

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“ELABORACIÓN DE UN SISTEMA AEROPÓNICO CON ENERGÍA  
FOTOVOLTAICA PARA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA COMO  
TÉCNICA DE CULTIVO SOSTENIBLE Y AUTOSUFICIENTE EN EL  
ECOSISTEMA URBANO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**BARZOLA SÁNCHEZ OSCAR FERNANDO**

**Villa El Salvador**

**2019**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios sobre todas las cosas, a mis padres que siempre me brindaron su apoyo en todo momento, a mis amigos, pocos, pero únicos en los que uno puede confiar, a mis tíos que me dieron palabras de ánimo y siempre confiaron en mí, a la vida por esta oportunidad y a mi corazón.

## **DEDICATORIA**

Empecé este camino con la idea de ser el mejor, comencé a afrontar nuevos retos con responsabilidad y destacando siempre, conocí muchos amigos y en la meta pocos nos encontramos, muchas veces caí y muchas veces más me levanté. Y es que nada somos si sólo uno se dedicase a aprender materias y sacar buenas notas, la clave está en la actitud, en las relaciones sociales, en como uno se desenvuelve con su entorno, gracias a la vida por dotarme con eso... Al final fui el mejor de mi promoción, al final descubrí un mejor amigo, al final conocí el amor, al final mis padres vieron su sueño personal cumplido en mí, al final Dios hizo posible esto. Dedicado a todos ustedes...

## Índice

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2 Justificación del problema .....	3
1.3 Delimitación del proyecto .....	4
1.3.1 Teórica.....	4
1.3.2 Temporal.....	4
1.3.3 Espacial .....	4
1.4 Formulación del problema.....	5
1.4.1 Problema general.....	5
1.4.2 Problemas específicos.....	5
1.5 Objetivos .....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 Antecedentes .....	7
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.2.1 Origen de la aeroponía .....	9
2.2.2 Ventajas de la aeroponía .....	11
2.2.3 Desventajas de la aeroponía .....	12
2.2.4 Aeroponía de alta presión.....	13
2.2.5 Aeroponía de baja presión.....	13
2.2.6 Diferencias entre la aeroponía y la hidroponía.....	13
2.2.7 Hidroponía .....	14
2.2.8 Origen de la hidroponía.....	16
2.2.9 Cultivos en hidroponía y la urbe.....	16
2.2.10 Ventajas y desventajas de la hidroponía.....	17
2.2.11 Cultivo sin suelo.....	18
2.2.12 Sustratos empleados en los cultivos sin suelo.....	18
2.2.13 Clasificación de sustratos .....	19
2.2.14 Propiedades físicas de los sustratos.....	20

2.2.15	Propiedades químicas de los sustratos.....	21
2.2.16	La lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ) .....	23
2.2.17	Propiedades medicinales de la lechuga.....	24
2.2.18	Propiedades nutricionales de las lechugas .....	26
2.2.19	Clasificación botánica de la lechuga .....	28
2.2.20	Morfología de la lechuga.....	29
2.2.21	Tipos de lechuga.....	33
2.2.22	Germinación de la semilla de lechuga .....	37
2.2.23	Trasplante de la lechuga.....	39
2.2.24	Crecimiento y desarrollo .....	39
2.2.25	Principales funciones de las plantas .....	40
2.2.26	Características de la lechuga.....	41
2.2.27	La energía solar .....	43
2.2.28	La radiación Solar .....	44
2.2.29	Tipología de células .....	44
2.2.30	Células de silicio amorfo .....	45
2.2.31	Células de silicio monocristalino .....	46
2.2.32	El panel fotovoltaico .....	47
2.2.33	Las células fotovoltaicas .....	47
2.2.34	Característica del panel .....	47
2.2.35	Componentes de un sistema fotovoltaico aislado .....	48
2.2.36	Ecosistema .....	49
2.2.37	Factores bióticos y abióticos .....	49
2.2.38	Ecosistema de las ciudades.....	50
2.2.39	El metabolismo urbano .....	52
1.6	Definición de términos básicos.....	53
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL		60
3.1	Modelo de solución propuesto .....	60
3.1.1	Sistema de Producción .....	60
3.1.2	Componentes del Sistema de Producción .....	60
3.1.3	Materiales a considerar.....	63
3.1.4	Elaboración del Prototipo .....	72

3.2 Resultados .....	89
3.2.1 Energía requerida para la producción de lechugas.....	89
3.2.2 Crecimiento de las lechugas .....	91
3.2.3 Rendimiento del cultivo .....	94
CONCLUSIONES .....	98
RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXOS.....	102

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Hojas de lechuga americana, repolluda o Crisp Head.....	30
<b>Figura 2.</b> Tallo alargado de la planta de lechuga listo para florecer.....	31
<b>Figura 3.</b> Raíz, tallo y hojas de lechuga.....	31
<b>Figura 4.</b> Flores de lechuga.....	32
<b>Figura 5.</b> Semilla de lechuga.....	33
<b>Figura 6.</b> Lechuga Romana.....	34
<b>Figura 7.</b> Lechuga variedad Icevic.....	35
<b>Figura 8.</b> Lechuga variedad Albert.....	36
<b>Figura 9.</b> Lechugas follares roja y verde de hojas sueltas.....	36
<b>Figura 10.</b> Etapas del proceso de germinación de una semilla de lechuga.....	39
<b>Figura 11.</b> Estados de crecimiento de la planta de lechuga.....	40
<b>Figura 12.</b> Célula de silicio amorfo.....	45
<b>Figura 13.</b> Célula monocristalina.....	46
<b>Figura 14.</b> Sistema fotovoltaico aislado.....	48
<b>Figura 15.</b> Clasificación de zonas en los ecosistemas urbanos.....	51
<b>Figura 16.</b> Sistema aeropónico armado.....	63
<b>Figura 17.</b> Madera cachimbo.....	64
<b>Figura 18.</b> Pernos y Tuercas.....	65
<b>Figura 19.</b> Tubos "Y" y piezas cilíndricas de PVC.....	66
<b>Figura 20.</b> Esmalte mate blanco y thinner acrílico.....	66
<b>Figura 21.</b> Tubos de polietileno negro.....	67
<b>Figura 22.</b> Tapones y codos de polietileno negro.....	68
<b>Figura 23.</b> Tubo "T" y codo de PVC.....	68
<b>Figura 24.</b> Bomba de agua sumergible.....	68
<b>Figura 25.</b> Micronutrientes y macronutrientes en solución.....	69
<b>Figura 26.</b> Panel solar monocristalino.....	70
<b>Figura 27.</b> Batería y conversor de energía.....	71
<b>Figura 28.</b> Caja de madera utilizada como almaciguero.....	72
<b>Figura 29.</b> Armado del soporte del sistema.....	73
<b>Figura 30.</b> Perforado de madera para unión de partes.....	73
<b>Figura 31.</b> Incorporación de la base al soporte del sistema.....	74
<b>Figura 32.</b> Armado de las columnas de cultivo.....	75
<b>Figura 33.</b> Conexión para la salida de la solución.....	76
<b>Figura 34.</b> Tubo de polietileno negro con conector adherido y tapón.....	77
<b>Figura 35.</b> Conexión interna del contenedor para el ingreso de solución.....	78
<b>Figura 36.</b> Incorporación de tubos en el soporte.....	79
<b>Figura 37.</b> Colocación de los tubos de 5mm a las columnas.....	80
<b>Figura 38.</b> Sistema fotovoltaico (aislado) armado con sus componentes.....	81
<b>Figura 39.</b> Cama almaciguera.....	82
<b>Figura 40.</b> Incorporación de arena gruesa en la almaciguera.....	83

<b>Figura 41.</b> Lechugas germinadas (día 8).....	84
<b>Figura 42.</b> Día 20 de las lechugas en el almaciguero.....	85
<b>Figura 43.</b> Día 27 - trasplante de la lechuga.....	86
<b>Figura 44.</b> Plántulas de lechuga en el sistema aeropónico.....	86
<b>Figura 45.</b> Día 10 de las lechugas en el sistema aeropónico .....	87
<b>Figura 46.</b> pH de la solución nutritiva en 20 días de recirculación.....	88
<b>Figura 47.</b> Día 30 de las lechugas en el sistema de producción aeropónico .....	89
<b>Figura 48.</b> Crecimiento promedio de cada variedad de lechuga.....	94
<b>Figura 49.</b> Peso promedio por cada variedad de lechuga .....	97
<b>Figura 50.</b> Rendimiento de cada variedad de lechuga .....	97

## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Contribución de la dimensión de las partículas en la porosidad y retención de agua</i> .....	21
Tabla 2 <i>Capacidad de intercambio catiónico de varios tipos de sustratos</i> .....	22
Tabla 3 <i>Composición nutritiva de la lechuga (100 g de porción comestible crudo)</i> .....	26
Tabla 4 <i>Composición de 3 tipos de lechuga por 100 gramos de porción</i> .....	27
Tabla 5 <i>Clasificación botánica de la lechuga</i> .....	28
Tabla 6 <i>Materiales del soporte estructural</i> .....	64
Tabla 7 <i>Materiales para las columnas de cultivo</i> .....	65
Tabla 8 <i>Materiales para el sistema de recirculación</i> .....	67
Tabla 9 <i>Materiales para el bombeo de solución</i> .....	69
Tabla 10 <i>Materiales para la alimentación energética</i> .....	70
Tabla 11 <i>Materiales para el almaciguero</i> .....	71
Tabla 12 <i>Tamaño de plántulas de lechuga en 27 días</i> .....	91
Tabla 13 <i>Tamaño de lechugas cosechadas en 69 días de crecimiento</i> .....	92
Tabla 14 <i>Crecimiento de lechugas en 42 días</i> .....	93
Tabla 15 <i>Promedio de crecimientos por variedad de lechuga</i> .....	94
Tabla 16 <i>Peso de lechugas en 42 días</i> .....	95
Tabla 17 <i>Rendimiento total y por cada variedad de lechuga</i> .....	96

## INTRODUCCIÓN

La aeroponía es una tecnología innovadora de producción variante de la hidroponía en la que se promueve el desarrollo de vegetales, como las hortalizas, en un medio aireado por lo que las raíces están expuestas al aire y tienen una mejor oxigenación. En esta técnica las plantas reciben riego temporizado ya sea por nebulización (aeroponía de alta presión) o por goteo (aeroponía de baja presión). Existen muchos tipos de sistemas aeropónicos con la misma finalidad, pero los diseños y dimensiones son consideradas de acuerdo con el rendimiento esperado o el tipo de cultivo a considerar.

La hidroponía es otro método de cultivo que no necesita suelo y a diferencia de la aeroponía las plantas presentan una raíz sumergida en la solución nutritiva. Un sistema hidropónico se dispone en tubos paralelos de forma horizontal respecto a la superficie. A diferencia de la aeroponía su rendimiento es menor, sus raíces no presentan una oxigenación tan alta y el aprovechamiento de nutrientes de la solución, por parte de la planta, no es tan bueno como en la aeroponía. Los cultivos sin suelo también presentan sustratos, los mismos que permiten el anclaje del sistema radicular. Un sustrato otorga un clima gaseoso, líquido y sólido óptimo para el desarrollo de las plantas. Existe una gran variedad de sustratos pudiendo ser de origen natural, como la turba o fibra de coco, o inorgánico como la arena o arlita. Para el trabajo se necesitó de un sustrato adecuado el cual permita la germinación y desarrollo inicial de las plantas.

La hortaliza considerada fue la lechuga (*Lactuca sativa*) en tres de sus variedades. El crecimiento de estas hortalizas, sin considerar la germinación, se divide en cuatro fases: Plántula, roseta, encabezamiento y floración. El presente trabajo utilizó un sistema de cultivo aeropónico con riego por goteo gravimétrico considerando 9 columnas de producción y cada columna con espacio para 8 plantas, todo dispuesto verticalmente. El sistema elaborado requirió de recirculación de nutrientes por lo que se utilizó una bomba de baja presión y para abastecerla energéticamente se necesitó de un panel fotovoltaico.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

El ambiente natural, en equilibrio, propicia recursos a todo organismo vivo que lo habita, haciendo posible su desarrollo en el tiempo mediante procesos interactivos, denominado como interacción entre el biotopo y la biocenosis. Lo mencionado hace referencia al funcionamiento propio de un ecosistema natural, el cual se ve interrumpido, con el pasar de los años, debido a las variaciones significativas por acción directa de los seres humanos, conllevando esto al desequilibrio y la centralización de un nuevo ecosistema en el cual se prepondera el consumo de grandes cantidades de materia y energía, por lo que se le da la denominación de ecosistema dedicado al consumo. Los seres humanos dejaron de ser nómadas para instalarse en ecosistemas y poner en marcha las prácticas agrícolas, posteriormente surgen comunidades que establecen ciudades proponiendo otro tipo de actividades y demandando mucho más espacio para su desarrollo. Actualmente ya se considera a la ciudad como un tipo de ecosistema únicamente adaptado a los requerimientos de los seres humanos y de crecimiento prolífero, pero de escasa productividad.

La autoinsuficiencia de las ciudades o ecosistemas urbanos recalca en la limitación de sus habitantes al no poder producir los alimentos que necesitan para subsistir y al no considerar la actividad agrícola en sus límites por lo que ecosistemas externos son los que cumplen la función de abastecimiento mediante la exportación de recursos alimenticios a grandes distancias. Grandes dimensiones de espacio a distancias muy alejadas son destinadas a la agricultura convencional para satisfacer la demanda alimenticia de los habitantes en los ecosistemas urbanos, pues es necesaria la adaptación de los suelos para producir especies vegetales en abundancia y en un periodo de tiempo determinado, conllevando este

la degradación de los medios naturales donde se instalan ya sea por deforestación de especies autóctonas en equilibrio, uso de plaguicidas, uso de fertilizantes químicos, malos manejos agrícolas, etc.

La producción de vegetales, ante la gran demanda de alimentos de la sociedad, requiere de muchos cuidados, para tal, es necesario una gran variedad de químicos que ayudan en el rápido crecimiento y generan mayor volumen de los vegetales, causando deterioros de la vida existente en el suelo como también una gran inversión de energía para producirlos. Estos alimentos generados pueden ser no tan saludables para la salud de la persona que lo consume, además de no ser tan nutritivos como si lo es alguna otra especie orgánica que no requiere muchos controles. Existe la necesidad de implementar medidas que empiecen a fomentar el equilibrio en el ecosistema urbano y erradique su denominación de auto insuficiente mediante la producción de vegetales ricos en nutrientes, que tengan un periodo de crecimiento libre de químicos, medidas que empiecen a convertir a las ciudades en productores de vegetación para la alimentación de sus habitantes fomentando la sostenibilidad.

## 1.2 Justificación del problema

El ecosistema urbano necesita cambiar su concepto de auto insuficiente, para tal es necesario promover técnicas sostenibles de producción vegetal a pequeña, mediana o gran escala no solo con un fin comercial, sino también con el fin de impulsar la producción de vegetales ricos en nutrientes para autoconsumo en las azoteas u otras áreas urbanas, mejorar el paisajismo urbano donde predomina el concreto y el sol irradie, fomentar el uso de energías renovables como la solar fotovoltaica para abastecer la demanda de energía del prototipo a usar y fomentar una agricultura ecológica respetable con el medio ambiente. Se busca promover la producción de hortalizas mediante la técnica aeropónica fotovoltaica, la cual optimiza y promueve el crecimiento en las plantas.

El trabajo presenta una opción de cultivo ecológico a considerar en las ciudades de la costa y sierra del Perú donde se puedan producir hortalizas. Una opción que promueva la agricultura ecológica libre de plaguicidas y químicos que ayudan en su crecimiento, reducir el consumo hídrico para producción de vegetales, evitar la contaminación de los suelos y promover la educación ambiental. Se presenta una nueva opción de cultivo innovador con viabilidad económica, social y ambiental. El trabajo no intenta competir con las grandes dimensiones de la agricultura convencional, ya que se desarrolla en las ciudades donde no hay suelos aptos para agricultura, ni con otras formas de cultivo rediseñadas los últimos años como la hidroponía. El trabajo busca la implementación de un diseño aeropónico autosuficiente energéticamente, en los ecosistemas urbanos, como un medio de producción vegetal limpio, que otorgue un buen rendimiento en la cosecha y tener el cálculo exacto de la energía utilizada para producirlas.

### **1.3 Delimitación del proyecto**

#### **1.3.1 Teórica**

El trabajo presenta la siguiente de limitación teórica:

Aeroponía de baja presión, los cultivos sin suelo, sustratos empleados en los cultivos sin suelo, propiedades físicas de los sustratos, la lechuga, propiedades nutricionales de la lechuga, tipos de lechugas, clasificación botánica de la lechuga, morfología de la lechuga, germinación de la semilla de lechuga, trasplante de la lechuga, características de la lechuga, la energía solar, panel fotovoltaico, componentes de un sistema fotovoltaico aislado y ecosistemas de las ciudades.

#### **1.3.2 Temporal**

En el trabajo, el tiempo para el armado y la instalación del sistema aeropónico fotovoltaico demandó 15 días, el tiempo desde la germinación de las semillas de lechuga hasta el trasplante de las plántulas en el almaciguero demandó 27 días y el tiempo de producción en las columnas de cultivo, desde la colocación de las plántulas de lechuga en el sistema hasta su cosecha, demandó 42 días.

#### **1.3.3 Espacial**

El funcionamiento del sistema aeropónico fotovoltaico, para la producción de hortalizas, se enfoca en las zonas urbanas en donde se carece de suelo para el cultivo convencional. Se considera, zonas urbanas óptimas, al biotopo conformado por edificios, casas, parques y todo lugar en el que prepondera el concreto y el cual tiene acceso a luz solar. Se considera las urbes de la costa y sierra, por los climas aceptables que presentan y a la vez permiten la producción vegetal de hortalizas como la lechuga.

La instalación del sistema aeropónico fotovoltaico se realizó en el patio de una vivienda ubicada en la zona de San Francisco de Tablada de Lurín perteneciente

al distrito de Villa María del Triunfo, Provincia de Lima, Departamento de Lima. A 262 m.s.n.m. con coordenadas 12°12'46" S y 76°55'17" W y coordenadas UTM 18S 290945 8649159. (Ver Anexo 1) La vivienda se encuentra en un área urbana próximo a la zona industrial del distrito, en el que predomina las viviendas construidas con concreto.

## **1.4 Formulación del problema**

### **1.4.1 Problema general**

¿En qué medida la elaboración de un sistema aeropónico con energía fotovoltaica para producción hortícola será eficaz como técnica de cultivo sostenible y autosuficiente?

### **1.4.2 Problemas específicos**

- ¿Cuánta es la cantidad de energía requerida para la producción del cultivo de lechuga, en el sistema aeropónico?
  
- ¿Cuánto es el rendimiento de la producción del cultivo de lechuga en el sistema aeropónico?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Elaborar un sistema aeropónico con energía fotovoltaica para producción hortícola como técnica de cultivo sostenible y autosuficiente.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Determinar la cantidad de energía requerida para la producción de lechuga, en el sistema aeropónico.
  
- Determinar el rendimiento de la producción de lechuga en el sistema aeropónico.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes**

Martínez (2013), menciona el papel de la aeroponía en la ciudad como alternativa de producción efectiva para la mitigación de impactos ambientales generados por la agricultura convencional con eje de inclusión social y cambio de hábitos estableciendo vínculos sociedad-naturaleza, su investigación puede concluir que la agricultura urbana de la mano de la aeroponía presentaría beneficios en cuanto a resiliencia, dinámicas externas, servicios ecosistémicos, competitividad en mercado, creación, microempresa, incremento en producción, satisfacción de demanda, eliminación en transporte de alimentos, inclusión, estabilidad en consumo, estética y hobby. Como privilegios mayores y marcados generados por esta nueva práctica se encuentran la educación ambiental; salud; preservación de biodiversidad entendida como recuperación de suelo, reducción de emisiones, eliminación en presión de acuíferos, diversidad genética, capacidad biológica de protección, disminución de agrotóxicos; desarrollo local con empleo e ingresos; incentivo al consumo saludable y con él; seguridad alimentaria acerca de la proveniencia de los alimentos y apropiación de la naturaleza o sentido de pertenencia por la misma.

