/planta ⁻¹ , peso seco de la raíz=0.012 g/planta ⁻¹ , peso seco del brote=0.55 g/planta ⁻¹ .	Ronga, Pellati, Brighenti, Laudicella, Laviano, Fedailaine, Benvenuti, Pecchioni y Francia, 2018, pp. 1-5.
TPN	Plantas de berro, pH=8.0 EC=6-7 dSm^{-1} Plantas de col china, pH=8.5 CE=3 dSm^{-1}	T=28°C	Utilizaron Aguas subterráneas salobres	En el sistema, se cultivaron berro (<i>Nasturtium officinale</i>) y repollo china (<i>Brassica pekinensis</i>) en 4 tratamientos= T1(agua pública), T2 (agua con sulfato de calcio), T3 (agua con cloruro de magnesio S1), T4 (agua con cloruro de calcio), T5 (agua con cloruro de sodio) y T6 (Agua clorada de magnesio S2)	En el cultivo de berro se obtuvo mejores resultados en el T4, peso fresco del brote=11.73g, peso seco del brote=1.23g. Y en el cultivo de repollo chino, en el T2, el peso fresco del brote=173.05g, peso seco del brote=22.96g, n° de hojas=27.25 y longitud de área=4350.35cm ² .	Lira, Silva, Da Silva, De Medeiros, Da Silva, Soares, 2020, pp. 1038-1043.

TPN	pH=5.0-6.7 CE=1.2-2.2 dSm^{-1}	T=26-32°C y oscila entre 15-20°C	Utilizaron fibra de coco como sustrato	Se empleó 2 sistemas hidropónicos cerrados (canaleta y saco de cultivo), utilizando la fibra de coco como sustrato en los 4 cultivos de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>): Albion, Camarosa, Festival y Oso Grande.	Se obtuvo mejores resultados en el sistema hidropónico (canaleta) de cultivos de fresa festival como en: rendimiento=7405.0g.m ⁻² , rendimiento de fruta=1407.0g.planta ⁻¹ , peso medio del fruto=9.64g.	Miranda, Da Silva, Dos Santos, Rossetti, Da Silva, 2014, pp. 834-839.
TPN	pH=7.83-8.10 CE=0.40- 0.50 dSm^{-1}		Utilizó las efluentes domésticas tratadas como suministro de agua	Se empleó 3 tratamientos: 1T (suministro de agua y fertilizante minerales), 2T (efluentes domésticos tratados y fertilizantes minerales) y 3T (efluentes domésticos tratados) en el cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>)	Se obtuvo óptimos resultados en el tratamiento 2 como: Masa fresca (valor medio)=322.73g.planta ⁻¹	Cuba, Carmo, Souza, Bastos, 2015, pp. 574-582.
TPN Acuapónico	TPN: pH=6.5 CE=1 $\mu S cm^{-1}$, T=27.5 °C; Acuapónico: pH=7.0-7.3, CE=0.3-0.5 $\mu S cm^{-1}$, , T=27.5 °C.		Se utilizó 4 sustratos: fibra de cascara de coco, espuma fenólica y vermiculita expandida.	En el cultivo de lechuga rizada (<i>Lactuca sativa</i>) en el sistema TPN y acuapónico; utilizando 4 sustratos con densidad aparente como: fibra de cascara de coco (1500kg.m ⁻³), espuma fenólica (10-12kg.m ⁻³), y vermiculita expandida (155kg.m ⁻³),.	Se obtuvo óptimos resultados en los 2 sistemas con sustrato de fibra de cascara de coco, fue el Aeropónico con un rendimiento de cosecha=2,88 kg.m ² y en el TPN con un rendimiento de cosecha=2,58 kg.m ²	Jordán, Ribeiro, Oliveira, Geisenhoff y Martins, 2018, pp. 525-527.

Fuente: Elaboración propia

T=Temperatura, CE=Conductividad Eléctrica, HR=Humedad Relativa, CO_2 =Dióxido de Carbono, LED=Diodo Emisor de Luz, TFP =Técnica de Flotación Profunda, TPN=Técnica de Película de Nutrientes, HL=Humus Líquido, IT=Implementación de Tecnología, DFFF=Densidad del Flujo de Fotones Fotosintéticos, NT=Tratadas en Invernadero, IVT=Tratadas en Vitro, LO=Longitud de Onda, HL=Humus líquido

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación es de tipo básica; Según Sampieri, Collado y Lucio (2014), con el único propósito de desarrollar conocimientos y teorías. Con un enfoque cualitativo, puesto que, se recolecta y analiza los datos para precisar el cuestionamiento de la investigación o nuevas preguntas durante el desarrollo de la interpretación. Como también, los planteamientos del investigador cualitativo, no son tan formulados, comparado con el enfoque cuantitativo, porque, el investigador, se enfocará más en la lógica y en el proceso inductivo, como la exploración y descripción de datos, de manera que, genere perspectivas teóricas. Además, que emplea técnicas de recolección de datos no estandarizados (datos empíricos), tal como: la exploración no estructurada, verificación de documentos, entre otros; de esa manera, el investigador, pueda construir el centro de la investigación estudiada, mediante los resultados de investigaciones anteriores (pp. 7-9).

El diseño de esta investigación es un cualitativo narrativo de tópicos, enfocados en una temática de sucesos o fenómenos, donde el investigador contextualiza la tiempo y lugar donde ocurrieron los hechos, para rehacer los hechos individuales, sucesión de eventos y los efectos, para entrelazar y desarrollar una narrativa general. Inicialmente, los procedimientos consistían en resumir las experiencias narradas por los aportadores, en base al planteamiento del problema, luego desarrollar una historia general, entrelazado por diferentes aportes narrativos individuales, por eso, este diseño puede ser empleado en diversos campos y disciplinas (Sampieri, Collado y Lucio, 2014, pp. 487-492).

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

En la tabla 5. se describe, los objetivos y problemas específicos, las categorías, subcategorías y los nombres de los autores que aportaron información a base de investigaciones de sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas:

Tabla 5. Matriz de categorización apriorística

Objetivos Específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
Describir las mejoras reportadas en la literatura en los sistemas hidropónicos de los cultivos de hortalizas	¿Cuáles son las mejoras reportadas en la literatura en los sistemas hidropónicos de los cultivos de hortalizas?	Mejoras	Solución Nutritiva Sustrato Fuente de Agua iluminación artificial Organismos	(Chen y Yang, 2018, pp. 221-223.) (Velasco, Aguirre y Ortuño, 2016, pp. 73-81.) (Thakur, <i>et al.</i> , 2019, pp. 161-164.) (Saha, Monroe y Day, 2016, pp. 182-184.) (Alipio, <i>et al.</i> , 2019, pp. 2-9.) (Yang, Guo y Qiu, 2018, pp. 594-597.) (Mupambwa, <i>et al.</i> , 2019, pp. 2-6.) (Jin, <i>et al.</i> , 2020, pp. 2-4.) (Seungjun y Jiyoung, 2015, pp. 207-210.) (Awad <i>et al.</i> , 2017, pp. 582-584.) (Li, <i>et al.</i> , 2018, pp. 2-8.) (Chen, <i>et al.</i> , 2020, pp. 108-115.) (Atzori, <i>et al.</i> , 2016, pp. 255-259.) (Ronga, <i>et al.</i> , 2018, pp. 1-5.) (Awad, <i>et al.</i> , 2017, p. 582.) (Kaudal, <i>et al.</i> , 2016, párr.1)

				(Gavilán, 2015, p. 75.) (Urrestarazu, <i>et al.</i> , 2019, p. 50.) (Pisa, Wuta y Muchaonyerwa, 2020, p. 27.)
Describir las eficiencias de los diversos sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas en la actualidad	¿Cuáles son las eficiencias en los diversos sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas en la actualidad?	Recursos	Agua Energía Eléctrica Nutrientes	(Son, Kim y Ahn, 2016, párr. 2) (Mattson y Lieth, 2019, p. 570.) (Os, Gieling y Lieth, 2019, p. 616) (Konig, <i>et al.</i> , 2018, p. 233) (Wortman, 2015, p. 37) (Seungjun y Jiyoun, 2015, p. 208) (Buckseth, <i>et al.</i> , 2016, pp. 82-83) (Mattson y Lieth, 2019, p. 570) (Kozai y Niu, 2020, p. 472) (Kozai y Niu, 2016, p.397)

Fuente: Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

Esta investigación no tiene un escenario de estudio definido, por tratarse de una revisión bibliográfica, que incluye referencia de artículos nacionales e internacionales, sobre los sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas.