Vázquez (2012), concluye que se puede establecer un prototipo de riego hidropónico de funcionamiento automático con tecnología barata y de fácil acceso en México y probablemente en Latinoamérica, esto porque los elementos propuestos en el diseño, para la parte hidráulica e electrónica, son de accesible adquisición. Para la instalación de los tres módulos, el tiempo requerido es de siete días, esto sin considerar el tiempo de entrega de los distintos componentes. Una persona con entendimientos en neumática e hidráulica puede realizar la

implementación, pero se necesitará una persona con saberes en programación de Microcontroladores para programarlo. Si bien esta propuesta es para producción baja o biohuertos familiares, es sencillamente escalable para fines de comercio y de mayor producción, para lo cual los componentes mecánicos e hidráulicos cambiarían, pero los componentes electrónicos se mantienen, tan solo siendo necesario ajustar sus parámetros de funcionabilidad. Se halló que la partícula producida mediante el ultrasonido es más diminuta y que presenta mayor absorción por la planta, lo que incrementa su eficiencia en el periodo de producción, desde su instalación en el sistema, hasta su cosecha. Se cree que la dimensión de la partícula tiene un límite mínimo de absorción, pero esto aún no está comprobado al cien por ciento, por lo que se requiere seguir indagando en este método. Actualmente, el campo sigue siendo una de las principales áreas de conveniencia para mejorar sus procesos, la implementación de métodos hidropónicos es una de las respuestas a estas áreas, incluso actualmente a niveles locales se está apoyando el desarrollo de este tipo de innovaciones.

Hernández (2013), desarrolló el análisis y la investigación de los distintos modelos de agricultura sin suelo y comprobó que el modelo aeropónico presenta un nivel alto de rendimiento en el uso del suelo, bajo consumo de nutrientes requeridos y agua para el óptimo crecimiento de los vegetales, presentándose, como una alternativa rentable, económica y ecológica a largo plazo. En el estudio se logró establecer un sistema viable que abarque con las características técnicas del sistema, obteniendo un 177% de incremento en la capacidad de producción respecto al sistema de referencia. Este sistema columna que integraría un sistema completo tiene 8 caras, 2200 mm. de altitud y estaría elaborado en PET con una capacidad de 112 plantas por columna (capacidad máxima). El desarrollo del prototipo ayudó a verificar el cumplimiento de las características técnicas de dicho sistema, determinando su funcionamiento en modo prueba, para en un futuro ser puesto en funcionamiento a escala mayor. El estudio de simulación permitió identificar el diseño número 11 (Biombo octagonal en plástico PET con una altura de 2200 milímetros) de los 12 modelos analizados, resultando este último, como el modelo seleccionado debido a que tenía el mejor comportamiento en los estudios de materiales que se desarrollaron. Se realizaron adicionalmente, 99 simulaciones del estudio de frecuencia que permitieron determinar que dicho modelo tenía los

menores desplazamientos de material en comparación con el diseño original en el rango de frecuencias evaluadas.

Esquivel (2017), menciona los beneficios del sistema de aeroponía como una opción viable para reducir la escasez de agua, incrementar la producción y calidad de cultivos, así como evitar la contaminación y erosión del suelo. Concluye en que la aeroponía es un método sofisticado de rendimiento impresionante, que es ideal para aquellos agricultores que deseen la máxima producción en sus cultivos y gustan de pasar tiempo revisando y monitoreando sus equipos. Aplicando esta técnica de cultivo podemos obtener vegetales totalmente libres de contaminación, en volúmenes realmente importantes a bajo costo y sin perjuicio para el planeta ni para sus habitantes.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Origen de la aeroponía**

La aeroponía es una técnica de producción parecida a la hidroponía, que surge como alternativa innovadora. La aeroponía es el sistema hidropónico modernizado. El primer sistema de producción aeropónica fue desarrollado por el Dr. Franco Massantini en la Universidad de Pía (Italia), lo que le permitió crear las denominadas "columnas de cultivo". Una columna de cultivo consiste en un cilindro de PVC, u otros materiales, colocado en posición vertical, con perforaciones en las paredes laterales, por donde se introducen las plantas en el momento de realizar el trasplante. Las raíces se desarrollan en oscuridad y pasan la mayor parte del tiempo expuestas al aire, de ahí el nombre de aeroponía. Por el interior del cilindro una tubería distribuye la solución nutritiva mediante pulverización media o baja presión (Durán *et al.*, 2000, p. 43).

Como sistema innovador presenta ventajas considerables ante otro tipo de sistemas realizados y lo convencional. La principal ventaja que aporta la aeroponía es la excelente oxigenación que el sistema proporciona a las raíces, uno de los factores con los que no cuenta la hidroponía. Basta tan solo considerar que la

cantidad de oxígeno disuelto en el agua se mide en mg/L, o partes por millón (ppm), siendo de 5-10 mg/L a 20° C, mientras que la cantidad de oxígeno disuelto en el aire se mide en porcentaje (21%), lo que nos indica que la concentración de oxígeno en el aire es del orden de 20.000 veces más elevada que la concentración del mismo gas disuelto en el agua. Los principales inconvenientes que presentan los sistemas aeropónicos tradicionales son: el coste elevado de la instalación y las obstrucciones de las boquillas de pulverización que pueden producirse si no se dispone de presión suficiente y una instalación adecuada (Durán *et al.*, 2000, p. 43).

Actualmente los sistemas aeropónicos construidos se diferencian en diseño y capacidad. Los sistemas aeropónicos que se utilizan en la actualidad difieren considerablemente del que inicialmente utilizó el Dr. Massantini en Italia. En Israel, por ejemplo, investigadores de la Agricultural Research Organisation pusieron a punto un sistema comercial que denominaron Ein-Gedi System (EGS). En realidad, se trata de un sistema aero-hidropónico, que consiste en sumergir la mayor parte de las raíces en una solución nutritiva que se halla constantemente en circulación; la solución nutritiva se pulveriza sobre la parte alta de las raíces proyectando aire a alta presión por medio de una tubería finamente perforada mediante tecnología láser, en contracorriente con la solución nutritiva circulante. De esta forma, se consigue que una parte de la raíz esté permanentemente en contacto con la solución nutritiva recirculante y la otra se halle bien aireada. Desde hace algunos años, investigadores australianos han puesto a punto nuevos sistemas aeropónicos comerciales, uno de ellos recibe el nombre de Schwalbach System (SS). El sistema consiste en un tanque de plástico de 200 L de capacidad que alimenta una cámara de crecimiento en la que se encuentran las raíces en completa oscuridad, sin presencia de luz. Una bomba se encarga de distribuir y pulverizar finamente la solución nutritiva, lo que permite atender simultáneamente 60 puntos de distribución, por cada uno de los cuales se pulveriza la solución nutritiva a razón de 10 L/h (Durán *et al.*, 2000, p. 43).

Existen muchas variantes de la aeropónica en el mundo. La innovación aeropónica más recientemente desarrollada en Australia recibe el nombre de Aero-

Gro System (AGS) Se caracteriza y distingue fundamentalmente de los demás sistemas aeropónicos porque adiciona tecnología ultrasónica, lo que permite proyectar la solución nutritiva a baja presión, con gotas finamente pulverizadas y sin problemas de obstrucciones en tuberías y boquillas de pulverización. Se trata de una tecnología basada en los principios que se utilizan en clínicas y hospitales para tratar pacientes que sufren determinados problemas asmáticos, la pulverización ultrasónica de agua vaporizada, a temperatura ambiente y a baja presión. La aeroponía también se ha utilizado con gran éxito en la propagación vegetal y, más concretamente, en la propagación de estaquillas de especies herbáceas (crisantemo) o leñosas (ficus) difíciles de enraizar (Durán *et al.*, 2000, p. 43).

### **2.2.2 Ventajas de la aeroponía**

La aeroponía presenta ventajas importantes para el desarrollo óptimo de las plantas desde su trasplante hasta su cosecha. La ventaja más preponderante que aporta la aeroponía es la excelente oxigenación que se llega a proporcionar a la zona radicular, uno de los factores que carecen en los sistemas hidropónicos. Basta tan solo considerar que la proporción de oxígeno disuelto en el agua se mide en mg/L, o partes por millón (ppm), siendo de entre 5-10 mg/L a 20° C, mientras que la cantidad de oxígeno disuelto en la atmósfera se mide en porcentaje (21%), lo que nos dice que la concentración de oxígeno en la atmósfera o el aire es del orden de 20.000 veces más alta que la concentración del gas disuelto en el agua (Rosas, 2012 citado en Hernández & Piñeros, 2013, p. 16).

La aeroponía es una forma de producción mejorada comparándolo con la hidroponía y mucho más si es comparada con el cultivo convencional en el suelo. La aeroponía es una técnica económica y ambientalmente por sus distintas ventajas en estos aspectos. El crecimiento en un sistema aeropónico es seguro y ecológico por otorgar cosechas de forma natural conservando a las plantas saludables. La principal importancia ecológica de los cultivos en aeroponía son el bajo consumo de energía y agua. Contrastando con los hidropónicos, los cultivos

aeropónicos otorgan unas necesidades de energía y agua menores por cada metro cuadrado de cultivo. Si se utilizan de manera comercial, estos utilizan una décima parte del agua necesitada con otras formas de cultivo para hacer crecer las plantas (Rosas, 2012 citado en Hernández & Piñeros, 2013, p. 20).

Una de sus más preponderantes ventajas es el mayor porcentaje de peso de vegetal cosechado por espacio mínimo requerido para su producción. La aeroponía se considera un método de rendimiento alto, porque las raíces viven en excelentes condiciones: Siempre están en contacto con el aire (insuperable oxigenación) y siempre recibiendo nutrientes. De esta manera, la productividad es óptima. Dado que no hay sustrato sólido o líquido alrededor de las raíces, son mínimas las probabilidades de aparición de enfermedades asociadas al suelo. Pueden utilizarse concentraciones más bajas de nutrientes (Brajovic, 2012).

### **2.2.3 Desventajas de la aeroponía**

Las desventajas de esta técnica de cultivo se basan en la inspección constante del funcionamiento del sistema aeropónico. Los equipos aeropónicos requieren un mayor nivel de supervisión y mantención que aquellos basados en otros métodos. Especialmente, debe revisarse con frecuencia que los aspersores funcionen correctamente y que no estén obstruidos, pues como las raíces están expuestas al aire, la falta de spray por períodos cortos puede causar la muerte de la planta. Complementando lo anterior, estos equipos son susceptibles a fallas en el suministro eléctrico. En caso de apagones, por ejemplo, la bomba del sistema deja de funcionar, y las raíces dejan de recibir agua. Para funcionar correctamente, los aspersores necesitan presiones altas. En consecuencia, deben utilizarse bombas con más potencia, usualmente más ruidosas (Brajovic, 2012).

#### **2.2.4 Aeroponía de alta presión**

La técnica a alta presión requiere un caudal preponderante para llegar a la nebulización de la solución nutritiva. Operan con agua a alta presión (usando otro tipo de bombas), lo que permite que el agua salga por los aspersores en forma de gotas microscópicas. Como hemos dicho antes, unos 50 micrómetros, más pequeñas que el grosor de un pelo. También se suele controlar el tiempo y no se riega continuamente. Es más eficiente y se absorbe de forma más efectiva, además de permitir mejor el paso de oxígeno a las raíces (Basterrechea, 2015).

#### **2.2.5 Aeroponía de baja presión**

La técnica de baja presión requiere un caudal simple con el fin de generar un riego por goteo gravimétrico. Utilizando una bomba de agua normal pulverizamos o salpicamos las raíces de las plantas utilizando pequeños aspersores. Las gotas son grandes y de tamaño irregular, mojan las raíces y se suele mantener las 24h funcionando. Funciona bastante bien y es la que más se suele hacer de forma casera (Basterrechea, 2015).

#### **2.2.6 Diferencias entre la aeroponía y la hidroponía**

Existen muchas diferencias entre ambas técnicas de producción, las cuales conllevan a su gran viabilidad. Un tema principal que debemos tratar es el rendimiento de la cosecha. Está demostrado que la aeroponía es más productiva, esto se debe a que mediante la hidroponía las raíces se encuentran sumergidas, por lo que su aireación no es la más adecuada, por el contrario, en la aeroponía, al estar en el aire, obtienen mucho más oxígeno (Roldán, 2018).

El rendimiento es mejor en un sistema aeropónico, eso como consecuencia de un óptimo estado de sanidad en los vegetales. Lo mismo ocurre con la sanidad vegetal, donde una vez más se vuelve a imponer la aeroponía ¿Por qué? Al estar en un espacio completamente cerrado, existen menos probabilidades de que

diferentes agentes patógenos perjudiciales puedan entrar en contacto con nuestra planta. Por si esto fuera poco, esta técnica nos da total libertad a la hora de controlar el nivel de humedad que queramos para nuestras plantas. En cuanto a la hidroponía, el crecimiento de bacterias se acentúa al mantener unos niveles de humedad más altos (Roldán, 2018).

Las diferencias entre ambas técnicas de cultivo también se ven reflejadas en su impacto ecológico. Es preciso conocer el impacto que causan ambas técnicas en el medio que nos rodea. Muchos expertos han confirmado que cualquiera de ellas es beneficioso, esto se debe a que ni los fertilizantes ni los pesticidas son de origen químico, que son los que más dañan nuestro terreno. En cuanto al sentido ecológico, la aeroponía se vuelve a imponer, debido a que el suministro de las sustancias nutritivas necesarias para un buen desarrollo de la planta es aprovechado mejor que en la hidroponía (Roldán, 2018).

### **2.2.7 Hidroponía**

La técnica antecedente a la aeroponía es la hidroponía la cual se practica desde hace muchos años atrás. Es una técnica que no usa el suelo como sustrato. Hidroponía, es una técnica de cultivo que permite el crecimiento de plantas en un medio sin suelo. La hidroponía puede en estructuras complejas o simples, desarrollar cultivos de tipo herbáceo utilizando sitios o áreas como suelos infértiles, azoteas, terrenos escabrosos, invernaderos con climatización o no, etc. Entonces, a partir de este método, se desarrollaron sistemas que se ayudan en sustratos (medios de soporte para la planta), o en sistemas con aporte de solución nutritiva en recirculación, sin dejar de lado los requerimientos de las plantas como la humedad, temperatura, nutrientes, agua, entre otros (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 10).

El cultivo hidropónico requiere únicamente de un sistema dotado para producir vegetales, nutrientes y agua. La hidroponía deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (trabajo) lo que le da la significancia de trabajo en agua. Sin

embargo, actualmente se usa para referirse al cultivo que no usa del suelo. La hidroponía es una técnica que permite el cultivo de vegetales sin el uso del suelo, es decir sin tierra. Un cultivo hidropónico es una técnica aislada de la tierra del suelo, usado para sembrar vegetales cuyo crecimiento es dado gracias al suministro adecuado de las necesidades hídrico-nutricionales, a través de la solución nutritiva y el agua. Con la técnica hidropónica es posible tener hortalizas de excelente sanidad y calidad, permitiendo un uso más eficaz de los nutrientes y el agua. Conforme la experiencia, los rendimientos por unidad de área sembrada son óptimos debido a una densidad mayor, gran productividad por planta y eficiencia en la utilización de recursos luz, agua y nutrientes. No es un método moderno para el cultivo de vegetales, sino un método de antaño; en la antigüedad hubo civilizaciones que usaron esta técnica como medio de sobrevivencia. Por lo general se asocia esta forma de sembrío con grandes invernaderos para el cultivo de vegetales y el uso de la más compleja innovación tecnológica; sin embargo, los inicios de la hidroponía fueron muy básicos en su implementación. El desarrollo actual de este método o técnica de los cultivos hidropónicos está enfocado en el uso de espacio reducido, mínima utilización de agua y mayor calidad y producción (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 10).

La hidroponía es un método de cultivo sin el uso del suelo, el cual se abastece de nutrientes y agua a través de una solución nutritiva y brindándole las condiciones óptimas y necesarias para un eficiente crecimiento y desarrollo de los vegetales (OASIS EASY PLANT, p. 4).

El desarrollo de los vegetales depende en gran medida de la alcalinidad o acidez de la solución nutritiva, cuyo parámetro de medición recibe el nombre de pH. Mediante la acidez o alcalinidad de una solución nutritiva se separan los enlaces de los elementos que conforman la solución nutritiva, formando compuestos simples y más asimilables por los vegetales. Si la solución es ácida o alcalina puede provocar quemaduras en las raíces de las plantas. Se considera que un pH de 6 a 6.5 favorece un buen desarrollo de las plantas (Vázquez, 2012, p. 21).

### **2.2.8 Origen de la hidroponía**

El origen de la hidroponía data mucho antes de conocerse el cultivo en tierra, además de haberse aplicado en varias partes del mundo. La Hidroponía es una técnica que permite el cultivo de vegetales sin un suelo. Se inicia con el desarrollo de los vegetales en los mares primigenios y otras grandes masas de agua en el mundo, y data del tiempo que la tierra fue creada. El cultivo hidropónico es primero que el cultivo en suelo. Como herramienta de cultivo utilizado por el ser humano, muchos creen que empezó en la Babilonia antigua, en los muy conocidos Jardines Colgantes que se conocieron como una de las Siete Maravillas del Mundo, en lo que se cree fuera uno de los intentos pioneros más exitosos de sembrar plantas sin tierra. Además, existen referencias que este método fue utilizado en China, India, Egipto, también por los Mayas y existen notas que fue usada por algunas tribus asentadas alrededor del lago Titicaca; desarrollándose más tarde a niveles más altos, en países con carencias serias de agua y suelo (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 12).

### **2.2.9 Cultivos en hidroponía y la urbe**

Los cultivos hidropónicos proliferaron, ya que al prescindir de la tierra introdujeron a la producción grandes áreas de espacios limitados (patios, techos etc.); la producción por unidad de área es alta, más higiénica y generalmente más sana; los vegetales crecen y se van desarrollando en un tiempo menor, son de mucho mejor calidad y se conservan por más tiempo en el estante. Los métodos de cultivo sin suelo son hoy usados a gran escala en centros comerciales de producción de vegetales. Por estas razones, se planificó el desafío de transformar a la hidroponía en un método económico y simple que permitiera sembrar con éxito verduras y otras plantas como las hortalizas (...) Los últimos años, el área destinada a la producción hidropónica en el mundo se ha incrementado considerablemente. Se estima más de 50.000 hectáreas se enfocan al cultivo hidropónico en el mundo (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 27-28).

### **2.2.10 Ventajas y desventajas de la hidroponía**

(OASIS EASY PLANT, p. 5), menciona las ventajas y desventajas que presenta la producción vegetal en un sistema hidropónico:

- Ventajas de la hidroponía en su manejo:
  - Balance perfecto de agua, nutrientes y oxígeno.
  - Control eficiente del pH y de la salinidad.
  - Ausencia de restos muertos o malezas.
  - Ausencia de algún tipo de plaga y enfermedades, originadas por hongos o bacterias.
  - Facilidad y eficiencia de esterilización.
  
- Ventajas de la hidroponía en lo económico:
  - Mayor calidad en las cosechas.
  - Crecimiento en la cosecha es uniforme.
  - Bajo consumo de agua y fertilizantes.
  - Se puede usar agua salina o dura.
  - Higiene en los productos obtenidos, más limpios.
  - Varias cosechas al año.
  - Mayores rendimientos por unidad de superficie.
  - En superficie pequeñas se puede lograr un mayor rendimiento.
  - Puede producirse en cualquier sitio incluyendo los ambientes de las ciudades.
  
- Desventajas que presenta la hidroponía:
  - Costos iniciales elevados.
  - Problemas en el manejo por desconocimiento del método.
  - Mucho cuidado con los detalles.
  - Ausencia de insumos y equipos.

### **2.2.11 Cultivo sin suelo**

Por cultivo sin suelo, se entiende cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre cualquier sustrato con adición de solución nutritiva. La terminología es diversa, aunque originalmente la denominación es la de cultivos hidropónicos, que es como coloquialmente más se le conoce. Fue el Dr. W.F. Gericke el que acuñó la palabra “hidropónico” para designar este tipo de cultivo. Cultivo hidropónico procede de las letras griegas hydro (agua) y ponos (trabajo), literalmente trabajo en agua, este término es conocido mundial y únicamente varía la pronunciación (Steiner A., 1968 citado en Baixauli & Aguilar, 2002, p. 16).

Desde un punto de vista práctico, los métodos hidropónicos pueden clasificarse en: cultivos hidropónicos (cultivo en solución nutritiva o sobre materiales inertes) y cultivos en sustrato (cultivo sobre materiales activos, con capacidad de intercambio catiónico o químicos). Por solución nutritiva se entiende, el agua con oxígeno y todos los nutrientes requeridos por las plantas, disueltos en una forma inorgánica completamente dissociada, aunque en la solución pueden existir formas orgánicas disueltas, procedentes de los microelementos en forma de quelato (Abad & Noguera, 1997 citado en Baixauli & Aguilar, 2002, p. 16).

### **2.2.12 Sustratos empleados en los cultivos sin suelo**

(Beltrano & Gimenez, 2015, p. 77), menciona que el sustrato es un material distinto de la tierra o suelo que colocado en un recipiente en forma mezclada o pura, permite el anclaje de las raíces, están conformados por tres fases:

- Fase sólida, conformado por las partículas del sustrato propiamente dicha.
- Fase líquida, constituida por la solución nutritiva que se utiliza para el desarrollo de las plantas.
- Fase gaseosa, que es el aire ubicado en los espacios porosos entre las partículas.

De la fase líquida depende la disposición de agua para lo vegetales y es el transporte y soporte de los micro y macronutrientes. Un sustrato presenta una serie de características físicas, químicas y biológicas, que determinan su desempeño como medio de cultivo. De un sustrato se espera que sea un medio de cultivo perfecto, mediante el cual podamos obtener un máximo rendimiento de un cultivo. Entre los factores corrientes que determinan su comportamiento, se pueden mencionar: el riego y su manejo, las condiciones climáticas, especies vegetales a cultivar (semillas, plántulas, estacas, etc.). Lo ideal sería tener un sustrato para cada tipo de cultivo o para cada combinación de factores que participan de su desarrollo. Por lo tanto, el objetivo es determinar cuál será el sustrato que tenga las características medias que no comprometan desfavorablemente el éxito del cultivo. En la elección del sustrato, la uniformidad y la disponibilidad de estos son también criterios muy significantes al momento de elegir (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 77).

### **2.2.13 Clasificación de sustratos**

(Baixauli & Aguilar, 2002, p. 15), menciona que se pueden clasificar los sustratos usados en los sistemas de cultivo sin tierra o suelo, en sustratos orgánicos y sustratos inorgánicos:

- Sustratos orgánicos, que se subdividen en:
  - De origen natural, como por ejemplo las turbas.
  - Subproductos de la actividad agrícola: virutas de madera, la fibra de coco, pajas, etc.
  - Productos de síntesis, entre los que se presentan: polímeros no biodegradables, como la espuma de poliuretano y el poliestireno expandido.
  
- Sustratos inorgánicos, que se subdividen en:
  - De origen natural, que no necesitan de un proceso de manufacturación, entre los que encontramos: la arena, las gravas y las tierras de origen volcánico.

- Aquellos que si pasan por un proceso de manufacturación, como son: la lana de roca, la fibra de vidrio, perlita, vermiculita, arcilla expandida, arlita, ladrillo troceado, etc.

La elección de un determinado material va a depender por orden de prioridad: de la disponibilidad de este, de las condiciones climáticas, de la finalidad de la producción y especie cultivada, de sus propiedades, del coste, de la experiencia de manejo, homogeneidad, de la dedicación al sistema y de las posibilidades de instalación (Baixauli & Aguilar, 2002, p. 16).

Los sustratos son elementos distintos al suelo que promueve la germinación y el anclaje de las raíces de la planta. Los vegetales inicialmente deben ser germinados en un sustrato diferente de algún sistema hidropónico, aeropónico, etc., que se elija para su desarrollo y cultivo. Siempre será primordial usar sustratos para germinar las plantas desde en su etapa inicial para que cuando se realice el trasplante, no polucione la solución nutritiva (OASIS EASY PLANT, p. 8).

#### **2.2.14 Propiedades físicas de los sustratos**

(Beltrano & Gimenez, 2015, p. 79), menciona las propiedades físicas más preponderantes de los sustratos, para un buen desarrollo vegetal:

- Alta capacidad de retención de agua fácilmente disponible para las plantas, con el fin de que la planta extraiga sin problemas el agua para sus funciones vitales.
- La porosidad debería ser de 25% aproximadamente. Suficiente suministro de oxígeno. La falta de aire a nivel del sustrato puede provocar alteración del crecimiento de las raíces, causando un oscurecimiento y necrosis del tejido radical y aparición de microorganismos patógenos en el medio como hongos.
- Uniformidad de las dimensiones de las partículas que mantenga constantes las propiedades descritas anteriormente.

- Una baja densidad aparente.
- Una estructura estable que impida la hinchazón del medio.

Las propiedades físicas en los sustratos son más importantes que las químicas, puesto que las segundas las podremos modificar mediante el manejo de las soluciones nutritivas, siendo las primeras más difíciles de modificar (Baixauli & Aguilar, 2002, p. 16).

Tabla 1  
*Contribución de la dimensión de las partículas en la porosidad y retención de agua*

Tamaño de las partículas (mm)	Porosidad total (%)	Agua retenida (%)
0-1	66.4	52.2
1-2.5	78.3	28.5
2.5-4	83.3	18.6
4-8	85.4	17.5
8-10	86.7	18.5
>10	86.7	19.4

Fuente: (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 80).

### 2.2.15 Propiedades químicas de los sustratos

Los sustratos que más se están necesitando en los sistemas de cultivo sin suelo para el sembrío de hortalizas, son aquellos que poseen una baja actividad química y que, por lo tanto, apenas comprometen la solución nutritiva aportada. La falta de actividad química es algo deseado en un sustrato, también lo es el que no se disuelva y, por lo tanto, que sean estables químicamente, que tengan una baja o nula salinidad, pH neutro o ligeramente ácido y una adecuada relación C/N (Baixauli & Aguilar, 2002, p. 18).

Una peculiaridad general de los sustratos más usuales es su capacidad de intercambio catiónico, es la posibilidad que tiene un suelo o sustrato para retener y

liberar iones positivos, merced a su contenido en materia orgánica y arcillas. Es un indicativo del potencial del sustrato, para reservar e intercambiar nutrientes vegetales. Por lo tanto, la CIC del sustrato afecta directamente a la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes. Asimismo, los sustratos deben mostrar una elevada capacidad tampón para conservar constante el pH, baja salinidad y mínima velocidad de descomposición (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 80).

Tabla 2  
*Capacidad de intercambio catiónico de varios tipos de sustratos*

<b>Sustratos</b>	<b>Meq.L<sup>-1</sup> (CIC)</b>
Tierra arcillo-limosa	200 - 300
Turba negra	200 - 400
Turba rubia	100 - 200
Corteza de pino	80 - 120
Perlita	5 - 10
Arena	0

Fuente: (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 80).

El crecimiento de las plantas se ve alterado en condiciones de acidez o alcalinidad marcada. El pH tiene influencia en la asimilabilidad de los nutrientes por los vegetales. Con un pH inferior a 5 pueden presentarse deficiencias de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y con valores superiores a 6,6 se disminuye la asimilabilidad de hierro (Fe), fósforo (P), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), y cobre (Cu). Los materiales orgánicos presentan mayor capacidad tampón que los inorgánicos y, por lo tanto, mayor capacidad para mantener constante el pH. En general, cuando los sustratos se encuentran fuera de los rangos de pH óptimos, lo debemos cambiar a valores adecuados. El nivel óptimo aconsejado para el manejo de cultivo sin suelo de hortalizas en la disolución del sustrato está en valores comprendidos entre 5,5 y 6,8, que es el rango en el que se encuentran de forma asimilable la mayor parte de los micro y macronutrientes. (Baixauli & Aguilar, 2002, p. 19-20).

### **2.2.16 La lechuga (*Lactuca sativa*)**

La lechuga es un vegetal de hojas comestibles, que presenta una gran variedad de especies en todo el mundo, la lechuga se ubica en el grupo de las hortalizas de hoja y se consume prácticamente en fresco. Su importancia se ha incrementado en los últimos años, debido tanto a la diversificación de tipos varietales, entre los que se incluyen las lechugas tipo Batavia, lisa o mantequilla, tipo Cos o Romana, las mini hortalizas tipo Baby Leaf, y las lechugas foliares lisas y crespas de diferentes tonalidades verdes, rojas y moradas, como al aumento del empaque de la cuarta gama, donde las principales especies empacadas en este tipo de presentaciones son las diferentes clases de lechuga. La principal forma de presentación es en ensaladas, como componente en comidas rápidas como sandwiches, hamburguesas, perros calientes y como adorno en platos especiales en restaurantes de lujo (Jaramillo *et al.*, 2016, p. 7).

Una característica resaltante en la lechuga es su gran contenido de agua. La lechuga se consume durante todas las épocas del año, por lo que siempre existe en el mercado gran demanda de este producto. Es una planta rica en principios vitamínicos; contiene 94.8 por 100 de agua, el 1.2 por 100 de proteína, el 0.2 por 100 de grasas y el 2.9 por 100 de hidratos de carbono. En crudo tiene elevadas dosis de vitaminas A, B, C, E, así como de minerales (Japón Quintero, 1977, p. 2).

La lechuga (*Lactuca sativa* L.), en sus diferentes formas y colores, es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo, aunque su principal producción se concentra en zonas más templadas y subtropicales. En la actualidad se cultiva al aire libre e invernaderos, en suelo o en forma hidropónica; esta última evita las limitaciones que provocan las condiciones climáticas, luminosas y de suelo. (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 9).

La lechuga es una planta anual de días largos y ciclo corto, que se consume en estado joven antes de subirse a flor. Desarrolla una roseta de hojas enteras, susceptibles, según tipo, de formar cogollo. Después del acogollado, el tallo

experimenta un alargamiento y el ápice evoluciona en escapo floral. (Halsouet & Santiago, 2005, p. 2)

### **2.2.17 Propiedades medicinales de la lechuga**

El consumo de hojas frescas se utiliza para aliviar el estreñimiento, la debilidad del estómago, la dispepsia, la mucosidad de la garganta y del pecho. Se dice que las hojas producen efectos refrescantes, tranquilizadores, fortificantes y aperitivos. Se usan para proporcionar un sueño tranquilo y reparador, pues fortifican los nervios; además son ideales para reducir el nivel de azúcar en la sangre. El látex es utilizado como calmante y narcótico (Alvarado *et al.*, 2011 citado en La Rosa, 2015, p. 9).

La decocción y consumo, al mismo tiempo, de las hojas se considera un remedio eficaz contra estreñimiento, acidez, insomnio, dolor de muelas, inflamación de las encías, nefralgia, dolores reumáticos, tos, catarro bronquial, resfrió y ronquidos (Lardizábal, 2005 citado en La Rosa, 2015, p. 9).

La lechuga tiene funciones medicinales; es refrescante y digestiva; posee virtudes calmantes y notable eficacia como soporífero, por tanto, evita el insomnio, la nerviosidad, el mal humor, la irritabilidad, entre otras. Macerada, junto con avena, sirve como pomada que alivia irritaciones de la piel, alergias, erupciones y quemaduras. También, asociada con achicoria y escarola, sirve para prevenir la desmineralización y sus consecuencias, por ejemplo, raquitismo, tuberculosis, caries dentaria y ósea y combinada con pepino y avena, se elabora una pomada útil contra irritaciones de la piel, sabañones y quemaduras. Además, la cantidad de celulosa y agua orgánica que contiene la lechuga en sus tejidos ayuda considerablemente en el proceso digestivo (Ibarrán, 1993 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 23).

La lechuga presenta propiedades medicinales si se considera su uso interno o consumo. Diurético: Estimula la eliminación de orina, por lo que es adecuado en aquellos casos en que haya que estimular a los riñones para incrementar la micción, en enfermedades como: obesidad, hipertensión arterial, hidropesía (acumulación de líquidos en el cuerpo con hinchazón de los tejidos), edemas, dolor de riñón (nefritis), cálculos renales, insuficiencia renal, inflamación de la vejiga urinaria (cistitis), etc. Igualmente se utiliza como apoyo en las dietas destinadas a rebajar el azúcar de la sangre, mediante la eliminación de líquidos corporales. (Decocción al 50 % de hojas de lechuga durante 10 minutos. Tomar un par de vasos al día). Aparato digestivo: La lechuga tiene grandes propiedades, liberando el organismo de las molestas flatulencias evitando la sensación de llenado del estómago y vientre. (Beber el líquido de la decocción anterior) Este mismo preparado es estomacal y ayuda a facilitar la digestión y proteger el estómago aliviándolo de las inflamaciones intestinales (Escuelas Idea Sana EROSKI, 2005, p. 15).

La lechuga presenta propiedades sedativas, ya que tiene un efecto tranquilizante. Ayuda a calmar los nervios, controlar las palpitations y a dormir mejor por las noches, evitando el insomnio. Es aconsejable tomar una buena ensalada de lechuga, con aceite de oliva antes de irse a dormir. Esta propiedad se incrementa si realizamos una decocción al 50 % de hojas de lechuga y nos tomamos un par de vasos al día, por las mañanas y antes de acostarnos. Los componentes que le otorgan esta propiedad son la lactucina, uno de los principales componentes del jugo de la lechuga. También presenta propiedades para el aparato respiratorio: Las decocciones de hojas de lechuga resultan interesantes para las afecciones del aparato respiratorio, ayudando a combatir los ataques de asma y los espasmos bronquiales. Si se deja espigar la planta, pueden aprovecharse los tallos florales para realizar las mismas decocciones con propiedades más destacadas que las de las hojas. Para combatir la tos, se puede realizar un jarabe cociendo 150 g de hojas frescas y hervirlas durante un cuarto de hora. Se añade a la mezcla resultante una taza de azúcar. Se guarda en un frasco cerrado para tomar un par de vasos al día calientes. También se puede realizar una decocción de unas hojas en agua y añadir el jugo de un limón. Debemos beber un

par de vasos al día, uno antes de ir a la cama. (Escuelas Idea Sana EROSKI, 2005, p. 16).

### 2.2.18 Propiedades nutricionales de las lechugas

La lechuga es un vegetal que aporta muy pocas calorías, alto porcentaje de agua (90-95%), vitaminas (folatos, provitamina A o betacaroteno y cantidades importantes de vitamina C -éstas dos últimas con acción antioxidante, relacionadas con la prevención de enfermedades del corazón e incluso ciertos tipos de cáncer), minerales (potasio, magnesio) y fibra (necesaria para el buen funcionamiento intestinal). (Escuelas Idea Sana EROSKI, 2005, p. 14)

Tabla 3

*Composición nutritiva de la lechuga (100 g de porción comestible crudo)*

Kcal (n)	Agua (mL)	Hidratos de carbono (g)	Fibra (g)	Potasio (mg)	Magnesio (mg)	Carotenos (mg)	Vit. C (mg)	Folatos (mcg)
14	95	1,4	1,5	240	12	59.17	12	34

Fuente: (Escuelas Idea Sana EROSKI, 2005, p. 14).

El valor nutricional de la lechuga se caracteriza por el contenido de minerales y vitaminas. Es una fuente importante de calcio, hierro y vitamina A, proteína, ácido ascórbico (vitamina C), tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2) y niacina. El contenido nutricional tiene similitud con otras hortalizas, como el apio, el espárrago y el habichuelín o ejote. Dado su bajo valor calórico, se ha tornado en ingrediente básico en las dietas alimenticias (Whitaker & Ryder, 1964 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 22).

Tabla 4  
Composición de 3 tipos de lechuga por 100 gramos de porción

Nombre		Lechuga arrepollada (Iceberg)	Lechuga Butter Head	Lechuga romana
Agua	%	95,64	95,63	94,61
Energía	g	14	13	17
Proteína	g	0,9	1,35	1,23
Grasa total	g	0,14	0,22	0,3
Carbohidratos	g	2,97	2,23	3,28
Fibra dietética total	g	1,2	1,1	2,1
Ceniza	g	0,36	0,57	0,58
Calcio	mg	18	35	33
Fósforo	mg	20	33	30
Hierro	mg	0,41	1,24	0,97
Tiamina	mg	0,04	0,06	0,07
Riboflavina	mg	0,03	0,06	0,07
Niacina	mg	0,12	0,36	0,31
Vitamina C	mg	3	4	24
Vitamina A equiv. retinol	mg	25	166	290
Ácidos grasos monoinsaturados	g	0,01	0,01	0,01
Ácidos grasos poliinsaturados	g	0,07	0,12	0,16
Ácidos grasos saturados	g	0,02	0,03	0,04
Colesterol	mg	0	0	0
Potasio	mg	141	238	247
Sodio	mg	10	5	8
Zinc	mg	0,15	0,2	0,23
Magnesio	mg	7	13	14
Vitamina B6	mg	0,04	0,08	0,07
Vitamina B12	mcg	0	0	0
Ácido fólico	mcg	0	0	0
Folato equiv. FD	mcg	29	73	136
Fracción comestible	%	0,95	0,74	0,94

Fuente: (Incap, 2012 citando en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 24).

### 2.2.19 Clasificación botánica de la lechuga

La lechuga pertenece a la familia dicotiledónea más grande del reino vegetal, la Asteraceae, conocida anteriormente como Compositeae. (...) La lechuga presenta una gran diversidad, dado principalmente por los diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas. Esto ha llevado a diversos autores a distinguir variedades botánicas en la especie, existiendo varias que son importantes como cultivos hortícolas en distintas regiones del mundo (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 19).

Tabla 5  
*Clasificación botánica de la lechuga*

Reino:	Plantae
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Asterales</i>
Familia:	<i>Asteraceae</i>
Subfamilia:	<i>Cichoriodeae</i>
Tribu:	<i>Lactuceae</i>
Género:	<i>Lactuca</i>
Especie:	<i>Lactuca sativa L.</i>

Fuente: (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 19).

Todas las variedades de la lechuga doméstica pertenecen a la especie (*Lactuca sativa*); en la familia compuesta se incluyen los *Helianthus* o girasoles; *Sonchus* o cerraja; *Taraxacum* o diente de león; *Cichorium* o escarola; *Tragopogon* o salsifí y *Cynara* o alcachofa. La lechuga cultivada es una planta anual, de cabeza paniculada y flor amarilla y derivada probablemente de la lechuga silvestre o espinosa, (*Lactuca serriola*). (Whitaker & Ryder, 1964 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 19).

### 2.2.20 Morfología de la lechuga

La lechuga es una planta anual y autógena, perteneciente a la familia Compositae y cuyo nombre botánico es (*Lactuca sativa* L.), su raíz que no llega nunca a sobrepasar los 25 cm. de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones, las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas), y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado, el tallo es cilíndrico y ramificado, la inflorescencia está compuesta por capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos, las semillas están provistas de pelos simples (Tarigo *et al.*, 2004 citado en La Rosa, 2015, p. 10).

La raíz principal es pivotante, corta, puede llegar a abarcar hasta 30 cm de profundidad, con pequeñas ramificaciones; su crecimiento es vertiginoso, con abundante látex, tiene numerosas raíces laterales de absorción, las cuales se desarrollan en la capa superficial del suelo con una profundidad de 5 a 30 cm (Granval *et al.*, 2008 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 19).