3.4 Participantes

En esta investigación se obtuvo información de diferentes fuentes bibliográficas, tales como: artículos de revistas indexadas, libros en línea, capítulos de libro en línea, investigaciones de instituciones de públicas y privadas, organizaciones, entre otras. Ahora, para precisar las fuentes, se apoyó en las bases de datos como: ScienceDirect, SciELO, Google Books.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para esta investigación, se utilizó la técnica de análisis documental, donde se empleó una ficha de recolección de datos que está representada en anexos de la *tabla 6*, a base de una revisión de artículos, documentos de investigación indexados que abarca el autor(es), objetivos, mejora en diseño, metodología, resultados y recomendaciones. Esto permitió, en su recolecta de datos de los estudios revisados; que permitió en ser transformado en información, para luego tener una mayor facilidad para el análisis.

Según Paitán, Mejía, Ramírez y Paucar (2014), habían sugerido, los procedimientos y herramientas, como: la observación, basándose en el desarrollo de conocimiento de la realidad factual, por medio, del contacto directo con el investigador y el objeto de estudio, a través del principal sentido “la vista”, en donde, el análisis documental es aplicado para la investigación del contenido (ideas de los periódicos, revistas, libros, etc.), más allá, se estableció la unidad de análisis, como por ejemplo: palabras clave, tema, ítem; la categoría de análisis y tipos como: el tópico, en donde, la categoría refiere a un tema o unidad de análisis (pp. 201-226).

3.6 Procedimientos

Inicialmente, se planteó el tema a investigar, en el cual fue, sistemas Hidropónicos en los cultivos de hortalizas; luego se debe seleccionar y recolectar información, mediante palabras claves como: sistemas hidropónicos, técnica de película de nutrientes, técnica de floración profunda, acupónicos y aeropónicos, cultivo de hortalizas hidropónicas, iluminación artificial, fuentes de agua, Sustratos, Soluciones Nutritivas, Factores ambientales y microclimáticos.

Por un lado, la base de datos, como: sciencedirect, scielo, google book; en donde se apoyó mediante libros en línea, capítulo de libros en línea, artículos de revistas indexadas papers nacionales e internacionales, información de entidades privadas y públicas, en el idioma español e inglés; después se interpretó las informaciones recolectadas, para después, describir y unir los aportes de los investigadores o expertos, así, reportando los problemas, objetivos, teorías, metodologías y resultados del estudio

En cuanto a, la selección de información, se recolecto 80 referencias, en las cuales, había documentos de instituciones, artículos científicos, papers, revistas en línea, libros en línea, capítulos de libros en línea, después, se seleccionó 53 referencias y lo restante se descarta, cumpliendo los siguientes criterios de inclusión como: revistas indexadas, base de datos reconocidas (sciencedirect, scielo, Google Book), 80% de artículos científicos actuales en inglés, originalidad, sistematicidad y coherencia.

Finalmente, de las 53 referencias se organizó en: 20 referencias en base al sistema hidropónico (Técnica de película de nutrientes y flotación profunda), 6 referencias de Aeropónicos, 5 referencias de Acuapónicos. Para apoyar en la organización de referencias por criterios, se apoyó en la tabla 5. Matriz de categorización apriorística y en la tabla 7. se describe los criterios de búsqueda de información, donde se describirá el tipo de documento, a que palabra clave se refiere, el número de referencias, y criterios de inclusión.

Tabla 7. Resumen de criterios de búsqueda

Tipo de documento	Documentos referidos a	Cantidad	Palabras clave de búsqueda	Criterios de inclusión
Artículo científico	Sistemas hidropónicos	33	Técnica de película de nutrient, técnica de flotación profunda, acuapónicos, aeropónicos, cultivo de hortalizas hidropónicas, iluminación artificial, fuentes de Agua, sustratos, soluciones nutritivas, factores ambientales y microclimáticos.	Revistas indexadas, base de datos reconocidas (ScienceDirect, SciELO, Google Book), 80% de artículos científicos actuales en inglés, originalidad, sistematicidad y coherencia.
Información de entidad pública y privada	Agricultura y emisión de gases, hidroponía	7	Emisión de gases de la agricultura convencional, hidroponía.	
Libro	Sistemas hidropónicos	11	Sistema hidropónico, cultivo de hortalizas hidropónicas.	

Fuente: Elaboración propia

3.7 Rigor científico

Esta investigación cualitativa, es válida y confiable mediante los cumplimientos de los criterios, como: dependencia, credibilidad, transferencia y confirmabilidad. Según Sampieri (2018), la dependencia (confiabilidad cualitativa), es el grado de distintos investigadores que recolecten datos semejantes en el campo, como por ejemplo: la hidroponía y sus sistemas, los cultivos de hortalizas, entre otros y realizar los propios análisis, que genere resultados uniformes, por ejemplo: resultados en cuestión a los rasgos agronómicos de las hortalizas en los diferentes sistemas hidropónicos, además, la dependencia se presenta 2 clases: interna (grado en donde 2 investigadores, originan categorías idénticas con los mismos datos) y externa (grado en que los distintos investigadores producen categorías idénticas en el mismo contexto y tiempo, sin embargo, cada investigador debe obtener individualmente sus datos); credibilidad, se le llama

también “máxima validez”, en donde, el investigador ha entendido el significado total y complejo de las experiencias de los integrantes, que están relacionadas con el planteamiento del problema; transferencia (aplicabilidad de resultados), es a la intención del investigador en mostrar su criterio sobre (mejora tecnológica sostenible en la hidroponía) y cómo ajustan sus resultados por sus objetivos, en el campo de conocimiento del problema estudiado, es el caso de: los resultados de rasgos agronómicos de las plantas en distintos sistemas, aplicando diferentes medios para optimizar los resultados, por medio del criterio de similitud y luego comparar los aportes de los diferentes investigadores, para así, tener un resultado; y por último, está la confirmación o confirmabilidad, se basa a verificar y rastrear los datos o información de las fuentes e interpretar la lógica que se utilizó para luego explicarlos y comparar los resultados por criterios de similitud y sustentarlos (pp. 441-442).

3.8 Método de análisis de información

En esta investigación comienzo con la estructuración, por medio, de datos recopilados, en base de los sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas; cumpliendo los criterios, como: la dependencia (información de sistemas hidropónicos, hortalizas, entre otros); credibilidad (información de investigadores, en bases de datos, reconocidas científicamente); transferencia (resultados de rasgos agronómicos de las hortalizas en los sistemas) y confirmabilidad (la información obtenida, son de fuentes indexadas); de forma que conduzca a un análisis detallado del material, para el cual, se necesita codificar en sus 2 niveles: abierto (comparación de unidades), este se basa en crear categorías y códigos; y el axial (comparación de categorías), se da en la interpretación de los datos recopilados, explicación del tema y la codificación selectiva para el desarrollo de temas, modelos y teorías; después comparar los resultados mediante criterios de similitud, entre otros.