La lechuga presenta hojas grandes y alargadas dispuestas como los pétalos de una rosa: “Las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas), y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado (Escuelas Idea Sana EROSKI, 2005, p. 9).

Por su forma son lanceoladas, oblongas o redondas. El borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado, lo cual depende de los distintos tipos de lechugas. Su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, púrpura o casi morado, dependiendo del tipo y el cultivar (Granval & Graviola, 1991; Valadez, 1997 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 19 - 20).

Las hojas sésiles están distribuidas en forma de espiral, en una roseta densa alrededor de un tallo corto. El desarrollo de la roseta puede continuar durante el

periodo vegetativo de la planta como es en el caso de las lechugas de hoja, o formar una cabeza redondeada como en las escarolas y butterhead, o una cabeza elongada como en el caso de Costinas o Romanas. Hay una considerable diversidad de colores, formas, tipos de superficies, márgenes y textura entre los diversos tipos y formas de lechuga. Los grados de color verde de las hojas pueden variar desde oscuros a claros, pero la cualidad de verde puede ser variado por tintes amarillentos. Además, la presencia de antocianinas puede estar en toda la hoja o en sectores dando tonalidades diferentes (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 20).



**Figura 1.** Hojas de lechuga americana, repolluda o Crisp Head  
Fuente: (Jaramillo *et al.*, 2016, p. 27).

El tallo es chico, muy corto, cilíndrico y no presenta ramificación cuando la planta está en el estado óptimo de cosecha; sin embargo, cuando finaliza la etapa comercial, el tallo se alarga hasta 1,2 m de longitud, con ramificación del extremo y presencia, en cada punta, de las ramillas terminales de una inflorescencia (Valadez, 1997 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, pág. 19).



**Figura 2.** Tallo alargado de la planta de lechuga listo para florecer  
Fuente: (Jaramillo *et al.*, 2016, p. 19).



**Figura 3.** Raíz, tallo y hojas de lechuga  
Fuente: (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 20).

La lechuga tiene una etapa de inflorescencia: “Son capítulos florales amarillentos dispuestos en racimos” (Escuelas Idea Sana EROSKI, 2005, p. 9).

Las flores son agrupadas en capítulos dispuestos en racimos o corimbos, compuestos por 10 a 25 floretes, con receptáculo plano, rodeado por brácteas imbricadas. El florete tiene pétalos periféricos ligulados, amarillos o blancos. Los interiores presentan corola tubular de borde dentado. El androceo está formado por cinco estambres adheridos a la base de la corola, con presencia de cinco anteras soldadas que forman un tubo polínico, que rodea el estilo. El cáliz es filamentoso y al madurar, la semilla forma el papus o vilano, que actúa como órgano de diseminación anemófila, o sea, por el aire. Los pétalos son soldados (gamosépalos) (Leslie & Pollard, 1954; Whitaker & Ryder, 1964; Valadez, 1997 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 20).

Hay cinco estambres, las anteras están fusionadas formando un tubo. Las flores abren una sola vez, en la mañana, permaneciendo abiertas por una hora si está calurosa la mañana, o bien por varias horas si está fresco y nublado. Cuando la flor se abre, el estilo se elonga mientras las anteras dehiscen desde adentro y el polen suelto es barrido hacia arriba por el estilo y los pelos del estigma (Ryder, 1999 citado en Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 20 – 21).



**Figura 4.** Flores de lechuga  
Fuente: (Jaramillo *et al.*, 2016, pág. 20).

La lechuga presenta semillas de pequeño tamaño: “El fruto es un aquenio típico y la semilla es exalbuminosa, picuda y aplanada, la cual botánicamente es un fruto” (Osorio & Lobo, 1983 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 21).

Tiene forma aovada, achatada, con tres a cinco costillas en cada cara, de color blanco, amarillo, marrón o negro, mide de 2 a 5 mm. En su base se encuentra el vilano o papus plumoso, que facilita la diseminación por el viento; este se desprende fácilmente, con lo cual el aquenio de la semilla queda limpio (Granval & Graviola, 1991; Valadez, 1997 citados en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 21).



**Figura 5.** Semilla de lechuga  
Fuente: (Jaramillo *et al.*, 2016, p. 21).

### 2.2.21 Tipos de lechuga

Lechuga romanas. (*Lactuca sativa* L.) var. *longifolia* (Lam.) Janchen: Lechugas que se aprovechan por sus hojas y no forman verdaderos cogollos. Son las correspondientes a las lechugas llamadas Romanas o Cos, que deben su

nombre a la isla de Kos en el Mediterráneo oriental cerca de Turquía, conocidas en Chile específicamente como Costinas o Conconinas. La planta desarrolla hojas grandes, erguidas, oblongas y obovadas, de 20 a 30 cm de largo y 6 a 10 cm de ancho, con nervadura prominente, superficie ligeramente ondulada y borde irregularmente denticulado. El tallo se presenta de mayor longitud que en otras variedades y permanece protegido por el conjunto de hojas, las que forman una cabeza cónica o cilíndrica por su disposición erecta, pudiendo alcanzar un gran peso, de hasta 2 kg. (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 22).

Las hojas son alargadas, con bordes enteros y nervio central ancho. Estas forman un cogollo ligeramente apretado (Figura 6). El color característico de las hojas es verde oscuro, aunque existen variedades de color rojo oscuro (Flórez *et al.*, 2012 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 27).



**Figura 6.** Lechuga Romana  
Fuente: (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 22).

Lechugas de cabeza, arrepollada o Crisp Head (*Lactuca sativa* var. capitata (L.)): En este grupo se encuentran las lechugas conocidas como Batavia e Iceberg, que se caracterizan por presentar cabeza cerrada y mayor resistencia al daño mecánico. En su interior, las hojas forman un cogollo apretado o cabeza firme, las hojas exteriores son abiertas, gruesas, crujientes, con bordes rizados y sirven de envoltura y protección al cogollo (Flórez *et al.*, 2012 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 27).



**Figura 7.** Lechuga variedad Icevic  
Fuente: (Jaramillo *et al.*, 2016, p. 27).

Lechugas mantequilla o Butter Head (*Lactuca sativa* var. capitata (L.)): Son lechugas que no solo forman una cabeza cerrada: “Presentan cabeza cerrada o semiabierta, no apretada, superficie de las hojas muy lisa, textura suave, un tanto aceitosa, hojas verdes amarillentas. Este tipo de lechugas está conformado por variedades como White Boston, Floresta y Regina” (Vallejo & Estrada, 2004 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 30).

“Son lechugas muy susceptibles a daño mecánico. En otros países se conoce como lechuga trocadero, mientras que en Colombia se suele llamar lechuga lisa (Flórez *et al.*, 2012 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 30).



**Figura 8.** Lechuga variedad Albert  
Fuente: (Jaramillo *et al.*, 2016, p. 30).

Lechugas sin cabeza, de hojas sueltas (*Lactuca sativa* var. Intybacea (Hort)): No forman cabeza y las hojas son sueltas y pueden ser crespas lisas, de textura suave; la coloración varía de verde claro a verde oscuro y de rojo a morado en diferentes tonalidades. En este grupo se encuentran Lollo Rosa (crespa morada), Lollo Bionda (crespa verde) y hoja de roble, entre otras (Alzate & Loaiza 2008; Flórez *et al.*, 2012 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 34 - 35).



**Figura 9.** Lechugas follares roja y verde de hojas sueltas  
Fuente: (Jaramillo *et al.*, 2016, p. 35).

### 2.2.22 Germinación de la semilla de lechuga

La lechuga es un cultivo hortícola que es producido, prácticamente, en todo el mundo, si no es al aire libre, está bajo invernadero, por lo que se puede decir que es un cultivo cosmopolita. Es una hortaliza de clima frío, con cierta tolerancia a heladas débiles en sus estados iniciales, pero cerca de la cosecha es susceptible a quemaduras de las hojas externas por heladas, quedando muy expuestas a ataques de enfermedades (Giaconi y Escaff, 2001 citado en Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 27).

La temperatura óptima de crecimiento está entre 15 y 18°C, prefiere temperaturas frescas para formar una cabeza más compacta; la mínima es de 12°C, bajo esta temperatura la planta no crece; y la máxima entre 18 y 24°C, temperaturas superiores producen deterioro de la lechuga por crear cabezas más sueltas y con tendencia a emisión de tallo floral o “subida”. Sin embargo, estas temperaturas son generales, cada tipo de lechuga, e inclusive variedad, tiene requerimientos propios de temperatura para su crecimiento (Instituto de Desarrollo Agropecuario, p. 27).

(Vázquez, 2012, p. 8), menciona las consideraciones que se debe tener para lograr la germinación de la semilla:

- Temperatura: El tiempo de germinación y la temperatura son dos cosas que guardan relación, casi todas las plantas pueden germinar a temperaturas de 18° a 30° C, ambos extremos harán que la germinación se perjudique por lo cual la temperatura ideal es de 25° C.
- Humedad: Se requiere mucha humedad para que la semilla comience a desarrollar, es conveniente regarla continuamente y darle una correcta aireación para que haya una buena cantidad de oxígeno.
- Trasplante: Cuando emergen las plántulas es necesario colocarlas en donde puedan seguir desarrollando, considerando la especie de cultivo, es necesario saber sus características para que se pueda hacer el

trasplante, por ejemplo, en el caso del jitomate se considera listo para el trasplante cuando presenta 10 cm de altura.

- Fertilizante: Se alimenta a las plántulas con solución nutritiva en cuanto emergen.
- Cantidad correcta de luz: Siempre que una planta se crece cuando recién emerge, es que está buscando luz. Eso significa que la luz que se le proporciona es insuficiente.
- Oxigenación: Debe existir una circulación de aire para que haya una correcta oxigenación. Esto por lo general no es un problema a menos que estén en un recipiente sin ventilación.

La semilla de lechuga es botánicamente un aquenio, definido como un fruto seco e indehisciente de una sola semilla. Esta semilla se embebe con agua, con la cual se activa una serie de mecanismos fisiológicos con los que se inicia el proceso de germinación. Hay varias etapas durante este proceso (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 27).

El cultivo de la lechuga se puede realizar por siembra directa o por trasplante. La siembra directa no es recomendable debido a la fuerte competencia de las malezas y al ataque de enfermedades. La multiplicación de la lechuga se debe hacer siempre con planta en cepellón, obtenida en semilleros. La temperatura óptima de germinación está entre 15 y 20 °C; la semilla de lechuga no germina por debajo de 3 a 5 °C en el suelo, ni por encima de 25 a 30 °C. La temperatura óptima de un semillero es 15 °C en el día y 19 °C en la noche (Serrano, 1996 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 41).

“La producción de plántulas es un procedimiento de vital importancia para lograr el éxito en el cultivo, ya que el crecimiento y la producción de frutos son afectados por la calidad de la plántula que se lleve a campo” (Zeidan, 2005 citado en Jaramillo *et al.*, 2016, p. 41).



**Figura 10.** Etapas del proceso de germinación de una semilla de lechuga  
Fuente: (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 28).

### 2.2.23 Trasplante de la lechuga

El trasplante es el paso de las plántulas del semillero al sitio definitivo. Las plántulas se llevan a campo cuando hayan adquirido determinado desarrollo. Como norma general se puede tomar el número de hojas, tres a cuatro bien formadas; es decir, cuando la plántula tenga entre ocho y diez, lo cual generalmente se alcanza 25 a 30 días después de la germinación (Jaramillo *et al.*, 2016, p. 49).

### 2.2.24 Crecimiento y desarrollo

(Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 29), menciona que el estado de plántula comienza una vez que ha ocurrido la protrusión de la radícula a través de la cubierta seminal y se pueden distinguir tres etapas:

- Primera: en la semilla germinando, la radícula emerge y se transforma en la raíz pivotante.
- Segunda: los cotiledones emergen y se expanden.
- Tercera: el primer par de hojas verdaderas es formado, esto toma, desde la emergencia, unas 2 semanas.

Estado	
Plántula	
Roseta	
Encabezamiento	
Reproductivo	

**Figura 11.** Estados de crecimiento de la planta de lechuga.  
Fuente: (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017, p. 29).

### 2.2.25 Principales funciones de las plantas

La respiración: La respiración es un movimiento de componentes orgánicos y su oxidación, liberando así la energía que servirá para el desarrollo óptimo de la planta. Los tejidos jóvenes requieren más oxígeno más que los viejos y cuando

estos efectúan acciones metabólicas, como la absorción de nutrientes, las disminuyen, las plantas respiran poco, y el proceso cambia el desarrollo de la planta. La temperatura también afecta a la respiración de las plantas y otros procesos metabólicos, ya que el aumento de la temperatura a más de 35°C o 36 °C puede disminuir las cantidades de oxígeno en la planta y la producción de enzimas, lo cual se debe a la falta de mecanización en la respiración. El oxígeno tiene efectos en la respiración, ya que es vital para el metabolismo oxidativo. El dióxido de carbono ayuda a la respiración de los vegetales, debido que afecta directamente a las estomas. Una alta concentración de dióxido de carbono hace que las estomas cierren y perjudiquen la respiración (Vázquez, 2012, p. 10).

La fotosíntesis es la conversión de luz en energía, cuando un rayo de luz golpea sobre una planta, éste es absorbido por las moléculas de la clorofila ubicadas en las hojas de las plantas. Entonces, la clorofila “absorbe” la energía y la convierte en potencial químico, que es utilizado por la planta en reacciones de respiración. El único pigmento que absorbe la luz es la clorofila y ésta requiere sólo la luz azul y roja, pero no la verde; se sabe que la clorofila es un grupo de pigmentos interrelacionados. La clorofila está presente en todas las plantas fotosintéticas (plantas que presentan color verde) y posee una gran capacidad para la absorción de luz (Vázquez, 2012, p. 10).

La floración conlleva un cambio total en los caracteres del patrón de desarrollo de los vegetales. Los factores que llevan a la floración de los vegetales son muy diversos: desarrollo, periodicidad de luz, edad, temperatura, etc. (Vázquez, 2012, p. 10).

#### **2.2.26 Características de la lechuga**

(Ugáz *et al.*, 2000, p. 57 - 59), menciona las siguientes características de la lechuga:

- Nombre científico: (*Lactuca sativa* L.) Familia: Asteraceae.
- Centro de origen: Medio oriente.
- Ciclo de vida: Anual.
- Tamaño de planta: Altura 0.2 metros, diámetro 0.3 metros.
- Clima: Templado, temperatura óptima 10-20 °C no tolera temperaturas mayores de 25 °C.
- Época de siembra: Otoño, invierno, primavera.
- Zonas de producción: Junín (Tarma); Lima (Rímac, Chillón); Ancash (Callejón de Huaylas), Arequipa; Huaral – Chancay y Cañete.
- Cantidad de semillas: 0.5 – 0.6 Kg/ha. Semillas por gramo: 800-1000. Distanciamiento: Entre surcos: 0.8 m, entre plantas: 0.3 m, 2 hileras de plantas por surco.
- Suelos: Suelos, ricos en materia orgánica, la lechuga de trasplante es medianamente tolerante a la salinidad, poco tolerante a la acidez, pH óptimo: 6.0-6.8.
- Abonamiento y fertilización: Aplicar materia orgánica a la preparación del terreno, aplicar 1/3 del nitrógeno después del deshilaje (siembra directa) o del deshiero (trasplante) y el resto 20 días después, dosis: 120-0-0.
- Riegos: Ligeros y frecuentes, incluso durante la cosecha, evitar exceso de humedad durante el último mes del cultivo.
- Control de malezas: Manual, de utilizarse herbicidas no selectivos con campanas de protección para las plantas, debe evitarse el contacto de las personas con el producto tóxico.
- Plagas: Comedores de hojas, gusanos de tierra, mosca minadora, mosquilla de los brotes, pulgones.
- Enfermedades: chupadera, floración prematura, Mildiú, pudrición gris, virosis.
- Parte comestible: Hojas.
- Momento de cosecha: Cuando el repollo de hojas es consistente y no cede a la presión de los dedos (lechuga de cabeza) o cuando las hojas han alcanzado su máximo desarrollo (lechuga de hoja) y son tiernas y suaves.
- Periodo de cosecha: Inicio 60-80 días después de la siembra, duración: 15-25 días. Rendimiento: 5000 docenas/ha.

- Envase utilizado: A granel, canastas lechugeras y jabas.
- Valor nutricional: Rica en calcio, vitamina B2 y fibra.

### **2.2.27 La energía solar**

La energía solar es la fuente principal de la vida en la Tierra: dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que conservan la vida en la Tierra, los ciclos del oxígeno, del agua, del carbono y del clima. El sol nos da alimentos mediante la fotosíntesis y como es la energía del sol la que induce el movimiento del viento, del agua y el crecimiento de las plantas, la energía solar es el origen de la mayoría de las fuentes de energía renovables (la energía mareomotriz, energía de la biomasa, la energía hidroeléctrica, la energía eólica y de la energía solar). La energía solar absorbida por la Tierra en un año es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y 10 mil veces superior al consumo actual (Arenas & Zapata, 2011, p. 18).

La energía que proviene del sol se puede aprovechar sin la utilización de ningún dispositivo y/o aparato específico, mediante la adecuada ubicación, diseño y orientación de los edificios, empleando correctamente las propiedades fisicoquímicas de los materiales y los elementos de los mismos: aislamientos, protecciones y tipos de revestimientos, etc. (...) La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse activamente, a través de la implementación de dispositivos ópticos o de otro tipo para la conversión a energía eléctrica. Es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde. Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos o celdas fotovoltaicas. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación (Arenas & Zapata, 2011, p. 19).

### **2.2.28 La radiación Solar**

Se conoce por radiación solar al grupo de radiaciones electromagnéticas otorgadas por el sol. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que brinda energía siguiendo la Ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se reparte desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie del planeta, debido a que las ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmosfera ubicadas en la capa de ozono. (...) El sol es el astro más cercano a la Tierra. Sus regiones interiores son totalmente inaccesibles a la observación directa y es allí donde ocurren temperaturas cercanas a los 20 millones de grados necesarios para producir las reacciones nucleares que producen su energía. La capa más externa que es la que produce casi toda la radiación observada se llama fotosfera y tiene una temperatura de unos 6000 K. Tiene solo una anchura de entre 200 y 300 Km. Por encima de ella está la cromosfera con una anchura de unos 15000 Km. Mas exterior aun es la corona solar una parte muy tenue y caliente que se extiende varios millones de kilómetros y que solo es visible durante los eclipses solares totales (Arenas & Zapata, 2011, p. 21).

### **2.2.29 Tipología de células**

Las células tienen un espesor de entre 0.25 y 0.35 mm y está constituida por silicio monocristalino o policristalino. Por lo general es de forma cuadrada, tiene una superficie comprendida entre 100 cm<sup>2</sup> y con una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup> a una temperatura de 25°C produce una corriente continua comprendida entre 3 y 4<sup>a</sup>, una tensión de aproximadamente 0.5 V y una potencia entre 1.5 – 2 WP. (...) El rendimiento de una cédula fotovoltaica puede varia con cambios de temperatura y su radiación, para poder hacer una comparación se han establecido unas condiciones estándar de referencia que dan origen al así llamado vatio pico (Wp), relativo a la potencia producida por la cédula o módulo solar, a la temperatura de 25°C bajo una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup> y en condiciones de AM 1.5 (Escoda, 2017, p. 56).

### 2.2.30 Células de silicio amorfo

(Escoda, 2017, p. 57) menciona, lo siguiente respecto a las células de silicio amorfo: El silicio durante su transformación produce un gas que se proyecta sobre una lámina de vidrio. La celda es gris muy oscuro. Es la típica célula de las calculadoras y relojes llamados “solares”. Estas cédulas fueron las primeras en ser manufacturada, ya que se podían emplear los mismos métodos de fabricación de diodos.

- Ventajas:
  - Funciona con una luz difusa baja incluso en días nublados.
  - Un poco menos costosa que otras tecnologías.
  - Integración sobre soporte flexible o rígido.
  