3.9 Aspectos éticos

Se ha respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas; por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente. Además, Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados ni copiados y por lo tanto los resultados que se presenten en la tesis, constituirán en aportes a la realidad investigada.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al final de los resultados obtenidos en las tablas 8-14 (anexos), respecto a las nuevas investigaciones en la mejora de los sistemas hidropónicos incluyen: solución nutritiva, sustrato, fuentes de agua, iluminación artificial, organismos, automatización. En donde se aborda de la siguiente forma:

En respecto a las fuentes de agua, se ha investigado el estudio de (ATZORI, Giulia *et al.*, 2016, pp. 255-259; por sus mayores resultados; en el empleo de aguas marinas.

El uso de agua marina en una baja concentración, (10%) se obtuvo mayor eficiencia en el cultivo de achicoria (*Cichorium intybus L.*), porque, esta presentó una tolerancia ante la salinidad, de forma que, los minerales situados en el agua, estimuló el crecimiento y favoreció su composición nutritiva (biofortificación) en la hortaliza.

Respecto a los sustratos, se ha investigado, los estudios de JORDÁN, Rodrigo *et al.*, 2018, pp. 525-527 y AWAD, Yaaser *et al.*, 2017, pp. 582-584; por su similitud; en el empleo de fibra de cáscara de coco y la combinación de biocarbón con perlita.

El uso de fibra de cáscara de coco en la acuaponía, se obtuvo alto rendimiento en el cultivo de lechuga, porque, estimuló el desarrollo de las raíces de la planta, debido a que, actuó como depósito de nutrientes y de microorganismos (bacterias nitrificantes), para conversión de nutrientes a formas simples (amoníaco a nitrato).

Asimismo, también hay combinaciones de sustratos, como, la perlita (PL) y biocarbón de cáscara de arroz (BA) en los cultivos de repollo, que presentó eficiencia en la mejora del rendimiento en las hortalizas debido a su amortiguamiento de nutrientes de la solución (fijación de nutrientes en el sustrato), al entorno de las raíces, ha producido un relevante mejoramiento nutricional y crecimiento óptimo en la biomasa de las hojas de la hortaliza.

Respecto a las soluciones nutritivas, se ha investigado, los estudios de (VELASCO, Jose, AGUIRRE, Gino y ORTUÑO, Noel, 2016, 2016, pp. 73-81); (JIN, Entao *et al.*, 2020, pp. 2-4) y (RONGA, Domenico *et al.*, 2018, pp. 1-5); por su similitud, en el empleo de bioinoculantes (B) y ácidos orgánicos (AG); aguas

residuales porcinas pretratadas (ARPP); el digestato del biogás líquido (DGL) con digestato sólido (DS) como sustrato.

El uso de bioinoculantes (B) y ácidos orgánicos (AG) tales como: la micorriza en polvo y el humus líquido combinado, mostró mayor crecimiento y peso en la producción de los cultivos de lechuga, porque, el humus líquido con la micorriza, generaron solubilización de nutrientes para una mayor asimilación, ya que, han influido en los procesos metabólicos, fisiológicos y biológicos.

Por otro lado, las aguas residuales porcinas pretratadas no diluidas, aumentaba la producción del cultivo de espinaca, como también, la concentración de nutrientes, sin embargo, esta hortaliza posee tolerancia, ante el Cu(II) de 0.25 mg L^{-1} , Zn(II) con 0.5 mg L^{-1} , fósforo total y amonio; teniendo en cuenta, el apoyo de la actividad microbiana.

Finalmente, el digestato sólido (sustrato) y digestato líquido (solución nutritiva) obtenidos como subproducto del biogás, indujeron un óptimo crecimiento en el cultivo de albahaca, porque, presentaron mayores rasgos agronómicos, en los 35 días del ciclo del cultivo.

Respecto a las iluminaciones artificiales, los estudios de (CHEN, Xiao-li y YANG, Qi-chang, 2018, pp. 221-223) y (CHEN, Lili *et al.*, 2020, pp. 108-115); reportaron el empleo, de paneles LED de colores rojo, azul y verde.

La aplicación de luz roja y azul combinado, a un grado de 4 ciclos por 6h prendido/2h apagado, indicó un incremento en la biomasa del cultivo de lechuga, así como la composición de la planta. Algo similar ocurre, al combinar el rojo (45%), azul (35%) y verde (20%), en un periodo de encendido de 16, en la producción de cultivo *in vitro* de minitubérculos de patatas en 2 meses.

En relación a los sistemas automatizados, los estudios de THAKUR, Kanika *et al.*, (2019, pp. 161-164) y ALIPIO, Melchizedek *et al.*, (2019 pp. 2-9 en el empleo del sistema de irrigación automatizada y modelo integral en base a Internet de las cosas: Se utilizó la irrigación automatizada, por primera vez, tratadas *in vitro*, en el cultivo de kutki, donde se demostró mejoría en la producción y en la calidad de su biomasa. Lo mismo ocurre con el modelo integral en base de internet de las cosas, porque, se controló de manera automática, el modelo de red bayesiana, como, por ejemplo: los parámetros de control en el cultivo de lechuga.

En relación con los organismos, se ha investigado, el estudio de (SAHA, Subhrajit, MONROE, Amber y DAY, Martin, 2016, pp.182-184); por sus buenos resultados, en el empleo de cangrejos rojos y blancos, hacia el cultivo de albahaca, donde se demostró un adecuado rendimiento y crecimiento, porque, se había suministrado los excrementos de los cangrejos de río y el alimento no consumido, como nutrientes para la planta.

Respecto a los biofiltros, se ha investigado, el estudio de (LI, Gu *et al.*, 2018, pp. 255-259); por su mayor resultado, en el empleo de arrozales flotante con sustrato de ceramista, como, un biofiltro natural en la acuaponía, para reciclar el efluente y ser utilizado como solución nutritiva, porque, demostró una óptima producción.

En cuanto a las eficiencias en los diversos sistemas hidropónicos en los cultivos de hortalizas en la actualidad, en la figura 12, representa la eficiencia, respecto al agua, energía eléctrica y nutrientes en los sistemas:

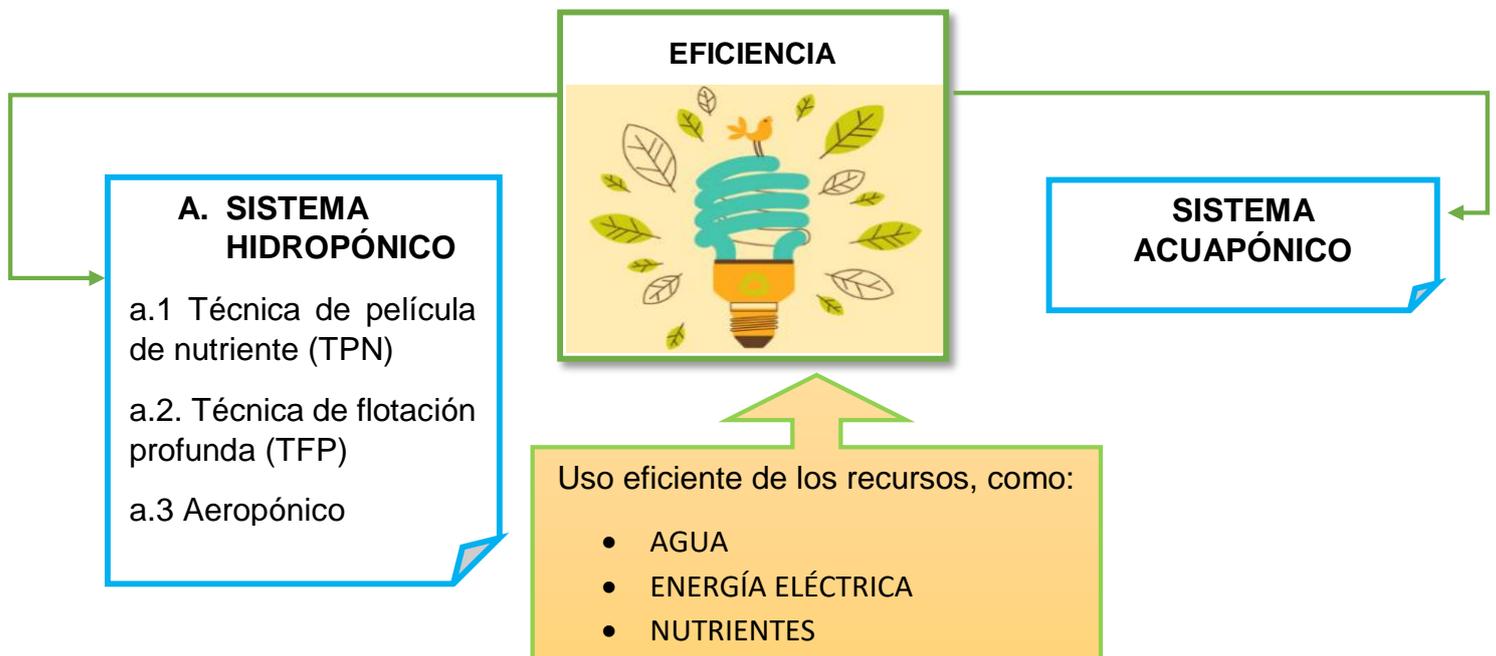


Figura 12. Eficiencia en los diversos sistemas hidropónicos.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la eficiencia del agua y energía eléctrica, se ha investigado, los estudios de (Kozai y Niu, 2016, p.397) y (Kozai y Niu, 2020, p. 472); por su similitud, en logra minimizar el consumo del agua y energía eléctrica.

En relación a la eficiencia del agua, se logró minimizar, el consumo del agua a un 95% y el uso de la superficie del suelo en un 90%; al emplear los sistemas al interior de un invernadero.

En relación a la eficiencia de la energía eléctrica, se logró minimizar consumo de la energía eléctrica, ya que, se utiliza de 7 a 10 kWh, por cada lechuga, por esta razón, utilizaron focos LEDs reduciendo el consumo a un 50% (4-5 kWh), más allá, en zonas rurales, se le aplico el suministro de la energía renovable.

Respecto a la eficiencia de nutrientes, se ha investigado, el estudio de (Endo, 2019, p. 340); que el sistema acuapónico, se basa en la recirculación acuícola del agua como técnica de película de nutrientes, dado que, al alimentar a los peces, excretan material (amoníaco), donde se acumula en el agua y es utilizado como fertilizante, para el desarrollo de las plantas.

:

,

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones de la investigación fueron las siguientes:

1. Se observó, que las mejoras incluyen, investigaciones sobre alternativas sostenibles empleadas en los sistemas hidropónicos de los cultivos de hortalizas, como: solución nutritiva, sustrato, fuentes de agua, iluminación artificial, organismos, automatización, demostrando lo viable y óptimo, que logran ser, durante el desarrollo de la hortaliza.
2. La eficiencia, se logró, al emplear recursos renovables, como, por ejemplo: la energía solar (paneles solares, focos LEDs), para luego ser almacenadas (batería) y utilizadas como energía eléctrica; algo similar ocurre con los nutrientes y el agua en los sistemas mencionados, debido a que, la presencia de simbiosis entre los organismos (peces, cangrejos) y la planta.
3. La evolución de los sistemas hidropónicos, se observó cambios en su diseño, desde la chinampa (balsa de caña), el empleo de soluciones minerales en un recipiente, la recirculación del agua más la solución, el empleo de organismos junto con su recirculación del agua y finalmente, la integración de controles automáticos a base del internet, representada en la figura 11. anexada.

VI. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para futuras investigaciones son las siguientes:

1. Se sugiere investigar sobre tópicos específicos, respecto a mejoras en soluciones nutritiva, sustratos, fuentes de agua, iluminaciones artificiales, organismos, automatizaciones para una producción sostenible y mejoría en la biomasa en los cultivos de hortalizas, para futuras investigaciones.
2. Se recomienda realizar investigaciones respecto a las hortalizas tolerantes a condiciones climáticas (elevadas-bajas) y de los parámetros químicos de las soluciones nutritivas (salinidad, metales pesados, entre otros), con el fin de mejorar la biomasa y la biofortificación de la hortaliza.
3. Se recomienda realizar investigaciones respecto a las evoluciones de los sistemas hidropónicos, en un período de 20 años, de manera que, se logre obtener mayor información.
4. Se sugiere aumentar el número de criterios de las comparaciones realizadas. Por ejemplo, si se usaron cuatro o cinco criterios de comparación, se puede sugerir dos, tres o cuatro criterios adicionales que no fueron precisados o que no se pudieron realizar por limitaciones de la investigación.
5. Se recomienda aumentar la recolección de datos, técnicas y/o instrumentos de medición utilizados. Por medio de otras técnicas, como, por ejemplo: entrevistas, conferencias, entre otros.

REFERENCIAS

1. ABDULMAJEED, Awatif, [et al.]. Interactive effects of temperature and UVB radiation on methane emissions from different organs of pea plants grown in hydroponic system. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* [en línea]. Junio 2017, vol. 166. [fecha de consulta: 29 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1011134416307023>
ISSN: 1011-1344
2. ALIPIO, Melchizedek [et al.]. On the design of Nutrient Film Technique hydroponics farm for smart agricultura. *Asian Agricultural and Biological Engineering Association* [en línea]. Julio 2019, vol. 12, n.º3. [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2019]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1881836617303294?via%3Dihub>
ISSN: 1881-8366
3. ANDREAU, Ricardo, GIMÉNEZ, Daniel y BELTRANO, José. Cultivo en hidroponía [en línea]. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata, 2015. [fecha de consulta: 30 de abril de 2019]. Capítulo 5. Soluciones nutritivas I en cultivos hidropónicos. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
ISBN: 9789503412589
4. ATZORI, Giulia [et al.]. Potential and constraints of different seawater and freshwater blends as growing media for three vegetable crops. *Agricultural Water Management* [en línea]. Octubre 2016, vol. 176. [fecha de consulta: 29 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377416302219?via%3Dihub>
ISSN: 0378-3774
5. AWAD, Vasser [et al.]. Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 10 de Julio 2017, vol. 156. [fecha de consulta:

- 15 de abril de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617307886>
ISSN: 0959-6526
6. BADDADI, Sara [et al.]. Autonomous greenhouse microclimate through hydroponic desing and refurbished thermal energy by phase change material. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Febrero 2019, vol. 211. [fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618335959>
ISSN: 0959-6526
 7. Banco Mundial. 1 de marzo de 2018. Disponible en:
<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/03/01/banco-mundial-presenta-estudio-sobre-agricultura-en-el-peru>
 8. BATALLA, Montse. Verduras y Hortalizas. *Farmacéutica Comunitaria, Máster en Nutrición y Ciencias de los Alimentos.* [en línea]. Febrero 2004, vol. 23, n.º 2. [fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible en:
<https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-verduras-hortalizas-13057699?referer=buscador>
ISSN: 0212-047X
 9. BELTRANO, José. Cultivo en hidroponía [en línea]. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata, 2015. [fecha de consulta: 30 de abril de 2019]. Capítulo 1. Introducción al cultivo hidropónico. Disponible en:
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
ISBN: 9789503412589
 10. BESTEN, Jasper. Plant Factory Using Artificial Light [en línea]. [s.l.]: Elsevier Inc., 2019 [fecha de consulta: 20 de abril de 2019]. Chapter 8.2. Vertical Farming Development; the Dutch Approach. Disponible en
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128139738000270?via%3Dihub#!>
ISBN: 9780128139738
 11. BUCKSETH, Tanuja [et al.]. Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics—A review. *Scientia Horticulturae* . [en línea]. 2 Junio 2016, vol. 204. [fecha de consulta: 15 de abril de 2020].

- Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423816301601>
ISSN: 0304-4238
12. CORBEL, Sylvain, MOUGIN, Christian y BOUAICHA, Noureddine. Cyanobacterial toxins: Modes of actions, fate in aquatic and soil ecosystems, phytotoxicity and bioaccumulation in agricultural crops. *Chemosphere*. [en línea]. Febrero 2014, vol. 96. [fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513010400#!>
ISSN: 0045-6535
13. CHEN, Lili [et al.]. Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets in vitro and minituber production after transplanting in the greenhouse. *Journal of Integrative Agriculture* [en línea]. Junio 2020, vol. 19, n.º1. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209531191962633X#!>
ISSN: 2095-3119
14. CHEN, Xiao-li y YANG, Qi-chang. Effects of intermittent light exposure with red and blue light emitting diodes on growth and carbohydrate accumulation of lettuce. *Scientia Horticulturae* [en línea]. 14 de Abril 2018, vol. 234. [fecha de consulta: 17 de abril de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423818301304>
ISSN: 0304-4238
15. CUBA, Renata [et al.]. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. *Revista Ambiente & Água* [en línea]. 17 de Abril 2015, vol. 10, n.º 3. [fecha de consulta: 17 de mayo de 2020]. Disponible en:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2015000300574&lang=es
ISSN: 1980-993X
16. ENDO, Masato. Plant Factory Using Artificial Light [en línea]. [s.l.]: Elsevier Inc., 2019. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2019]. Chapter 9.2 – Aquaponics in Plant Factory. Disponible en:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128139738000324?
via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128139738000324?via%3Dihub)

ISBN: 9780128139738

17. ENGELHART, Steffen [et al.]. Childhood hypersensitivity pneumonitis associated with fungal contamination of indoor hydroponics. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* [en línea]. Enero 2009, vol. 212, n.º 1. [fecha de consulta: 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1438463908000047>
ISSN: 1438-4639
18. GAVILÁN, Miguel. Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía [en línea]. Madrid: Mundi-Prensa, D.L. 2015 [fecha de consulta: 30 de abril de 2019]. Disponible en [https://play.google.com/books/reader?id=5NE9CwAAQBAJ&hl=es&pg=GB
S.PP2](https://play.google.com/books/reader?id=5NE9CwAAQBAJ&hl=es&pg=GB.S.PP2)
ISBN: 9788484766681
19. GOODMAN, Wylie y MINNER, Jennifer. Will the urban agricultural revolution be vertical and soilless? A case study of controlled environment agricultura in New York City. *Land Use Policy* [en línea]. Abril 2019, vol. 83. [fecha de consulta: 20 de abril de 2019]. Disponible en [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837718308202
?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837718308202?via%3Dihub)
ISSN: 0264-8377
20. INFOCARBONO, noviembre de 2019. Disponible en: [http://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/09/INGEI-2014-
PERU-MOD-ENER2020.pdf](http://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/09/INGEI-2014-PERU-MOD-ENER2020.pdf)
21. JIN, Entao [et al.]. Feasibility of using pretreated swine wastewater for production of wáter spinach (*Ipomoea aquatic* Forsk) in a hydroponic system. *Agricultural Water Management* [en línea]. Febrero 2020, vol. 228. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037837741931501X>
ISSN: 0378-3774

22. JORDAN, Rodrigo [et al.]. Yield of lettuce grown in hydroponic and aquaponics systems using different substrate. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [en línea]. Agosto 2018, vol. 22, n° 8. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2019]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662018000800525&lang=es
ISSN: 1807-1929
23. KAUDAL, Bhawana [et al.]. An examination of physical and chemical properties of urban biochar for use as growing media substrate. *Biomass and Bioenergy* [en línea]. Junio 2016, vol. 84. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953415301525>
ISSN: 0961-9534
24. KONIG, Bettina [et al.]. Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 10 Abril 2018, vol. 180. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618300489>
ISSN: 0959-6526
25. KOZAI, Toyoki y NIU, Genhua. Plant Factory [en línea]. 2.^a ed., [s.l.]: Elsevier Inc., 2020. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2019]. Chapter 33. Conclusions: resource-saving and resource-consuming characteristics of PFALs. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128166918000339>
ISBN: 9780128166918
26. KOZAI, Toyoki y NIU, Genhua. Plant Factory [en línea]. [s.l.]: Elsevier Inc., 2016. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2019]. Chapter 28. CONCLUSIONS: RESOURCE-SAVING AND RESOURCE-CONSUMING CHARACTERISTICS OF PFALS. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128017753000287>
ISBN: 9780128017753
27. LI, Gu [et al.]. Desing and performance of a novel rice hydroponic biofilter in a pond-scale aquaponics recirculating system. *Ecological Engineering*. [en

- línea]. 15 Diciembre 2018, vol. 125. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2019].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857418303720>
ISSN: 0925-8574
28. LIRA, Raquele [et al.]. WATERCRESS AND CHINESE CABBAGE IN A HYDROPONIC SYSTEM USING GROUNDWATER. *Revista Caatinga*. [en línea]. Diciembre 2019, vol. 32, n° 4. [fecha de consulta: 10 de junio de 2020].
Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/rcaat/v32n4/1983-2125-rcaat-32-04-1038.pdf>
ISSN:1983-2125
29. MATTSON, Neil y LIERTH, Heinrich. Soilles Culture [en línea]. 2.ª ed. [s.l.]: Elsevier Inc., 2019. [fecha de consulta: 20 de abril de 2019]. Chapter 12. LIQUID CULTURE HYDROPONIC SYSTEM OPERATION. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444636966000128>
ISBN: 9780444636966
30. MENCHU, María Y MÉNDEZ, Humberto. TABLA DE COMPOSICION DE ALIMENTOS DE CENTROAMERICA. [en línea]. 2.ª ed. Guatemala: INCAP/OPS, 2012 [fecha de consulta: 1 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCAAlimentos.pdf>
ISBN: 9992288027
31. Ministerio de Agricultura y Riego. 2020. Disponible en: <https://www.minagri.gob.pe/portal/212-especiales/cambios-climaticos>
32. Ministerio de Agricultura y Riego. 2019. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/471867/Plan_Nacional_de_Cultivos_2019_2020b.pdf
33. Ministerio de Agricultura y Riego. 2015. Disponible en: <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/pnapes/actividades/comision/analisis-tendencias.pdf>
34. MIRANDA, Fabio [et al.]. Production of strawberry cultivars in closed hydroponic systems and coconut fibre substrate. *Revista Ciencia Agronómica* [en línea]. Diciembre 2014, vol. 45, n.º 4. [fecha de consulta: 17 de mayo de 2020]. Disponible en:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902014000400022&lang=es

ISSN 1806-6690

35. MUPAMBWA, Hupenyu [et al.]. Biogas digestates are not an effective nutrient solution for hydroponic tomato (*Lycopersicon esculentum L.*) production under a Deep water culture system. *Heliyon* [en línea]. Octubre de 2019, vol. 5, n.º 10. [fecha de consulta: 10 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019363960>
ISSN: 2405-8440
36. Organización de las Naciones Unidas. 2020. Disponible en: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
37. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 9 de abril 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1113809/>
38. OS, Erick, GIELING, Th y LIETH, Heinrich. Soilless Culture [en línea]. 2.ª ed., [s.l.]: Elsevier Inc., 2019 [fecha de consulta: 20 de abril de 2019]. Chapter 13. Technical Equipment in Soilless Production Systems. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978044463696600013X?via%3Dihub#!>
ISBN: 9780444636966
39. PAITÁN, Humberto [et al.]. Metodología de la investigación cuantitativa – cualitativa y redacción de la tesis [en línea]. 4.ª ed. Bogotá: Ediciones de la U, 2014 [fecha de consulta: 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=VzOjDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=libros+de+metodolog%C3%ADa+de+la+investigaci%C3%B3n+pdf+2020&hl=es>
[419&sa=X&ved=0ahUKEwi6tdi1tf3pAhXtJrkGHfA0AeoQ6AEIaDAI#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=VzOjDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=libros+de+metodolog%C3%ADa+de+la+investigaci%C3%B3n+pdf+2020&hl=es)
ISBN: 9789587621884
40. PANTOJA, Alberto y GONZÁLES, Meliza. Una huerta para todos [en línea]. 5.ª ed. Santiago de Chile: [s.n.], 2014 [fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3846s.pdf>
ISBN: 978925308421

41. PISA, Caridad, WUTA, Menas y MUCHAONYERWA, Pardon. Effects of incorporation of vermiculite on carbon and nitrogen retention and concentration of other nutrients during composting of cattle manure. *Bioresource Technology Reports* [en línea]. Febrero 2020, vol. 9. [fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X20300049#!>
ISSN: 2589-014X
42. ROUPHAEL, Youssef. [et al.]. Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae* [en línea]. Abril 2018, vol.234. [fecha de consulta: 10 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423818301080?via%3Dihub#!>
ISSN: 0304-4238
43. RONGA, Domenico [et al.]. Testing the influence of digestate from biogas on growth and volatile compounds of basil (*Ocimum basilicum* L.) and peppermint (*Mentha x piperita* L.) in hydroponics. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* [en línea]. Diciembre 2018, vol. 11. [fecha de consulta: 10 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214786118301153#!>
ISSN: 2214-7861
44. SAAVEDRA, Gabriel. [et al.]. Manual de Producción de Lechuga. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias* [en línea]. 2017, [fecha de consulta: 10 de abril de 2020]. Disponible en <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>
ISSN: 0717-4829
45. SAHA, Subhrajit, MONROE, Amber y DAY, Martin. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Science* [en línea]. Diciembre 2016, vol.61, n.º2. [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0570178316300288?via%3Dihub>
ISSN: 0570-1783

46. SAMPIERI, Roberto, COLLADO, Carlos y LUCIO, Maria. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION. 6.^a ed. Mexico: Graw Hill Education, 2014 [fecha de consulta: 5 de junio de 2020]. Disponible en:
https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
ISBN: 9781456223960
47. SAMPIERI, Roberto y TORRES, Christian. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativas, cualitativa y mixta [en línea]. México: Mc Graw Hill Interamericana, 2018 [fecha de consulta: 5 de junio de 2020]. Disponible en:
<https://books.google.com.pe/books?id=5A2QDwAAQBAJ&dq=metodologia+de+la+investigacion+2020+pdf&sitesec=reviews>
ISBN:9781456260965
48. SEUNGJUN, Lee y JIYOUNG, Lee. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems types and characteristic of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae* [en línea]. Noviembre 2015, vol.195. [fecha de consulta: 20 de abril de 2019]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423815301758?via%3Dihub>
ISSN: 0304-4238
49. THAKUR, Kanika [et al.]. Enhancement of picrosides content in Picrorhiza kurroa Royle ex Benth. mediated through nutrient feeding approach under aeroponic and hydroponic system. *Industrial Crops & Products*. [en línea]. Julio 2019, vol. 133. [fecha de consulta: 17 de abril de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019301785>
ISSN: 0926-6690
50. URRESTARAZU, Luis [et al.]. Assessment of perlite, expanded clay and pumice as substrates for living walls. *Scientia Horticulturae*. [en línea]. Agosto 2019, vol. 254. [fecha de consulta: 17 de abril de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423819303358>
ISSN: 0304-4238
51. VARGAS, Jorge. Curso básico de Hidroponía [en línea]. Moca: [s.n.], 2010 [fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en:
https://books.google.com.pe/books?id=GV_XAQAQBAJ

- ISBN: 9780557456994
52. VEIGA, José. INICIACION AL HUERTO URBANO [en línea]. [s.l.]: Blurb, Incorporated, Julio 2019 [fecha de consulta: 17 de abril de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=idTMDwAAQBAJ>
ISBN: 9780464010852
53. VELASCO, José, AGUIRRE. Gino y ORTUÑO, Noel. Humus líquido y microorganismos para favorecer la producción de Lechuga (*Lactuca sativa* var. *Crespa*) en cultivo hidropónico. *Revista Internacional Journal of the Selva Andina Biosphere* [en línea]. Noviembre 2016, vol.4. n.º2. [fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592016000200004
ISSN: 2308-3859
54. WADA, Terou. Plant Factory Using Artificial Light [en línea]. [s.l.]: Elsevier Inc., 2019 [fecha de consulta: 20 de abril de 2019]. Terou. Chapter 1.1 - Theory and Technology to Control the Nutrient Solution of Hydroponics. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128139738000014?via%3Dihub>
ISBN: 9780128139738
55. WORTMAN, Sam. Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. *Scientia Horticulturae* [en línea]. Octubre 2015, vol.194. [fecha de consulta: 20 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423815301199?via%3Dihub>
ISSN: 0304-4238
56. YANG, Peng, GUO, Yan-shi y QIU, Ling. Effects of ozone-treated domestic sludge on hydroponic lettuce growth and nutrition. *Journal of Integrative Agriculture* [en línea]. Marzo 2018, vol. 17, n.º3. [fecha de consulta: 20 de abril de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311917618689>
ISSN: 2095-3119

57. ZHENG, Yin-jian [*et al.*]. Supplemental blue light increases growth and quality of greenhouse pak choi depending on cultivar and supplemental light intensity. *Journal of Integrative Agriculture*. [en línea]. Octubre 2018, vol.17, n.º10. [fecha de consulta: 20 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095311918620647>
ISSN: 2245-2256

ANEXOS

Anexo 1.

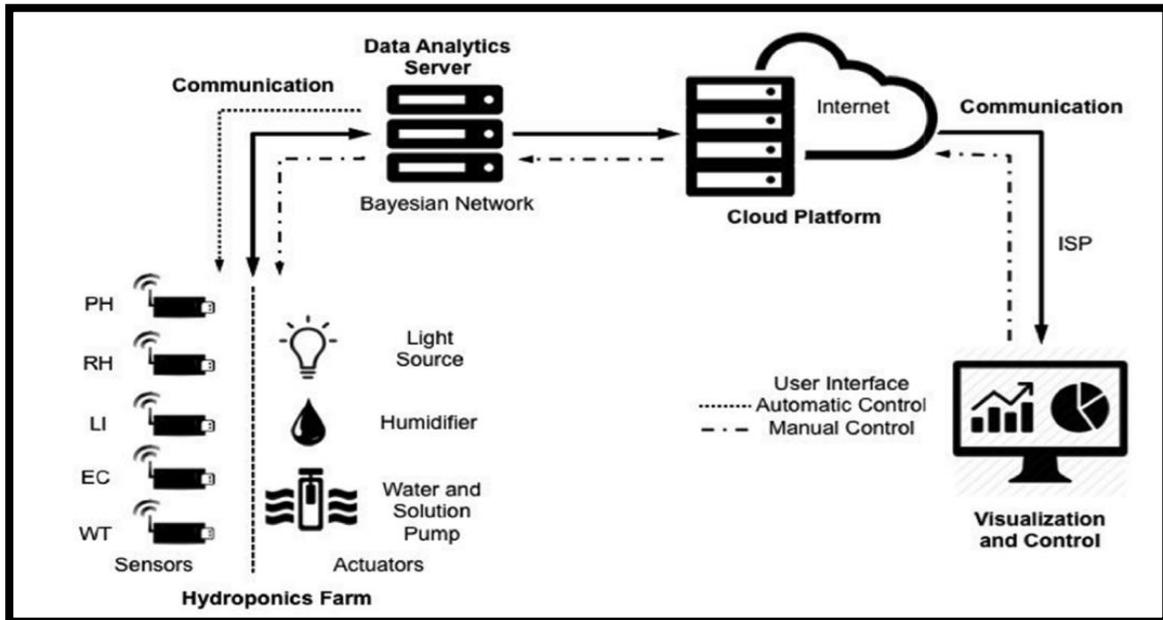


Figura 10. Modelo Integral basado en IO

Fuente: Alipio et al., 2019, p. 3.