- Desventajas
  - Rendimiento a pleno sol del 5% al 7 %.
  - Rendimiento decreciente con el tiempo.



**Figura 12.** Célula de silicio amorfo  
Fuente: (Escoda, 2017, p. 57).

### 2.2.31 Células de silicio monocristalino

(Escoda, 2017, p. 57), menciona lo siguiente respecto a las células de silicio monocristalino: Al enfriarse, el silicio fundido se solidifica formando un único cristal de grandes dimensiones. Luego se corta el cristal en delgadas capas que dan lugar a las células. Estas cédulas generalmente son de un azul uniforme.

- Ventajas:
  - Buen rendimiento del 16% al 18 %
  - Buena relación potencia-superficie lo que ahorra espacio en caso necesario.
  - Número de fabricantes elevados.
  
- Desventajas
  - Coste más elevado.



**Figura 13.** Célula monocristalina  
Fuente: (Escoda, 2017, p. 57).

### **2.2.32 El panel fotovoltaico**

Un panel fotovoltaico es el enlace de varias células en paralelo y/o en serie, se conectan en serie para incrementar la corriente y en paralelo para disminuir el voltaje. Para ensamblar un panel fotovoltaico, se cuentan con plantas que deben estar certificadas en estándares de calidad altos, sobre todo en soldadura. Se utilizan preponderantemente, metales (buenos conductores) y vidrios (Valdiviezo, 2014, p. 7).

### **2.2.33 Las células fotovoltaicas**

La parte principal de los paneles fotovoltaicos es la célula fotovoltaica, su funcionamiento es el que da la posibilidad de la obtención de electricidad a partir de luz del sol. Las células fotovoltaicas son sensibles a la luz del sol, están hechas de un material conductor, silicio en la mayoría de los casos, el cual se excita ante la presencia de radiación y aumenta su temperatura. Los electrones pueden fluir del tipo P (positivo) al tipo N (negativo), esto origina un voltaje interno, el cual ante la presencia de una resistencia se produce una corriente. (Valdiviezo, 2014, p. 9).

### **2.2.34 Característica del panel**

(Valdiviezo Salas, 2014, p. 11 - 12), menciona lo siguiente respecto a las características del panel solar: En las fichas técnicas los paneles muestran datos de eficiencia, voltaje y amperaje bajo condiciones estándares, las cuales son llamadas STC (Standard Testing Condition). Estos parámetros son los siguientes:

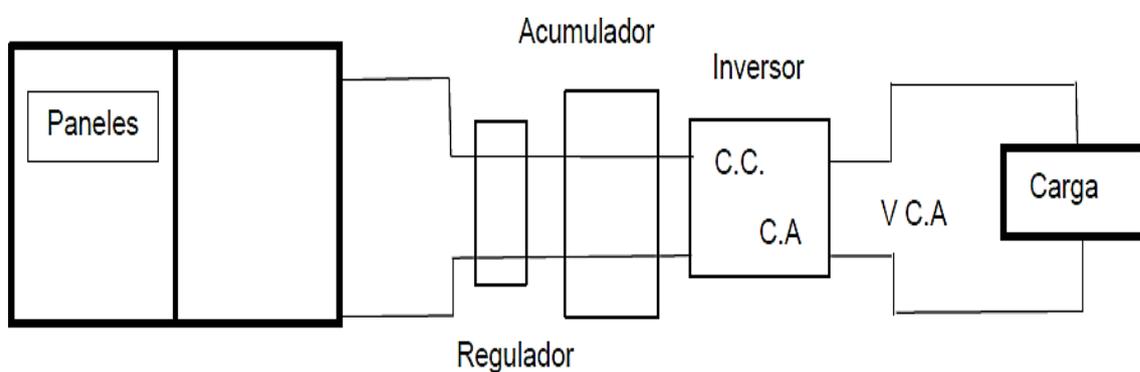
- Irradiación 1000 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura del módulo 25°C
- AM 1.5.

El voltaje y la intensidad producida por los paneles fotovoltaicos depende de diversos factores, los más importantes son la irradiación y la temperatura a la cual se encuentre el módulo.

### 2.2.35 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado

(Valdiviezo, 2014, p. 15) menciona lo siguiente respecto a los componentes de un sistema fotovoltaico aislado: El sistema fotovoltaico aislado se puede subdividir en tres tipos:

- Conectados a una carga: Es el más sencillo y eficiente, se usa cuando se alimenta un sistema de corriente continua de manera discreta.
- Sistemas con regulador de carga y batería solar: Las baterías alimentan a la carga en corriente y los reguladores con un buen funcionamiento de las baterías.
- Sistemas con regulador, batería e inversor: Este sistema es requerido cuando se necesita alimentar una carga en corriente alterna.



**Figura 14.** Sistema fotovoltaico aislado  
Fuente: (Valdiviezo, 2014, p. 15).

### **2.2.36 Ecosistema**

La interacción de los seres vivos en su medio ambiente es a lo que se denomina ecosistema, existiendo una gran variedad de estos. Un ecosistema puede ser entendido como la comunidad biológica junto con el ambiente abiótico en el que ésta se encuentra, y normalmente incluye organismos: productores primarios, descomponedores, detritívoros, herbívoros, depredadores y parásitos; minerales y materia orgánica, además de actuar como fuente y sumidero de energía y materia (Begón *et al.*, 2006 citado en Acero, 2017, p. 32).

La comunidad biológica desarrolla muchas interacciones en sus respectivos medios para su desarrollo en el tiempo, “Los ecosistemas encierran, por tanto, los procesos que contribuyen a la historia evolutiva y fitness de las especies” (Block y Brennan, 1993 citado en Acero, 2017, p. 32).

Los ecosistemas pueden sufrir muchas variaciones en su desarrollo a lo largo del tiempo. Así como los factores bióticos y abióticos que pueden afectar la distribución de las mismas; debido a los rangos de tolerancia que cada población tiene hacia éstos y las interacciones ecológicas intra e interespecíficas que se presentan en el ecosistema (Acero, 2017, p. 32).

### **2.2.37 Factores bióticos y abióticos**

Los ecosistemas están compuestos por estos dos factores preponderantes y la interacción entre ambos define su funcionamiento. Los organismos son influenciados por las condiciones (factores ambientales abióticos) propias de los ecosistemas, como: temperatura, humedad, pH, entre otros y por los demás organismos que conforman la comunidad biótica. Por su parte, los recursos pueden ser factores bióticos, como presas, o factores abióticos como espacio para anidar, agua, nutrientes, o luz. Los recursos y condiciones presentes en un área determinada, que facilitan la ocupación de un organismo; porque cumple con sus requerimientos físicos y fisiológicos, son entendidos como el hábitat de una

especie. Por otra parte, al incluir la influencia de dichos factores en las dinámicas poblacionales (tasas de crecimiento, supervivencia y mortalidad, por ejemplo), así como las interacciones biológicas se habla del nicho la especie (Acero, 2017, p. 33).

### **2.2.38 Ecosistema de las ciudades**

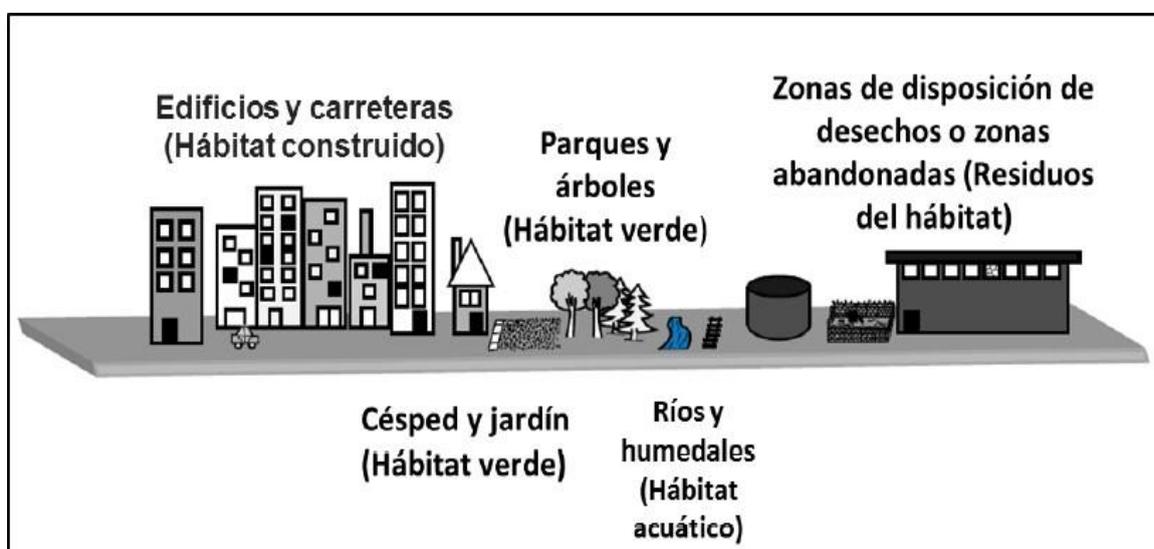
Se conoce el funcionamiento básico de los ecosistemas naturales, y se considera a la ciudad o zona urbana como uno, denominado ecosistema urbano o ecosistema de las ciudades. En la urbe aparece un medio urbanizado y una serie de seres vivos, con sus interacciones y relaciones, donde el hombre es parte principal del mismo. Aparece la actividad interna urbana y un funcionamiento a base de intercambios de materia, energía e información. En este sentido estas características son asimilables a las de un ecosistema natural siendo el hombre y sus sociedades subsistemas. Sin embargo, la ciudad incumple los dos de los requisitos determinantes de la definición de un ecosistema natural. Primero, no tiene un metabolismo de ciclo cerrado (o circular), y en segundo lugar no tiene una fuente de energía inacabable (como la del Sol), que garantice indefinidamente su funcionamiento (Higueras, 2009, p. 2).

Por tanto, el metabolismo en los ecosistemas urbanos difiere considerablemente con el de los ecosistemas naturales, siendo insuficiente y pudiendo causar estragos negativos a los ecosistemas aledaños. “La expansión urbana es una de las actividades humanas con mayor impacto negativo sobre los ecosistemas y el ciclaje de nutrientes” (Villalobos, 2016 citado en Acero, 2017, p. 42).

El establecimiento de una urbe en un ambiente natural conlleva transformaciones en el biotopo. Esto se debe a factores como la remoción de vegetación nativa, la modificación de sistemas hidrológicos, el incremento local de la temperatura y la acumulación excesiva de contaminantes que no pueden ser procesados por el ecosistema causando alteración en la estructura y función de

estos porque afecta los ciclos biogeoquímicos (Grimm *et al.*, 2008 citado en Acero, 2017, p. 42).

Los ecosistemas en las ciudades presentan muchas variaciones en el paisaje dependiendo del uso que se les da a las zonas. La estructura mixta del paisaje urbano se configura de esta manera debido a los diferentes usos que culturalmente se hace del territorio, desde los patrones de poblamiento, hasta las estructuras económicas que sostienen los ingresos locales. Se encuentra entonces que en un ecosistema urbano es posible hallar un hábitat construido, un hábitat verde y las zonas abandonadas o zonas de disposición de residuos. (Acero, 2017, p. 42).



**Figura 15.** Clasificación de zonas en los ecosistemas urbanos  
Fuente: (Acero, 2017, p. 42).

En efecto, en la urbe del mundo desarrollado, su principal particularidad reside en los inmensos recorridos horizontales de los recursos de agua, alimentos, electricidad y combustibles que genera, capaces de explotar otros ecosistemas lejanos y provocar importantes problemas territoriales a escala planetaria, perjudicando considerablemente. Esto se ha definido como que la ciudad tiene un metabolismo lineal. La sostenibilidad de los sistemas agrarios ha marcado la sostenibilidad de los asentamientos, hasta que la Revolución Industrial introdujo un cambio en la escala territorial de los sistemas urbanos estableciendo redes que facilitaban el transporte horizontal de abastecimientos y residuos. Por tanto, su

metabolismo lineal es doble, tanto para suministros como para residuos o excedentes (Huella ecológica, 1996 citado en Higuera, 2009, p. 2).

### **2.2.39 El metabolismo urbano**

El metabolismo en los ecosistemas urbanos se caracteriza por tener líneas de ingreso y salidas definidas. Dependiendo mucho del funcionamiento en la ciudad y sus requerimientos. La idea de analizar la ciudad como un ecosistema no tiene solo interés cultural o científico. Es útil también para plantear soluciones de menor escala propias del funcionamiento interno de la urbe, por ejemplo, para establecer qué limitaciones se pondrán al tráfico y al estacionamiento de los autos, dónde se situará la actividad productiva, qué combustible se pueden utilizar para las calefacciones, qué servicios colectivos van a repotenciarse, qué tasas deben pagar los usuarios, cómo minimizar los costes de mantenimiento, etc. Cualquier decisión parcial, tiene unas repercusiones directas e indirectas en otros sistemas urbanos, por tanto, es la solución ecosistémica la única alternativa válida ante problemas actuales. Es por tanto en las soluciones al problema de la insostenibilidad de la ciudad, donde verdaderamente es oportuno plantear enfoques ecosistémicos (Higuera, 2009, p. 3).

Las ciudades requieren de ecosistemas productivos para su abastecimiento, ya que son autoinsuficientes. Nuestras ciudades no producen la materia y la energía que consumen. Las ciudades ocupan el 2% del planeta, pero consumen el 50% de su productividad primaria (...) Las ciudades muestran un metabolismo lineal, alejado del reciclado como gran parte de los sistemas naturales, lo cual constituye, en gran medida la base de sus insostenibilidad ecológica y económica y finalmente social (Figuerola *et al.*, 2006, p. 75-76).

Las ciudades necesitan entradas de recursos de materiales y energía y generan emisiones gaseosas, líquidas y sólidas de residuos. Además, el desempeño urbano requiere movilidad de los habitantes, desde, hacia y dentro de la urbe. Tanto la producción y conducción de recursos hasta la ciudad como los

distintos tipos de emisiones tienen impactos ambientales y, por tanto, alteran la biodiversidad entre otras cosas. (...) Producen, principalmente, contaminación, la cual altera la composición de los ecosistemas circundantes (Red de redes de desarrollo local sostenible, 2007, p. 119).

Los ecosistemas alterados que abastecen a las grandes ciudades se enfocan en producir más para satisfacer la demanda, que se incrementa con el pasar del tiempo. “El agotamiento de los recursos próximos lleva cada vez más lejos la huella de cada centro urbano. Además, el carácter cosmopolita de los núcleos urbanos acrecienta el consumo de rarezas importadas desde regiones remotas, que se consideran un lujo” (Red de redes de desarrollo local sostenible, 2007, p. 119).

## **1.6 Definición de términos básicos**

### **Absorción**

El término absorción indica la acción de absorber, hace referencia a la retención de una sustancia por las moléculas que posee otra bien sea en estado líquido o gaseoso.

### **Aeroponía**

Proceso de cultivar plantas en un entorno de aéreo sin hacer uso del suelo. La palabra aeroponía viene de los términos griegos *aero* y *ponos* que significan respectivamente aire y trabajo.

### **Almaciguero**

Es un semillero de espacio pequeño en donde le damos a las semillas las condiciones adecuadas para que puedan nacer y crecer inicialmente las plántulas.

### **Aspersores**

Dispositivo mecánico que transforma un flujo líquido presurizado en rocío, asperjándolo para fines de riego.

### **Autosuficiente**

Forma de vida en la que un ser vivo se encarga de obtener los bienes o requerimientos para sus necesidades básicas. De esta forma, cualquier necesidad respectiva a la supervivencia, quedaría en manos del propio individuo, rechazando cualquier ayuda externa.

### **Autosustentable**

Capacidad de mantener algo sostenido por medios propios, prescindiendo de los medios externos. Permite satisfacer necesidades básicas como energía, vivienda, alimentación o sustento.

### **Batería solar**

Sistema de energía solar fotovoltaica que acumula la energía producida por los paneles fotovoltaicos durante las horas de sol para poderla utilizar durante la noche o días nublados.

### **Biocenosis**

Conjunto de organismos vegetales o animales que viven y se reproducen en determinadas condiciones de un medio biotopo.

### **Biotopo**

Espacio geográfico con unas condiciones ambientales determinadas como suelo, agua, atmósfera, etc., para el desarrollo de ciertas especies animales y vegetales.

### **Células fotovoltaicas**

Dispositivo electrónico que permite transformar la energía de la luz en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. También se le puede llamar fotocélula o célula fotoeléctrica.

### **Cultivo**

Práctica de sembrar semillas en la tierra o algún otro medio de crecimiento y realizar las labores necesarias para obtener frutos de estas.

## **Cosecha**

La cosecha es la separación de la planta madre de la porción vegetal de interés comercial, que pueden ser frutos, raíces, hojas, tubérculos, pecíolos, inflorescencias, etc. La cosecha es el fin de la etapa del cultivo y el inicio de la preparación o acondicionamiento para el mercado.

## **Cultivo ecológico**

Sistema de cultivo de una explotación agrícola autónoma basada en la utilización óptima de los recursos naturales, sin emplear productos químicos sintéticos u organismos genéticamente modificados, logrando obtener alimentos orgánicos a la vez que se conserva la fertilidad de la tierra y se respeta el medio ambiente de manera sostenible, equilibrada y mantenible.

## **Ecosistema**

Conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes.

## **Ecosistema urbano**

Comunidad de organismos vivos (microorganismos, animales, plantas, seres humanos) que interactúan en un ambiente no vivo, la ciudad.

## **Energía renovable**

Energía que se obtiene de fuentes naturales inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

## **Fertilizantes**

Sustancia destinada a suministrar elementos químicos al suelo, que son necesarios para el desarrollo de la planta, para que ésta los absorba por las raíces.

### **Floración**

Proceso a través del cual las flores se abren para que se posibilite la polinización, la fecundación, la aparición de las semillas y finalmente la formación del fruto.

### **Fotosíntesis**

Proceso químico que tiene lugar en las plantas con clorofila y que permite, gracias a la energía de la luz, transformar un sustrato inorgánico en materia orgánica rica en energía.

### **Fotovoltaica**

Fuente que produce electricidad a partir de la radiación solar mediante un dispositivo (los paneles solares).

### **Germinación**

Proceso mediante el cual una semilla se desarrolla hasta convertirse en una nueva planta. Este proceso se lleva a cabo cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe.

### **Hidroponía**

Método utilizado para cultivar plantas usando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola. Las raíces reciben una solución nutritiva y equilibrada disuelta en agua con algunos de los elementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas, que pueden crecer en una solución mineral únicamente, o bien en un medio inerte, como arena lavada, grava o perlita, entre muchas otras.

### **Hortaliza**

Las hortalizas son un conjunto de plantas cultivadas generalmente en huertas o regadíos, que se consumen como alimento, ya sea de forma cruda o preparadas culinariamente, y que incluye las verduras y las legumbres. Las hortalizas no incluyen a las frutas ni a los cereales.

### **Inversor de carga**

Sistema de energía solar fotovoltaica que convierte la energía de una forma a otra. Por ejemplo, energía continua en energía alterna.

### **Malezas**

Se denomina maleza, mala hierba, yuyo, planta arvense, monte o planta indeseable a cualquier especie vegetal que crece de forma silvestre en una zona cultivada o controlada por el ser humano como cultivos agrícolas o jardines.

### **Metabolismo urbano:**

Metabolismo urbano es el intercambio de materia, energía e información que se establece entre el asentamiento urbano y su entorno natural o contexto geográfico.

### **Oxigenación**

Cantidad de oxígeno en un medio. La oxigenación se refiere al proceso de añadir oxígeno a un medio como el agua o tejidos corporales.

### **Panel solar**

Dispositivo que capta la energía de la radiación solar para su aprovechamiento en energía eléctrica.

### **pH**

Medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones.

### **Plaguicidas**

Cualquier sustancia destinada a prevenir, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies indeseadas de plantas o animales, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos o productos agrícolas.

### **Prototipo**

Primer modelo que sirve como representación o simulación del producto final y que nos permite verificar el diseño y confirmar que cuenta con las características específicas planteadas.

### **Radiación solar**

Energía radiante emitida en el espacio interplanetario del Sol. Esta radiación se genera a partir de las reacciones termonucleares de fusión que se producen en el núcleo solar y que producen la radiación electromagnética en varias frecuencias o longitudes de onda.

### **Recirculación**

Movimiento circular del tránsito de algún componente, fluidos, etc., de tal forma que retorna al punto de inicio conformando un ciclo.

### **Regulador de carga**

Sistema de energía solar fotovoltaica que dirige y controla la cantidad de energía que discurre entre la batería y los módulos fotovoltaicos.

### **Rendimiento**

Es la relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada. Se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea (T.M./ha.).

### **Solución nutritiva**

Medio acuoso en el cual se encuentran disueltos los nutrientes esenciales para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas, y es la vía principal de nutrición de cultivos en hidroponía, aeroponía, acuaponía y sustratos.

### **Sostenible**

Satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social.

**Sustrato**

Superficie en la que una planta o un animal se desarrolla, el sustrato puede incluir materiales orgánicos e inorgánicos.

**Trasplante**

Técnica agronómica muy antigua que, junto con el semillero o almácigo y el vivero, sirve para la reproducción y propagación de las plantas por medio de semillas (propagación sexual), como alternativa a la siembra directa de éstas, así como a la propagación asexual o clonal de las plantas o propagación vegetativa que es la realizada por medio de tejidos vegetales.

**Urbe**

Urbe hace referencia a cualquier ciudad, donde preponderan casa edificios, comercios, o cualquier otro establecimiento humano.

**Viabilidad**

Éxito o fracaso de un trabajo o proyecto a partir de una serie de datos base de naturaleza empírica: medio ambiente del proyecto, rentabilidad, necesidades de mercado, etc.

## **CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

### **3.1 Modelo de solución propuesto**

#### **3.1.1 Sistema de Producción**

En base a los antecedentes revisados, se optó por un sistema de producción vegetal, el cual sea eficiente y eficaz, con un sistema de riego vertical que permita el ahorro en el consumo del agua y nutrientes mediante una recirculación mínima pero suficiente para el buen crecimiento de las hortalizas.

La técnica que se utilizó dista de otras como la hidroponía, ya que la zona radicular no se encuentra sumergida en la solución nutritiva, al contrario, está suspendida en constante oxigenación para un crecimiento exitoso.

El modelo utilizado es propio, se analizó las ventajas y desventajas de la aeroponía en sus distintas formas para elegir el prototipo que será parte de la producción de las hortalizas, como también se dimensionó la capacidad de plantas a albergar, los materiales a utilizar y su proyección a gran escala. El modelo empleado utiliza recirculación a baja presión (Riego por gotas) y es autosuficiente con el uso de energía solar fotovoltaica.

#### **3.1.2 Componentes del Sistema de Producción**

El sistema de producción aeropónico fotovoltaico utilizado presenta las siguientes partes:

- Soporte estructural del sistema:

El soporte estructural del sistema estuvo conformado por madera del tipo “cachimbo” el cual contendrá y sujetará las columnas de cultivo y la recirculación de la solución nutritiva utilizada. El fin es poder dar un soporte fijo al sistema aeropónico en conjunto como también permitir un óptimo riego vertical.

- Columnas de cultivo:

Las columnas de cultivo estaban compuestas por partes de tubos de PVC de 2”, correctamente enlazadas, teniendo como fin la correcta irrigación de solución nutritiva en sus orificios que albergarán las plántulas, estas permitirán el alojamiento de las plantas y su óptimo desarrollo. La altura de las columnas de cultivo es de 1.50 y 1.60 metros aproximadamente, la parte superior contiene un acceso para la manguera de riego, por donde ingresará la solución nutritiva.

- Recirculación de solución nutritiva:

La recirculación se realizó utilizando tubos de riego de ½”, para el acceso de la solución nutritiva a las columnas de cultivo, y tubos de 2”, para la salida de la solución nutritiva de las columnas de cultivo al contenedor. El sistema de recirculación tendrá como fin la adecuada circulación de la solución nutritiva en todas las columnas de cultivo, la solución se recolectará después al contenedor.

Para el bombeo de la solución se utilizó un sistema de riego de baja presión, para tal se hará uso de una bomba de baja potencia la cual otorgará un caudal adecuado considerando la altura adecuada a la que deberá llegar la solución nutritiva y el número de plantas que deberá irrigar. El bombeo tiene como fin irrigar constantemente las hortalizas instaladas en el sistema, mediante la inyección de solución nutritiva.

El contenedor de la solución nutritiva tendrá una capacidad de 50 L aproximadamente y albergará la bomba del sistema de producción, además de conexiones de recirculación interna y parte de las conexiones para la recirculación que pasan por las columnas de cultivo. Como finalidad, el contenedor albergará la solución nutritiva en un volumen apropiado para un óptimo bombeo de esta.

- Sistema de alimentación energética:

Como se mencionó, se utilizará energía solar fotovoltaica para alimentar el bombeo de la solución en el sistema de producción aeropónico.

El sistema de alimentación energética integra el uso de un panel con celdas fotovoltaicas monocristalinas con 80 W de potencia, el cual se conectará a un controlador de energía, posteriormente a una batería y por último a un inversor de carga que proporcionará energía alterna al sistema de bombeo.

Para dar ciclos periódicos de riego se conectará un temporizador entre la conexión del inversor y la bomba, el cual permitirá tiempos de riego constantes y pausas alternadas. Como finalidad, el sistema de alimentación energética brindará suficiente energía para el accionar del sistema de bombeo el cual permitirá el movimiento recirculatorio de la solución nutritiva, además se utilizará energía renovable, siendo este ecológicamente sostenible.

- Almaciguero:

El almaciguero o semillero tendrá un espacio pequeño, este contendrá grava y en esta se depositarán las semillas para su germinación. El fin del almaciguero será dar las condiciones adecuadas para que las semillas de hortalizas puedan nacer y crecer hasta convertirse en plántulas, éstas pasarán luego a ser parte del sistema de producción aeropónico.

### 3.1.3 Materiales a considerar

Se identificaron los materiales a considerar para el funcionamiento del sistema de producción aeropónico fotovoltaico, como también otros materiales que den soporte al proceso principal. Los materiales se describirán considerando cada uno de los componentes que conforman el Sistema de Producción aeropónico.

Los materiales considerados se adquirieron acorde la disponibilidad comercial, cuyos costos no fueron muy excesivos (Ver Anexo 2 y 3).



**Figura 16.** Sistema aeropónico armado  
Elaboración propia.

### 3.1.3.1 Soporte estructural

Para el soporte estructural del sistema aeropónico se consideraron materiales que pudieron soportar el peso de las columnas de cultivo, el sistema de recirculación y las plantas que se cultivaron. El soporte estructural conformado de madera cachimbo requirió de otros materiales resistentes, que, en su conjunto otorgaron una disposición ordenada del resto de componentes que conformaron el sistema.

Tabla 6  
*Materiales del soporte estructural*

<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Madera cachimbo	2" x 1.5" x 2.00 m.	2
Madera cachimbo	2" x 1.5" x 1.60 m.	1
Madera cachimbo	2" x 1" x 1.80 m.	2
Madera cachimbo	2" x 1" x 0.60 m.	6
Perno metálico	Nº 12 x 3.25"	10
Tuercas	Nº 12	10
Aros o huachas	Nº 12	10
Tornillos	2"	2
Clavos	2"	12

Elaboración propia.



**Figura 17.** Madera cachimbo.  
Elaboración propia.



**Figura 18.** Pernos y Tuercas.  
Elaboración propia.

### 3.1.3.2 Columnas de cultivo

Las columnas de cultivo se conformaron por tubos de PVC de fácil armado y desarmado con el fin de dar una buena limpieza al finiquitar la cosecha. Se utilizó esmalte blanco en los tubos armados para otorga una mejor reflexión de luz solar y evitar el aumento de temperatura de las columnas.

Tabla 7  
*Materiales para las columnas de cultivo*

<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Tubo de PVC	diá. 2" x 3m.	3
Tubo Y de PVC	diá. 2"	72
Esmalte mate blanco	1/2 gal	1
Thinner acrílico	Gal 1 litro	1
Tapa PVC	diá. 2"	9
Vasos hidropónicos	diá. de boca 2"	72

Elaboración propia.



**Figura 19.** Tubos "Y" y piezas cilíndricas de PVC.  
Elaboración propia.



**Figura 20.** Esmalte mate blanco y thinner acrílico.  
Elaboración propia.

### 3.1.3.3 *Recirculación del sistema*

La recirculación del sistema estuvo conformada por tubos de PVC (para la salida de solución nutritiva) y tubos de PE. para el ingreso de esa misma solución al sistema. El bombeo de la solución nutritiva requirió una bomba de agua de adecuado caudal y altura, considerando las dimensiones del sistema aeropónico.

Tabla 8  
Materiales para el sistema de recirculación

Materiales	Descripción	Cantidad
Codo de PVC	diá. 2"	1
T de PVC	diá. 2"	8
Tubo de PVC	diá. 2" x 3m.	1
Tubo manguera de PE	diá. 20 mm. x 5 m.	1
Codo de PE	diá. 20 mm	3
Válvula de PE	diá. 20 mm	2
Tubo manguera de PE	diá. 5 mm x 5 m.	1
Tapones de PE	diá. 20 mm	1
Conectores de PE	diá.4 mm.	9
Teflón	Paquete de 10 Yds.	1
Pegamento para PVC	Gal 473 mL.	1
Cintillo amarrador	30 cm.	25
Cintillo amarrador	20 cm	8
Bomba de agua sumergible	Altura de bombeo: 2.5 m. Consumo 45 W	1
Manguera	diá. 1" x 1 m.	1

Elaboración propia.



**Figura 21.** Tubos de polietileno negro.  
Elaboración propia.



**Figura 22.** Tapones y codos de polietileno negro.  
Elaboración propia.



**Figura 23.** Tubo "T" y codo de PVC.  
Elaboración propia.



**Figura 24.** Bomba de agua sumergible.  
Elaboración propia.

### 3.1.3.4 Solución nutritiva

La solución nutritiva estuvo compuesta por macronutrientes, micronutrientes y agua, los cuales se prepararon y vertieron en el interior del contenedor.

Tabla 9  
*Materiales para el bombeo de solución*

Materiales	Descripción	Cantidad
Macronutrientes en solución	Botella de 1 Litro	1
Micronutrientes en solución	Botella de 0.4 Litros	1
Contenedor de PHDA	45 litros.	1

Elaboración propia.



**Figura 25.** Micronutrientes y macronutrientes en solución.

Elaboración propia.

### 3.1.3.5 Alimentación energética

Era de necesidad contar con energía renovable para el abastecimiento energético de la bomba, por tal se contó con el sistema fotovoltaico solar para el abastecimiento eléctrico, teniendo así energía limpia en el sistema aeropónico.

Tabla 10  
*Materiales para la alimentación energética*

<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Panel Solar Monocristalino	85 W.	1
Batería seca	36 A, 12 V.	1
Controlador de carga	10 A.	1
Inversor de carga	12 V, 300 W.	1
Temporizador	8 tiempos	1
Extensión eléctrica	250 V	1

Elaboración propia.



**Figura 26.** Panel solar monocristalino.  
Elaboración propia.



**Figura 27.** Batería y convertor de energía.  
Elaboración propia.

### 3.1.3.6 Almaciguero

Se utilizó una técnica de cultivo sin suelo para la germinación de las semillas de lechuga, con arena como sustrato en un espacio adecuado para su crecimiento inicial.

Tabla 11  
*Materiales para el almaciguero*

<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Caja de madera	40 cm. x 40 cm.	1
Plástico negro	1 m <sup>2</sup>	1
Arena gruesa	Bolsa 5 kg.	1
Semilla de lechuga orgánica	Sobre 100gr.	1

Elaboración propia.



**Figura 28.** Caja de madera utilizada como almaciguero.  
Elaboración propia.

### **3.1.4 Elaboración del Prototipo**

#### *3.1.4.1 Armado del soporte del sistema aerónico.*

Se realizó el armado del soporte del sistema de producción aerónico, el cual permite dar la postura vertical a las columnas de cultivo y otorgar estabilidad a todo el sistema.

Para hacerlo, se colocó en el piso los dos listones de 2" x 1.5" x 2 m. (parantes) de forma paralela, teniendo como base, o parte que tuvo contacto con el piso la cara de 2", con un distanciamiento de 1.57 cm. entre los listones. Estos listones fueron las columnas del soporte.

Se unió los extremos superiores de las columnas con el listón de madera de 2" por 1" por 1.65 m. teniendo como base la cara de 2" y dispuesto de manera horizontal encima de estas columnas. Para asegurar el enlace de los listones se perforó dos orificios de 5 mm. distanciados en 2 cm. en cada uno de los puntos de

unión de los listones con ayuda de un taladro, posterior se colocó los pernos, las huachas y las tuercas para asegurar la unión.



**Figura 29.** Armado del soporte del sistema.  
Elaboración propia.

Desde la parte superior a la inferior se mide 1.73 cm. en los parantes o columnas, es a esa distancia donde se colocará horizontalmente y paralelo al primero que se unió, el listón de 2" x 1.5" x 1.65 cm. Al igual que el enlace en la parte superior, se asegurará con dos pernos por cada punto. Adicional se colocó un listón a 85 cm. en paralelo desde el primer listón colocado.



**Figura 30.** Perforado de madera para unión de partes.  
Elaboración propia.

Para lograr la disposición vertical del soporte se hizo una especie de base triangular clavando dos listones de 2" x 1.5" x 0.60 cm. en una de las mismas dimensiones dejando 5 cm. en los extremos de este último, dando la forma de un triángulo isósceles. Esto fue la base que daría la orientación vertical a todo el soporte. Esta operación se hizo por duplicado, ya que fueron dos las columnas del soporte.

Después, estas bases se atornillaron a los parantes o columnas en la parte media de la base de estos triángulos. Por último, se perforó con un taladro el vértice superior del triángulo formado el cual tenía en medio el soporte a 53 cm de altura desde el piso. Sólo se colocó un perno por cada parante el cual fue ajustado con la ayuda de una llave N°11 en la tuerca.



**Figura 31.** Incorporación de la base al soporte del sistema.  
Elaboración propia.

### 3.1.4.2 Armado de columnas de cultivo del sistema aeropónico.

Se armó 8 torres o columnas de cultivo dispuestos verticalmente, cada torre albergó 8 espacios para las plántulas en las piezas Y (Orificio visible) en la cual se depositarán las plantas con un soporte (vaso para hidroponía).

En primera instancia, se cortó 63 piezas de 9.70 cm de largo del tubo de 2" de diámetro por 3 metros, esto con el fin de conectar las Y de 2" y formar las columnas. Cada columna contiene 8 Y de 2" y cada una de las Y encaja con los tubos cortados en piezas de 9.70 cm. por la parte inferior de cada Y. Para lograr lo anterior se estiró una de las bocas de las piezas con calor. De esa forma se conectaron alternadamente, logrando un espaciamiento de 15 cm. entre los orificios que albergaron las plántulas.

Todas las columnas tienen como extremo el tubo Y, esto quiere decir que la parte superior e inferior de las columnas llevaron estas piezas. Para evitar que las plántulas estén dispuestas a un mismo nivel horizontal, se colocó en cada parte inferior de 4 columnas armadas, una pieza de 9.7 cm del tubo de 2". Las columnas se dispusieron en el sistema, alternando con las columnas que no contaron con la pieza extra.



**Figura 32.** Armado de las columnas de cultivo.  
Elaboración propia.

En la parte superior de cada una de las columnas se colocó piezas del tubo de 2" que varían entre los 6 y 9 cm. con el fin de dar un mismo nivel superior entre todas las columnas y que los 9 tapones puedan encajar y aislar la parte superior de las columnas del ambiente. Cada tapón cuenta con un orificio de 5 mm. En su centro por donde ingresa la manguera del sistema de recirculación.

### 3.1.4.3 Recirculación de solución nutritiva

El sistema de recirculación estaba conformado por la conexión para el ingreso de solución nutritiva, y la salida de esta misma. La conexión de salida integra un codo de 2" al extremo izquierdo y se va enlazando con tubos en forma de T de 2". El enlace entre el codo y la T además de los enlaces entre las T (8 tubos T en total) es una pieza de tubo cilíndrico de 2" de 9.7 cm. de largo con una deformación en uno de sus lados para lograr su encaje. Como es un sistema de salida de solución nutritiva, además de estar en forma horizontal, se procedió a reforzar el enlace de piezas con pegamento para PVC.



**Figura 33.** Conexión para la salida de la solución.  
Elaboración propia.

Al final se obtuvo una conexión horizontal de 1.63 m. con 9 orificios, orificios en los cuales se integran las columnas de producción. Para la conexión de ingreso se necesitó 1.65 m de tubo manguera de PE (Polietileno negro) de 20 mm. de

diámetro. Se hizo 9 agujeros separados cada 20 cm. y se colocó un tapón en uno de los extremos, esta parte de la conexión es horizontal.



**Figura 34.** Tubo de polietileno negro con conector adherido y tapón.  
Elaboración propia.

En cada uno de los agujeros realizados se introdujo conectores de 4 mm. de diámetro en los cuales, a la vez, se aplicó vueltas con teflón y se colocó tubo manguera de PE (Polietileno) de 5 mm. de diámetro x 20 cm para cada conector.

Al otro extremo del tubo de 1.65 m., se colocó un codo con la misma dimensión, el cual da la orientación vertical a la conexión. Continuando con la instalación, se colocó tubo manguera de polietileno negro de 20 mm. x 70 cm., enlazando posteriormente una válvula de la misma dimensión y luego tubo manguera de 85 cm. de largo.

Se volvió a cambiar la dirección de la conexión, conectando al tubo de 85 cm un codo, un pedazo de 10 cm de tubo manguera de polietileno negro, una manguera de misma circunferencia y una conexión de más tubos de polietileno hasta conectar la bomba de 45 W.



**Figura 35.** Conexión interna del contenedor para el ingreso de solución.  
Elaboración propia.

Se dispone el contenedor al lado derecho del sistema de producción aeropónico, el contenedor cuenta con una altura de 30 cm. y la conexión de salida de la recirculación cuenta con la misma altura horizontal, por lo que no se presentó problemas con el drenaje al contenedor.

Dentro del contenedor se colocó la bomba sumergible la cual se conectó a una manguera de 20 mm. de diámetro, este último a tubos de 20 mm. y codos de la misma dimensión hasta llegar con la conexión de ingreso de la solución nutritiva. Para realizar la prueba de recirculación, se usó 20 L de agua, previo al vertimiento de la solución nutritiva.

#### 3.1.4.4 Incorporación de columnas de producción y sistema de recirculación al soporte del sistema aerónico

Antes de la incorporación al soporte, se pintó las columnas de producción y la conexión de salida con pintura blanca esmalte. Posterior, lo primero a colocar fue la conexión de salida, la cual se aseguró con cintillos de 30 cm, de esa forma quedó fijo al soporte. Asegurada la conexión de salida al sistema, se procedió a colocar las columnas de producción una por una, asegurando también con cintillos de 30 cm. en el listón horizontal medio del soporte.



**Figura 36.** Incorporación de tubos en el soporte.  
Elaboración propia.

Por último, se incorporó la conexión de ingreso de solución en la madera horizontal superior del soporte, asegurando con cintillos de 20cm. Las mangueras de 5 mm x 20 cm (9 en total) se introdujeron en los conectores del tubo de

polietileno y estas mangueras de 5 mm. en cada una de las columnas de cultivo por el orificio de los tapones.



**Figura 37.** Colocación de los tubos de 5mm a las columnas.  
Elaboración propia.

#### 3.1.4.5 Sistema de alimentación energética solar

Se inició con la instalación del soporte del panel fotovoltaico conformado por listones de madera. Según los antecedentes, el soporte del panel debe propiciar una inclinación hacia al norte.