Anexo 2.

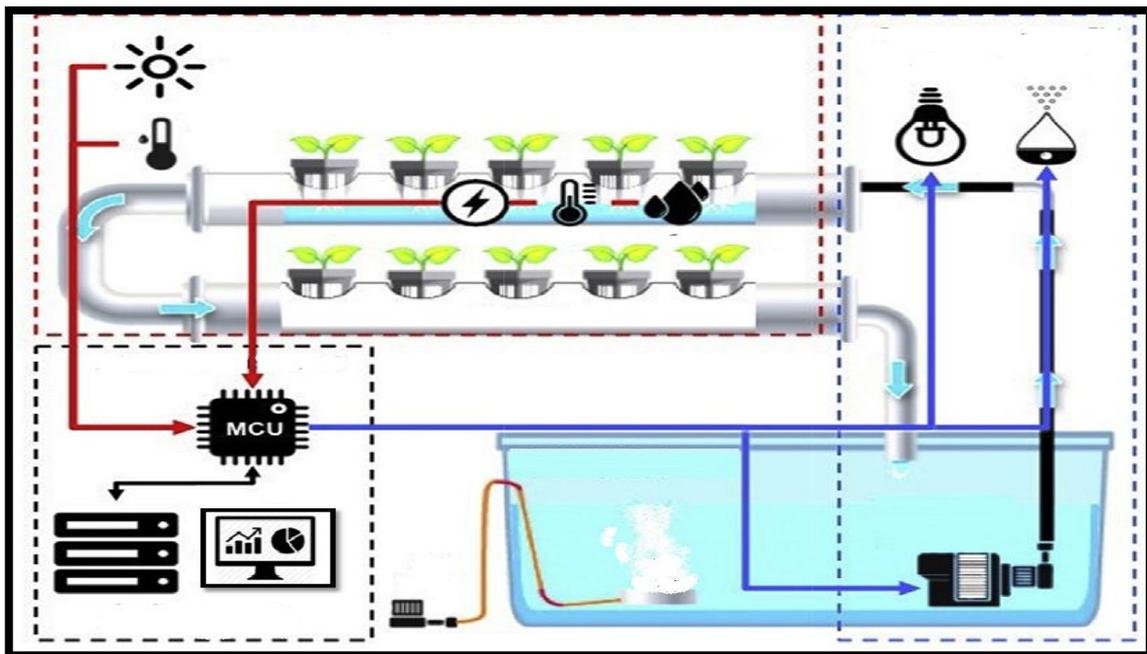


Figura 11. Diseño del Sistema Hidropónico Inteligente

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3.

Tabla 1. *Propiedades fisicoquímicas de la lechuga*

NOMBRE		Lechuga arrepollada (Iceberg)
Agua	%	95,64
Energía	g	14
Proteína		0,9
Grasa total		0,14
Carbohidratos		2,97
Fibra dietética total		1,2
Ceniza		0,36
Calcio	mg	18
Fosforo		20
Hierro		0,41
Tiamina		0,04
Rivoflavina		0,03
Niacina		0,12
Vitamina C		3
Vitamina A equiv. retinol	25	
Ácidos grasos monoinsaturados	g	0,01
Ácidos grasos poliinsaturados		0,07
Ácidos grasos saturados		0,02
Colesterol	mg	0
Potasio		141
Sodio		10
Zinc		0,15
Magnesio		7
Vitamina B6		0,04
Vitamina B12	mcg	0
Ácido fólico		0
Folato equiv. FD		29
Fracción comestible	%	0,95

Fuente: Saavedra et al., 2017, p. 19.

Anexo 4.

Tabla 2. *Clasificación taxonómica de la lechuga.*

REINO	Plantae
DIVISIÓN	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliopsida
ORDEN	Asterales
FAMILIA	Asteraceae
SUB FAMILIA	Cichorioideae
TRIBU	Lactuceae
GÉNERO	Lactuca
ESPECIE	Lactuca sativa L.

Fuente: Cubillos 2015, p. 13.

Anexo 5.

Tabla 6. Ficha de recolección de datos

Autor (es)	
Objetivos:	
Mejora en diseño:	
Metodología:	
Resultados	
Recomendaciones:	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6.

Tabla 8. Tipos de fuentes de aguas empleadas en los sistemas hidropónicos

REFERENCIA	FUENTES DE AGUAS	TIPOS DE SISTEMAS HIDROPÓNICO	TIPOS DE HORTALIZAS	PARÁMETROS OPERACIONALES	DESARROLLO DE LAS HORTALIZAS
	(SUBCATEGORIAS)				
ATZORI, Giulia <i>et al.</i> , 2016, pp. 255-259.	Agua marina (AM) y de grifo (AG)	Técnica de película de nutriente (TPN)	Lechuga (L), Acelga (A), Achicorria (AC)	pH=6.74-6.8	L-AM: peso fresco del brote=72.6g; A-AM: peso fresco del brote=26.54g y AC-AM: peso fresco del brote=43.44g.
LIRA, Raquele, <i>et al.</i> , 2020, pp. 1038-1043.	Agua subterráneas	Técnica de película de nutriente (TPN)	Berro (B), Repollo Chino (R)	B: pH=8.0 EC=6-7 dSm^{-1} R: pH=8.5 CE=3 dSm^{-1}	B: peso fresco del brote=11.73g y R: peso fresco del brote=173.05g
CUBA, Renata <i>et al.</i> , 2015, pp. 574-582.	Efluentes domésticas tratadas (EDT)	Técnica de película de nutrientes (TPN)	Lechuga (L)	pH=7.83-8.10 CE=0.40-0.50 dSm^{-1}	L + fertilizante mineral: masa fresca (valor medio) = 322.73g. $planta^{-1}$.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7.

Tabla 9. Tipos de sustratos empleados en los sistemas hidropónicos

REFERENCIA	TIPOS DE SUSTRATOS	TIPO DE SISTEMA HIDROPÓNICO	TIPOS DE HORTALIZAS	PARÁMETROS OPERACIONALES	DESARROLLO DE LAS HORTALIZAS
	(SUBCATEGORÍAS)				
JORDÁN, Rodrigo <i>et al.</i> , 2018, pp. 525-527.	Fibra de cascara de coco (FC), Espuma fenólica (EF) y Vermiculita expandida (VE)	Técnica de película de nutriente (TPN) y Acuapónico (AP)	Lechuga rizada(L)	TPN: pH=6.5, CE=1 $\mu S cm^{-1}$, T=27.5 °C; AP: pH=7.0-7.3. CE=0.3-0.5 $\mu S cm^{-1}$, T=27.5 °C.	FC-AP-L: rendimiento de cosecha=2,88 kg.m ² y TPN-FC: rendimiento de cosecha=2,58 kg.m ² .
MIRANDA, Fabio <i>et al.</i> , 2014, pp. 834-839.	Fibra de coco	Técnica de película de nutriente (TPN)	Fresa Albión (FA), camarosa (FC), festival (FF) y oso grande (FOG).	pH=5.0-6.7 CE=1.2-2.2 dSm^{-1}	TPN-FC: en rendimiento= 7405.0g.m ⁻² y rendimiento de fruta= 1407.0g.planta ⁻¹
AWAD, Yaaser <i>et al.</i> , 2017 pp. 582-584.	Biocarbón (PL+CA), Perlita y Cascara de arroz	Técnica de película de nutriente (TPN)	Repollo (R), Lechuga Roja (LR)	pH=5,6 CE=1,5 dSm^{-1}	R- (PL+CA): masa fresca: brote=100.31g, longitud de brote=28.40cm, n° de hojas=18.80. LR – (PL+CA): masa fresca: brote=90.34g, longitud de brote=31.40cm, n° de hojas=23.40.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8.