Posterior se colocó el panel de 80 W. el cual ya contaba con la soldadura de cable eléctrico de 5 metros de distancia, por lo que su conexión con los demás equipos se dispuso en un lugar cerrado. Se procedió a conectar el controlador de carga con la batería y luego el mismo controlador con el panel fotovoltaico, teniendo una conexión en serie: panel fotovoltaico, convertidor de energía y batería, al final se conectó el inversor de carga el cual convierte la corriente continua en corriente alterna necesaria para el funcionamiento de la bomba sumergible.

Era necesario tener periodos de riego por lo que se realizó la conexión de un temporizador de 8 ciclos al inversor de carga del sistema fotovoltaico, luego se enchufó la bomba al temporizador, con el cual se obtuvo 2 horas y 30 minutos de riego por 30 minutos de descanso en 8 ciclos al día.



**Figura 38.** Sistema fotovoltaico (aislado) armado con sus componentes. Elaboración propia.

#### 3.1.4.6 *Elaboración del almaciguero*

Se elaboró un almaciguero modificando una caja de madera para frutas, obteniendo posteriormente una caja de dimensiones 40 cm. por 40 cm y 10 cm de altura. A esta caja se le colocó en su interior un forro de plástico negro de polietileno para que contenga el sustrato.



**Figura 39.** Cama almaciguera.  
Elaboración propia.

#### 3.1.4.7 Preparación del almaciguero

Las semillas germinadas fueron de 3 variedades de lechuga, Lechugas sin cabeza, de hojas sueltas follares roja, Lechugas sin cabeza, de hojas sueltas follares verde (*Lactuca sativa* var. *Intybacea* (Hort) y Lechuga cos o romanas. (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia* (Lam.) Janchen:

- Lavado de sustrato

El sustrato empleado fue la arena gruesa al 100% (sin combinar con otros sustratos), con un diámetro de 2.00 mm a 5 mm para los granos.

El sustrato empleado (5 kilos), se introdujo en el interior de un recipiente de plástico para realizar su lavado con agua potable. Se realizó 4 lavadas hasta quitar la turbiedad. Quitada la turbiedad se hizo un lavado con hipoclorito de sodio al 10% V/V (10 ml de hipoclorito de sodio en 1 L de agua), utilizando 30 ml por los 3 Litros de agua requerido para el lavado. Se dejó reposar el sustrato por 15 minutos así se concretaría la desinfección. Por último, se realizó una lavada más para quitar el olor generado por el cloro y se dejó secar al sol.

- Incorporación de la arena en el almaciguero

Se introdujo la arena gruesa en la cama armada esparciéndola uniformemente por todos los lados.



**Figura 40.** Incorporación de arena gruesa en la almaciguera.  
Elaboración propia.

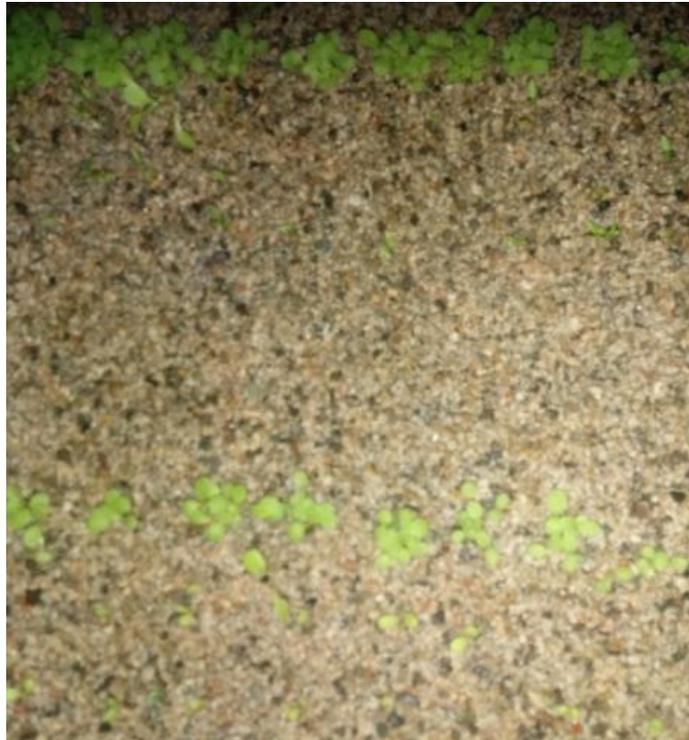
- Preparación de solución nutritiva para el riego

Se procedió con la preparación de la solución nutritiva considerando la equivalencia ml/L para los macronutrientes y micronutrientes, indicado en el recipiente. Por cada litro de agua se consideró, según indicaciones, 2 ml. de micronutrientes y 5 ml. de macronutrientes. Se preparo diariamente 1/2 litro de solución nutritiva para el riego del almaciguero.

- Siembra en el almaciguero

Se consideraron 3 tipos de variedad de semilla de lechuga, las mismas que se dispusieron en 2 filas por cada variedad. se realizó un pequeño orificio de 5 mm de profundidad en la arena gruesa, colocando dos

semillas por orificio y considerando 3 cm. de distancia entre orificios conformando en total 6 filas que integraba 12 orificios cada una. Se dio riegos diarios con solución nutritiva preparada para la recirculación.



**Figura 41.** Lechugas germinadas (día 8).  
Elaboración propia.

- Seguimiento al almaciguero

El almaciguero se dispuso bajo sombra en las tardes, considerando que nos encontrábamos en época de verano y una temperatura por encima de los 25°C impediría su germinación y crecimiento. la radiación solar fue administrada en las mañanas y por debajo de malla raschell. Los riegos fueron diarios en las tardes con solución nutritiva. No se evidenciaron problemas en su desarrollo, por lo que se llegó al día 27 sin problema de plagas, etc.



**Figura 42.** Día 20 de las lechugas en el almaciguero.  
Elaboración propia.

#### 3.1.4.8 *Trasplante al sistema aeropónico*

- Preparación de solución nutritiva para el riego

Se procedió con la preparación de la solución nutritiva considerando la equivalencia ml/L para los macronutrientes y micronutrientes, indicado en el recipiente. Por cada litro de agua se consideró, según indicaciones, 2 mL de micronutrientes y 5 mL de macronutrientes, por lo que se usó 30 L de agua añadiendo 150 ml de macronutrientes y 60 ml de micronutrientes. La solución se dispuso en el contenedor para iniciar con la recirculación.

- Trasplante al sistema aeropónico

Luego de 27 días en el almaciguero, se procedió a retirar cada plántula de lechuga con mucho cuidado sin dañar las raíces, luego se le midió desde el inicio del tallo hasta ápice de la hoja más larga (Todas las 72 plántulas), posterior se enjuagó con agua la parte radicular y se colocó

esponja alrededor de la zona comprendida entre el tallo y parte de la raíz. Se introdujo todo en un vaso de hidroponía procurando colocar las raíces por los agujeros de los vasos, así no se ahogarán con la esponja. Cada vaso se colocó en cada uno de los orificios de las columnas de cultivo del sistema aeropónico, logrando trasplantar 72 lechugas de 3 variedades (24 de cada variedad).



**Figura 43.** Día 27 - trasplante de la lechuga  
Elaboración propia.



**Figura 44.** Plántulas de lechuga en el sistema  
aeropónico.  
Elaboración propia.

Se puso en marcha la recirculación de la solución nutritiva, considerando que se hizo pruebas días antes para evitar contingencias en el trasplante.

- Seguimiento a la producción en el sistema aeropónico

Las plántulas se regaron 20 horas al día, considerando 8 ciclos de riego. Cada ciclo de riego, programado en el temporizador, otorgaba un descanso de 30 minutos y 2 horas 30 minutos de riego, todo sin interrupciones, ya que una batería solar suministraba la energía.



**Figura 45.** Día 10 de las lechugas en el sistema aeropónico  
Elaboración propia.

No se evidenciaron patógenos ni plagas en todo el periodo de producción, el periodo duró 42 días desde el trasplante hasta la cosecha. La solución nutritiva presenta un pH óptimo para el crecimiento de las lechugas en el intervalo de 6.0 y 6.5. Este pH se mantuvo en el intervalo, llegando al día 20 a 6.0.



**Figura 46.** pH de la solución nutritiva en 20 días de recirculación.  
Elaboración propia.

Se dio seguimiento al pH en la solución nutritiva cada 3 días, considerando al pH un parámetro importante que permite la disponibilidad de nutrientes. Ante alguna variación considerable de pH se hubiera optado por cambiar toda la solución nutritiva. La solución nutritiva en 20 días se redujo a 20 litros, 10 litros se perdieron por posible evapotranspiración por lo que se añadió la cantidad restante, previa preparación la misma que estabiliza el pH de 6.0 a 6.5, llegando al día 42 a un pH 6 nuevamente con 20 litros de solución nutritiva.

#### 3.1.4.9 Cosecha de lechugas

Se procedió a retirar cada una de las lechugas y quitarles la zona radicular, luego, una por una se pesó en una balanza, obteniendo así el peso de cada planta, además se midió su longitud desde el tallo hasta el ápice de la hoja más larga.



**Figura 47.** Día 30 de las lechugas en el sistema de producción aeropónico  
Elaboración propia.

## 3.2 Resultados

### 3.2.1 Energía requerida para la producción de lechugas

La disposición energética para el funcionamiento del sistema aeropónico se centró en el funcionamiento de la bomba sumergible de agua y el temporizador, los cuales funcionaron en todo el periodo de crecimiento de las plantas de lechuga. Para 42 días de funcionamiento se realizó el cálculo de energía utilizada, considerando la potencia de la bomba sumergible.

- Potencia de consumo: 45 W
- Días en funcionamiento 42 días.

$$45 \text{ W} = 45 \text{ W} \times (1 \text{ h}) (1 \text{ KW}) / 1000 \text{ W} = 0.045 \text{ KWh}$$

La bomba funcionó 8 ciclos al día, funcionando por 2 horas 30 minutos y descansando 30 minutos. Entonces en total la bomba funcionó 20 horas al día.

$$0.045 \text{ KWh} \times 20 \text{ h} = 0.9 \text{ KWh}$$

Como se indicó la bomba funcionó por 42 días ininterrumpidos, por lo que la energía requerida para su funcionamiento en el periodo de producción de lechugas fue:

$$0.9 \text{ KWh} \times 42 = 37.8 \text{ KWh}$$

El temporizador de 8 ciclos también funcionó durante el periodo de producción por lo que se realizó el cálculo de consumo energético total:

- Potencia de consumo: 0.5 W
- Días en funcionamiento: 42 días.
- Horas de funcionamiento al día: 24 horas

$$0.5 \text{ W} = 0.5 \text{ W} \times (1 \text{ KW}) / 1000\text{W} = 0.0005 \text{ KW}$$

$$0.005 \text{ KWh} \times 24 \text{ h} = 0.012 \text{ KWh}$$

$$0.012 \text{ KWh} \times 42 = 0.504 \text{ KWh}$$

Consumo de energía total en 42 días productivos:

- Consumo de la bomba: 37.8 KWh
- Consumo del temporizador: 0.5 KWh

$$0.5 \text{ KWh} + 37.8 \text{ KWh} = 38.3 \text{ KWh}$$

La energía total utilizada en 42 días de funcionamiento del sistema aeropónico fue de 38.3 Kwh. La instalación fotovoltaica, cubre el 100 % de la demanda energética del sistema, por lo que el sistema aeropónico fue abastecido con energía renovable en la totalidad del periodo de producción.

### 3.2.2 Crecimiento de las lechugas

#### 3.2.2.1 Altura de la lechuga (plántula)

Se calculó la altura de las lechugas desde su propia base (tallo) hasta el ápice de la hoja más larga en su estado de plántula, antes de ser trasplantada a las torres de cultivo del sistema aeropónico, considerando 27 días desde su siembra.

Tabla 12  
*Tamaño de plántulas de lechuga en 27 días.*

Lechuga Romana (cm)	Lechuga crespa verde (cm)	Lechuga crespa roja (cm)
7.3	8	9.2
7.8	7.2	8.5
7.2	8.5	8.3
6.7.	9	7.8
7	6.2	7.9
7.9	6.5	7.3
7.1	7.3	9
6.9	6.8	8.5
6.5	6.9	8.8
8.1	8.2	9
7.9	7.7	9.4
6.8	8.1	9.2
7.1	6.7	8.6
8.2	8.1	8.2
7.8	6.2	7.6
6.9	9.5	7.7
8.1	8.3	9.5
8.5	8.2	8.1
7.7	7.6	8.5
9.2	7.6	9.5
8.5	8.2	8.2
7.2	8.5	7.2
8.3	6.9	7.6
6.5	7.2	8.5

Elaboración propia.

### 3.2.2.2 *Altura de la lechuga (cosecha)*

Se calculó la altura de las lechugas desde su propia base (tallo) hasta el ápice de la hoja más larga, considerando 42 días después de la instalación de las plántulas en el sistema aeropónico. En total se considera 69 días de crecimiento.

Tabla 13  
*Tamaño de lechugas cosechadas en 69 días de crecimiento.*

<b>Lechuga Romana (cm)</b>	<b>Lechuga de hojas sueltas crespa verde (cm)</b>	<b>Lechuga de hojas sueltas crespa roja (cm)</b>
22.2	19.5	19.7
23.2	19.2	19.8
19.8	19.5	22.2
19.8	19.6	19.5
20.9	19	19.8
19.5	19.4	22.2
22.2	19.2	19.2
23.9	19.3	19.8
19.8	19.6	20.2
19.8	20	19.6
20.7	19.1	19.2
19.5	19.2	22.2
22.2	19.2	19.8
23.2	18.1	19.8
19.5	20.2	18.2
19.8	19.5	18.8
19.8	18.3	19.3
18.7	18.2	18.7
19.5	21.6	18.5
19.5	20.6	18.6
21.2	18.2	20.2
18.5	19.5	19.5
20.5	16.5	20.7
18.9	20.2	19.9

Elaboración propia.

### 3.2.2.3 Crecimiento de las lechugas en el sistema aeropónico:

Del total de 72 plántulas trasplantadas, hasta su cosecha, todas vivieron por lo que el cien por ciento de las lechugas se adaptaron al sistema aeropónico. Se presenta el crecimiento en cm de las 72 plantas de lechuga en 42 días, desde su instalación en el sistema aeropónico hasta su cosecha:

Tabla 14  
*Crecimiento de lechugas en 42 días.*

<b>Lechuga Romana (cm)</b>	<b>Lechuga crespa verde (cm)</b>	<b>Lechuga crespa roja (cm)</b>
14.9	11.5	10.5
15.4	12	11.3
12.6	11	13.9
13.1	10.6	11.7
13.9	12.8	11.9
11.6	12.9	14.9
15.1	11.9	10.2
17	12.5	11.3
13.3	12.7	11.4
11.7	11.8	10.6
12.8	11.4	9.8
12.7	11.1	13
15.1	12.5	11.2
15	10	11.6
11.7	14	10.6
12.9	10	11.1
11.7	10	9.8
10.2	10	10.6
11.8	14	10
10.3	13	9.1
12.7	10	12
11.3	11	12.3
12.2	9.6	13.1
12.4	13	11.4

Elaboración propia.

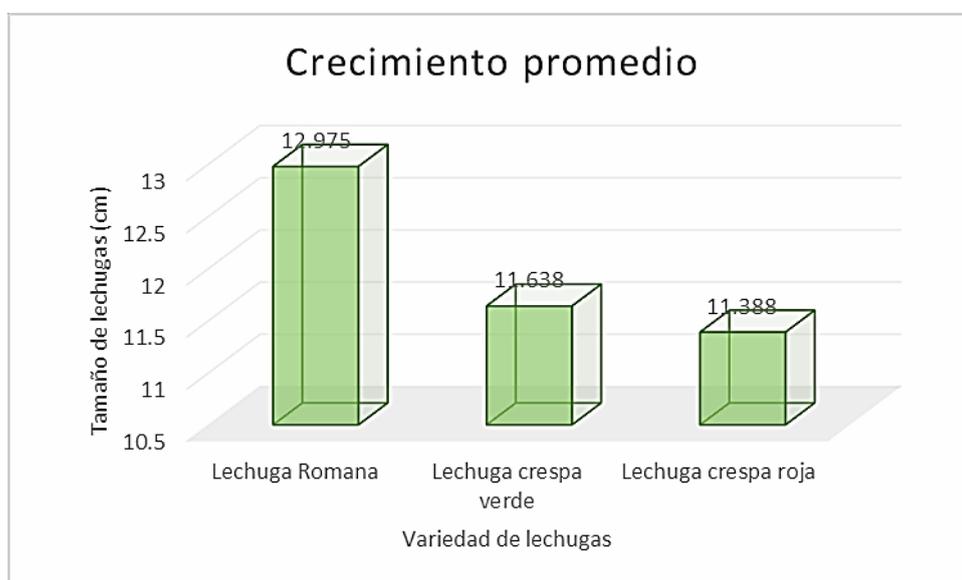
De lo anterior se tiene el promedio de crecimiento en centímetros para cada variedad de lechuga:

Tabla 15

*Promedio de crecimientos por variedad de lechuga*

Lechuga Romana (cm)	Lechuga crespa verde (cm)	Lechuga crespa roja (cm)
12.975	11.638	11.388

Elaboración propia.



**Figura 48.** Crecimiento promedio de cada variedad de lechuga. Elaboración propia.

### 3.2.3 Rendimiento del cultivo

#### 3.2.2.4 Pesaje en fresco de las lechugas:

Se peso cada una de las 72 lechugas en el día 42 (post cosecha).

Tabla 16  
*Peso de lechugas en 42 días*

<b>Lechuga Romana (g)</b>	<b>Lechuga crespa verde (g)</b>	<b>Lechuga crespa roja (g)</b>
68	60	66
62	58	65
68	56	52
65	63	64
57	60	68
60	67	50
62	50	52
68	61	58
59	58	56
57	54	54
62	62	60
58	58	55
59	64	68
62	56	58
65	59	52
58	65	65
59	68	63
65	58	62
62	63	57
56	62	53
61	58	55
57	55	60
62	54	58
60	52	62

Elaboración propia.

Se obtuvo un peso promedio de 59.2 gramos para la Lechuga de hojas sueltas crespa verde, 58.9 para la Lechuga de hojas sueltas crespa roja y 61.3 g para la Lechuga Romana. El peso en fresco total fue de 5.631 Kg.

### 3.2.2.5 *Espacio ocupado por el cultivo*

Se realizó el cálculo del espaciamiento que ocupa el cultivo en el sistema aeropónico.