Tabla 10. Tipos de soluciones nutritivas empleados en los sistemas hidropónicos

REFERENCIA	TIPOS DE SOLUCIONES NUTRITIVAS	TIPO DE SISTEMA HIDROPÓNICO	TIPOS DE HORTALIZAS	PARÁMETROS OPERACIONALES	DESARROLLO DE LAS HORTALIZAS
	(SUBCATEGORIAS)				
VELASCO, Jose, AGUIRRE, Gino y ORTUÑO, Noel, 2016, pp. 73-81.	Bioinoculantes (B) y Ácidos orgánicos (AG)	Técnica de flotación de profunda (TFP)	Lechuga (L)	pH =7.8	L-(B+AG): peso fresco de las plantas= $163 \frac{g}{planta}$, n° de hojas=14.8 , altura de las plantas=32cm
YANG, Peng, GUO, Yan-shi y QIU, Ling, 2018, pp. 594-597.	Lodos domésticos tratados con ozono (LDT)	Técnica de película de nutriente (TPN)	Lechuga (L)	El pH del lodo=6,2	L-LDT: desempeño en la altura=16,10cm, n° de hojas=16,00; peso fresco=21,42g.
MUPAMBWA, Hupenyu <i>et al.</i> , 2019 pp. 2-6.	Digestato del biogás diluido con agua (DBA)	Técnica de flotación profunda (TFP)	Tomates (T)	pH = =7,69; CE= $275.7 \mu S/cm$	T-DBA: peso fresco=15,53g, n° de frutos=14,3.
JIN, Entao <i>et al.</i> , 2020, pp. 2-4.	Aguas residuales porcinas pretratadas (ARPP).	Técnica de flotación profunda (TFP)	Espinacas (E)	pH=8,26	E-ARPP: peso fresco de la hoja =11,52g y peso fresco de la raíz=5,28g.
RONGA, Domenico <i>et al.</i> , 2018, , pp. 1-5.	Digestato del biogás líquido (DGL); con sustrato: Agriperlita (AP), Digestato sólidos (DS), Solución Estándar (SE).	Técnica de película de nutrientes (TPN)	Albahaca (A), Menta (M)	pH=5.5-6.6. CE=1.5-2.5 dSm^{-1}	A - (DS+DGL): Altura=6.75cm ,peso del brote fresco=2.853 $g/planta^{-1}$. M – (DS+SE): altura=6.42cm, peso del brote fresco=2.48g/ $planta^{-1}$.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9.

Tabla 11. Tipos de iluminaciones artificiales empleado en los sistemas hidropónicos

REFERENCIA	TIPOS DE LUCES ARTIFICIALES	TIPO DE SISTEMA HIDROPÓNICO	TIPOS DE HORTALIZAS	PARÁMETROS OPERACIONALES	DESARROLLO DE LAS HORTALIZAS
	(SUBCATEGORIAS)				
CHEN, Xiao-li y YANG, Qi-chang, (2018)	Paneles LED de 2 colores, rojo (R) y azul (B)	Técnica de flotación profunda (TFD)	Lechuga (L)	Longitud de Onda =660nm-450nm y Densidad del Flujo de Fotones Fotosintéticos =180 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$.	L-LED(R-B): peso fresco del brote=139g, altura de la planta=26.23cm y el n° de hojas=31.
CHEN, Lili <i>et al.</i> , 2020, pp. 108-115.	Paneles LED de color: Rojo (R), Azul (B) y Verde (G)	Aeropónico (AE)	Papa (P)	R=660 nm, A=450nm y V=520nm,	RBG-AE=aumento el n° de tubérculos=4.00, peso fresco del tubérculo=18.92g y tubérculo de peso seco=11.96g.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10.

Tabla 12. Tipos de sistemas automatizados empleados en los sistemas hidropónicos

REFERENCIA	SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN	TIPOS DE SISTEMAS HIDROPÓNICOS	TIPOS DE HORTALIZAS	PARÁMETROS OPERACIONALES	DESARROLLO DE LAS HORTALIZAS
	(SUBCATEGORIAS)				
THAKUR, Kanika <i>et al.</i> , 2019, pp. 161-164	Sistema de irrigación automatizada (SIA)	Técnica de flotación profunda (TFP) y Aeropónico (AE) en invernadero.	Kutaki (K)	CE=0,5-1,5 $\text{Sm}^{-1}\text{cm}^{-1}$, pH=6,8-7,0	K-AE-SIA: mayor altura de las plantas=6.51 cm, longitud en las hojas=4,09 cm.
ALIPIO, Melchizedek	Modelo integral en base IO de	Técnica de película de nutrientes (TPN)	Lechugas (L)	pH=5,5-7,0; T=22-28°C;	L-MIA peso=0,44g; altura=12,75cm;

<i>et al., 2019,</i> pp. 2-9.	Control manual (MIC) y automático (MIA)			CE=09,2,1 Sm^1cm^1 .	circunferencia=38,52cm; n° de hojas=14.
----------------------------------	-----------------------------------------	--	--	---------------------------	-----------------------------------------

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 11.

Tabla 13. Tipos de organismos empleados en los sistemas hidropónicos

REFERENCIA	TIPOS DE ORGANISMOS	TIPOS DE SISTEMAS HIDROPÓNICOS	TIPOS DE HORTALIZAS	PARÁMETROS OPERACIONALES	DESARROLLO DE LAS HORTALIZAS
	(SUBCATEGORIAS)				
SEUNGJUN, Lee y JIYOUNG, Lee, 2015 pp. 207-210.	Bacterias y Hongos	Técnica de película de nutrientes (TPN), Técnica de flotación profunda (TFP) y Aeropónico (AE).	Tomate (T), Pepino (P), Papa (PA), Arroz (A) Lechuga (L) y Pimienta (PI)	--	Las <i>Pseudomonas spp.</i> , reduce la podredumbre y aumento de la raíz de T-P-L-PA. <i>El Bacillus spp.</i> , potencia el crecimiento del fruto y disminuye la concentración de salinidad en el agua para (PI-T). <i>El Gliocladium trichoderma spp.</i> , modifica la composición de la pared celular del (A-P).
SAHA, Subhrajit, MONROE, Amber y DAY, Martin, 2016, pp. 182-184.	Cangrejos rojos (CR) y blancos (CB) del río	Técnica de película de nutrientes (TPN) y Acuapónico (AP).	Albahaca (A)	pH=6,9 – 7,0	AP-(CR-CB): altura=94,9 cm, peso fresco=150,2g,

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12.

Tabla 14. Tipos de biofiltros alternos empleados en los sistemas hidropónicos

REFERENCIA	TIPOS DE BIOFILTROS	TIPO DE SISTEMA HIDROPÓNICO	TIPOS DE HORTALIZAS	PARÁMETROS OPERACIONALES	DESARROLLO DE LAS HORTALIZAS
	(SUBCATEGORIAS)				
LI, Gu <i>et al.</i> , 2018, pp. 2-8.	Arrozales flotante con sustrato de ceramista (AFC)	Acuapónica (AP)	Arroz (A)	En verano, pH=8.13, T=29.90°C; Otoño, pH=7.54, T=21.83	A-AFC: n° de panículas efectivas=12.5, longitud de la panícula=21.17C m, n° de granos por páncreas=186.7 y con rendimiento de =7127.01kg ha ⁻¹ .

Fuente: Elaboración Propia.



Declaratoria de Originalidad del Autor / Autores

Yo (Nosotros), WALTER ALDAIR POMA ASTUHUAMAN estudiante(s) de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro (declaramos) bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: "REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE USO DE SISTEMAS HIDROPÓNICOS EN EL CULTIVO DE HORTALIZAS", es de mi (nuestra) autoría, por lo tanto, declaro (declaramos) que el Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He (Hemos) mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo (asumimos) la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
WALTER ALDAIR POMA ASTUHUAMAN DNI: 73216746 ORCID 0000-0002-6477-7615	Firmado digitalmente por: WPOMAA el 27 Jul 2020 18:07:26

Código documento Trilce: 33424