- Espacio total:
  - 0.60 metros a los extremos.
  - 1.66 metros de largo.

$$0.60 \text{ m} \times 1.66 \text{ m} = 0.996 \text{ m}^2$$

Consideramos al sistema de producción aeropónica como si fuese una cama de cultivo de 0.996 m<sup>2</sup>, y cada variedad de lechuga estuvo dispuesta en 3 columnas de cultivo. Cada 3 columnas ocupan 0.55 metros de largo, entonces se consideró el siguiente espaciamiento:

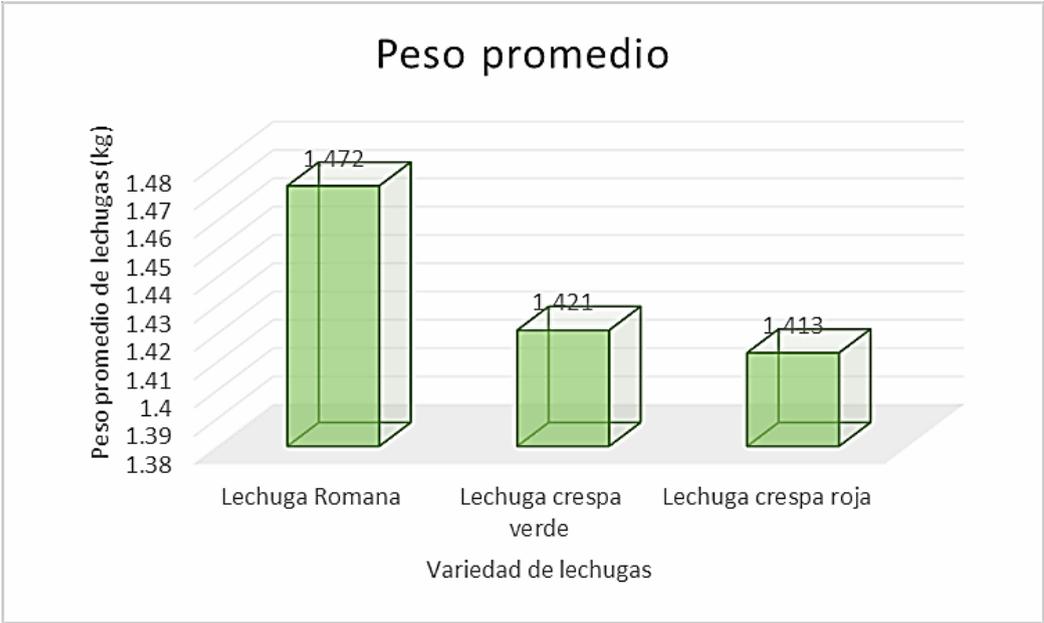
- Espacio por cada variedad de lechuga:
  - 0.60 metros a los extremos.
  - 0.55 metros de largo (para 3 columnas de cultivo)

$$0.60 \text{ m} \times 0.55 \text{ m} = 0.332 \text{ m}^2$$

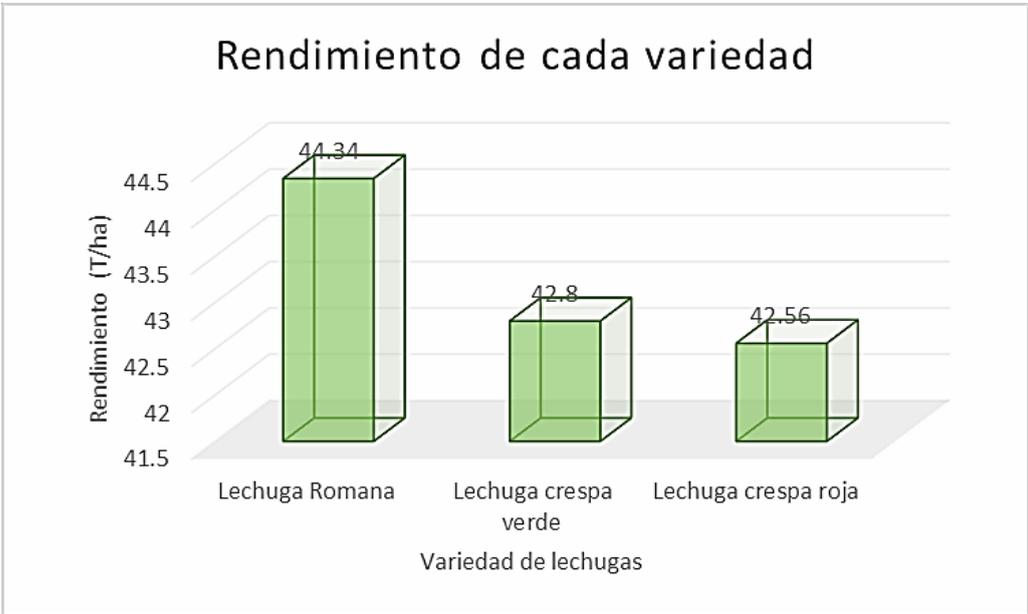
Tabla 17  
Rendimiento total y por cada variedad de lechuga

	Cantidad de lechugas	Espacio (m <sup>2</sup> )	Peso (Kg)	Rendimiento (Kg/m <sup>2</sup> )	Rendimiento (T/ha)	Rendimiento (cantidad/ha)
Lechuga Romana	24	0.332	1.472	4.43	44.34	722 mil lechugas
Lechuga crespa verde	24	0.332	1.421	4.28	42.80	722 mil lechugas
Lechuga crespa roja	24	0.332	1.413	4.26	42.56	722 mil lechugas
Rendimiento total	72	0.996	4.306	4.32	43.23	722 mil lechugas

Elaboración propia.



**Figura 49.** Peso promedio por cada variedad de lechuga. Elaboración propia.



**Figura 50.** Rendimiento de cada variedad de lechuga. Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Se elaboró y se puso en funcionamiento el sistema aeropónico con energía fotovoltaica, el cual fue un método de cultivo que automatizó el riego con suministro de energía limpia para su funcionamiento (autosuficiente en energía), siendo de fácil construcción y requiriendo menores cantidades de agua (sólo 40 L) al tener un riego recirculado. El tiempo de producción fue de 69 días y está dentro del periodo de cultivo convencional, con un crecimiento moderado de las lechugas posiblemente por la temperatura máxima en verano (23 -25 °C) que limita el crecimiento. Se promovió la sostenibilidad en el ecosistema urbano mediante la reducción del consumo de agua, uso de energía limpia y autoabastecimiento de una zona urbana.
2. Se determinó el consumo energético requerido para el funcionamiento ininterrumpido del sistema aeropónico (38.3 Kwh en 42 días para 72 lechugas). Considerando que se utilizó un panel solar de suministro energético considerable y una batería solar, no se presentó problemas por desabastecimiento o cortes, el cual además brinda energía limpia. Con esto se puede dar suficiencia energética a cualquier sistema o prototipo de producción vegetal que consume igual o aproximada cantidad de energía, además de reducir el total de costos por abastecimiento energético.
3. Se determinó el rendimiento de la producción de lechuga, el cual fue (722 mil lechugas o 43.23 T/ha.) considerando que el espacio requerido por el sistema aeropónico es menor que en un sistema convencional en suelo, por lo tanto, el rendimiento obtenido es aceptable en cantidad. Cabe indicar que las lechugas en el sistema aeropónico solo se regaron con macro y micronutrientes, mas no algún tipo de fertilizante químico o fungicida.

## RECOMENDACIONES

1. El sistema realizado no es únicamente útil para lechugas, también se puede considerar otras especies de hortalizas de hoja o frutos, además, se puede considerar plantas aromáticas, por lo que se puede investigar su uso, teniendo en cuenta las distintas épocas del año para la producción, así se pueda obtener cosechas en menor tiempo. Considerar esta técnica de cultivo en las áreas urbanas libres y con acceso a luz solar, con una finalidad paisajística, autosustentable y económica a pequeña o gran escala. Se debe aplicar sombras con mallas especiales para evitar el estrés de las plantas, sobre todo en verano.
2. El suministro del sistema fotovoltaico fue superior respecto a la demanda energética de los equipos utilizados, no es recomendable dimensionar a la exactitud según la demanda energética de equipos como bombas o temporizadores, ya que la radiación solar varía y no es la misma todo el año. Es de necesidad, para evitar paras por falta de suministro energético, tener un sistema fotovoltaico que genere más energía y no a la exactitud, esto puede aprovecharse para expandir más la producción con la adición de otros equipos. Queda como pendiente, para futuras investigaciones, el cálculo de la huella de carbono de todo el sistema aeropónico, además el cálculo de abastecimiento energético fotovoltaico.
3. Considerar las fechas de cultivo para cada especie vegetal si se desea un rendimiento mayor, ya que algunas plantas son susceptibles a las variaciones de temperatura y humedad presente en las distintas épocas del año. Es de necesidad promover una buena aireación de la solución nutritiva y verificar periódicamente el pH y la temperatura en el contenedor, el seguimiento es importante para evitar falencias en la producción, como también el origen de enfermedades por bacterias u hongos.

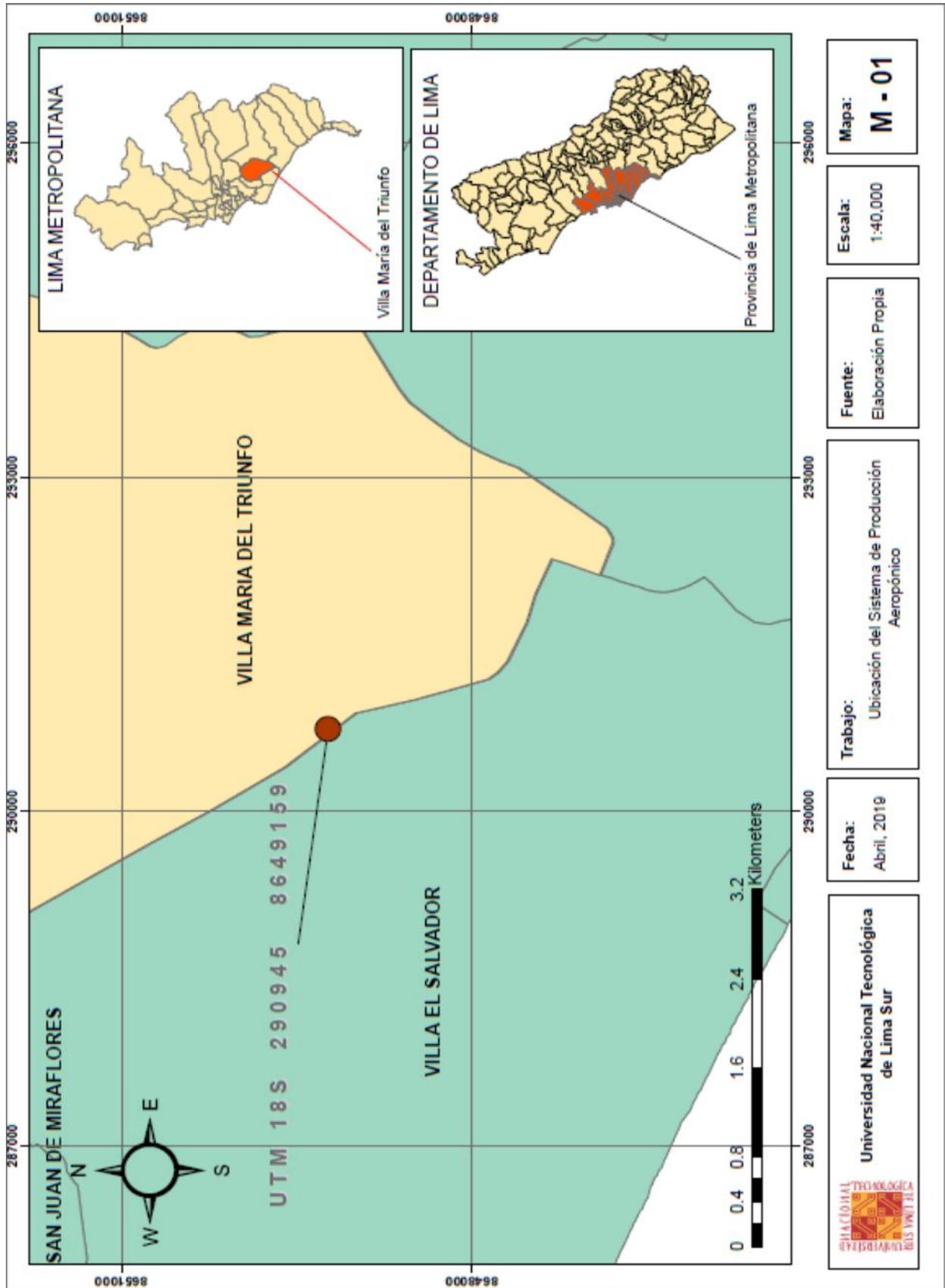
## BIBLIOGRAFÍA

- Acero Díaz, A. M. (2017). El ecosistema urbano: una propuesta de aula para trabajar competencias ambientales. Bogotá, Colombia.
- Arenas Sánchez, D. A., & Zapata Castaño, H. S. (s.f.). Libro interactivo sobre la energía solar y sus aplicaciones. 2011. Pereira.
- Baixauli Soria, C., & Aguilar Olivert, J. (2002). *Cultivo sin suelo de hortalizas*. Valencia, España: GENERALITAT VALENCIANA.
- Barrios, J. C. (s.f.). Evaluación de los ecosistemas del milenio de España. Madrid.
- Basterrechea, M. (30 de enero de 2015). *Hidroponía Casera*. Obtenido de <https://www.hidroponiacasera.net/aeroponia-la-guia-basica/>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Brajovic, G. (1 de marzo de 2012). *Hidroponic Cultiva en casa*. Obtenido de <http://www.hidroponic.cl/la-aeroponia/>
- Durán, J., Martínez, E., & Navas, L. (2000). Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía (I). *Vida Rural*, 43.
- Escoda, S. (2017). *Libro blanco de las energías renovables* (Edición 18.1 ed.).
- Escuelas Idea Sana EROSKI. (Mayo - Junio de 2005). La lechuga.
- Esquivel Cardiel, E. (Septiembre de 2017). Aeroponía. Coahuila, México.
- Figuroa Clemente, M. E., Redondo Gómez, S., Luque Palomino, T., & Suárez Inclán, L. (2006). La ciudad como ecosistema sostenible: El paradigma de la ciudad como ecosistema ante el reto de la sostenibilidad. *Revista de Enseñanza Universitaria*, 69 - 87.
- Halsouet, P., & Santiago Miñambres, M. (2005). *La Lechuga - Manual para su Cultivo en Agricultura Ecológica*. Navarra, España: Bio Lur Navarra.
- Hernández Salamanca, C. J., & Piñeros Muñoz, J. S. (2013). Diseño de un prototipo de un sistema de producción tipo aeropónico. Bogotá D.C., Colombia.
- Higueras García, E. (2009). *El reto de la ciudad habitable y sostenible*. DAPP.

- Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2017). *Manual de Producción de Lechuga*. (G. Saavedra del R., Ed.) Santiago, Chile.
- Japon Quintero, J. (1977). *La Lechuga*. Madrid, España.
- Jaramillo Noreña, J., Aguilar Aguilar, P. A., Tamayo Molano, P. J., Arguello Rincón, E. O., & Guzmán Arroyave, M. (2016). *Modelo tecnológico para el Cultivo de Lechuga Bajo Buenas Prácticas Agrícolas en el Oriente Antioqueño*. Medellín, Colombia.
- La Rosa Villarreal, O. J. (2015). Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo condiciones del valle de Rímac, Lima. Lima, Lima, Perú.
- Martínez Peñalosa, P. A. (2013). Aeroponía como método de cultivo sostenible, rentable e incluyente en Bogotá D.C, Colombia. Bogotá D.C., Colombia.
- OASIS EASY PLANT. (s.f.). Manual de hidroponía. México.
- Red de redes de desarrollo local sostenible, Ministerio de Medio Ambiente. (2007). *Libro verde de medio ambiente urbano* (Vol. Tomo I). Barcelona, España.
- Roldán, I. (18 de junio de 2018). *Vanguardia*. Obtenido de <https://vanguardia.com.mx/articulo/cuales-son-las-diferencias-entre-hidroponia-y-aeroponia>
- Ugáz, R., Siura, S., Delgado de la Flor, F., Casas, A., & Toledo, J. (2000). *Hortalizas, datos básicos* (Tercera ed.). (M. Soldevilla, Ed.) Lima, Lima, Perú: EdiAgraria.
- Valdiviezo Salas, P. D. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP. Lima, Perú.
- Vázquez Rivera, J. A. (2012). Diseño de un sistema con riego aeropónico automatizado. San Luis Potosí, S.L.P., México.

# ANEXOS

## Anexo 1. Mapa temático de la Ubicación del sistema aeropónico



## Anexo 2. Costos directos del sistema aeropónico

I. COSTOS DIRECTOS (Materia prima e insumos)					
N°	Requerimientos	Unidad de medida	Cantidad requerida	Valor Unitario	Costo Total del requerimiento (S/.)
1	Tubo de 2"	m.	12	S/3.00	S/36.00
2	Tubo Y de 2"	und.	72	S/2.00	S/144.00
3	Tubo codo de 2"	und.	01	S/2.00	S/2.00
4	Tubo T de 2"	und.	08	S/2.50	S/20.00
5	Tubo tapa de 2"	und.	09	S/1.00	S/9.00
6	Madera cachimbo de 2" x 1.5"	m.	05	S/4.00	S/20.00
7	Madera cachimbo de 2" x 1"	m.	05	S/3.00	S/15.00
8	Tubo para agricultura de 1/2"	m.	10	S/1.00	S/10.00
9	Tubo codo para agricultura de 1"	und.	05	S/1.00	S/5.00
10	Tubo para agricultura de 5 mm.	und.	05	S/1.00	S/5.00
11	Tubo tapa para agricultura de 1"	und.	02	S/1.00	S/2.00
12	Tubo válvula para agricultura de 1"	und.	02	S/2.50	S/5.00
13	Bomba de agua de 40 W	und.	01	S/70.00	S/70.00
14	Pernos de 3.5"	und.	08	S/2.00	S/16.00
15	tornillos de 2"	und.	10	S/0.30	S/3.00
16	Paquete de cintillos	und.	01	S/6.00	S/6.00
17	Botella Esmalte blanco 400 mL.	und.	02	S/5.00	S/10.00
18	Pomo de pegamento para PVC 250 mL.	und.	01	S/6.00	S/6.00
19	Vasos para hidroponía	und.	72	S/0.50	S/36.00
20	Botella de micronutrientes 500 mL.	und.	01	S/8.00	S/8.00
21	Contenedor de 20 L	und.	01	S/40.00	S/40.00
22	Timer	und.	01	S/45.00	S/45.00
23	Botella de macronutrientes 500 mL.	und.	01	S/6.00	S/6.00
24	Panel solar fotovoltaico monocristalino	und.	01	S/120.00	S/120.00
25	Batería	und.	01	S/150.00	S/150.00
26	Convertor de energía	und.	01	S/100.00	S/100.00
27	Lata de semillas de lechuga, espinaca y perejil	und.	03	S/5.00	S/15.00
28	Regulador de carga	und.	01	S/70.00	S/70.00
TOTAL DE COSTOS (S/.)					S/974.00

### Anexo 3. Costos indirectos del sistema aeropónico

I. COSTOS DIRECTOS (Equipos y herramientas)					
N°	Requerimientos	Unidad de medida	Cantidad requerida	Valor Unitario (S/.)	Costo Total del requerimiento (S/.)
1	Martillo	und.	01	S/35.00	S/35.00
2	Broca para perforado de madera	und.	01	S/5.00	S/5.00
3	Trapo desechable	und.	01	S/2.00	S/2.00
4	Marcador permanente color rojo	und.	01	S/2.50	S/2.50
5	Dremel 3000 (Cierra manual)	und.	01	S/150.00	S/150.00
6	Taladro BOSCH	und.	01	S/250.00	S/250.00
7	Regla de 30 cm.	und.	01	S/1.00	S/1.00
8	Lapiz HB	und.	01	S/1.00	S/1.00
9	cinta métrica de metal (wincha)	und.	01	S/5.00	S/5.00
TOTAL DE COSTOS (S/.)					S/451.50
I. COSTOS DIRECTOS (Equipos de protección personal)					
N°	Requerimientos	Unidad de medida	Cantidad requerida	Valor Unitario (S/.)	Costo Total del requerimiento (S/.)
1	Gafas de seguridad	und.	01	S/10.00	S/10.00
2	Respirador con doble filtro	und.	01	S/70.00	S/70.00
3	Guantes de Nitrilo	und.	01	S/10.00	S/10.00
4	Zapatos de seguridad	und.	01	S/90.00	S/90.00
TOTAL DE COSTOS (S/.)					S/180.00
II. COSTOS INDIRECTOS					
N°	Requerimientos	Unidad de medida	Cantidad requerida	Valor Unitario (S/.)	Costo Total del requerimiento (S/.)
1	Agua potable en Litros	Litros	20	0.01	S/0.20
2	Pasajes para la compra de materiales	viaje	04	5	S/20.00
3	Viáticos (almuerzo)	viaje	05	8	S/40.00
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS (S/.)					S/60.00