



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“MEJORA DE UN PROCESO PRODUCTIVO DE CULTIVO
HIDROPÓNICO EMPLEADO PARA EL CONSUMO ANIMAL”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Industrial

Autores:

Portero Aponte Flavio Joel

Quimbiamba Cumbal Jorge Vinicio

Tutor:

Ing. MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate

Latacunga - Ecuador

Febrero – 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

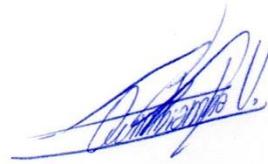
Nosotros **Portero Aponte Flavio Joel** y **Quimbiamba Cumbal Jorge Vinicio**, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“MEJORA DE UN PROCESO PRODUCTIVO DE CULTIVO HIDROPÓNICO EMPLEADO PARA EL CONSUMO ANIMAL”**, siendo el Ing. MSc. Ángel Hidalgo Oñate tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Portero Aponte Flavio Joel

C.I.: 1805384680



Quimbiamba Cumbal Jorge Vinicio

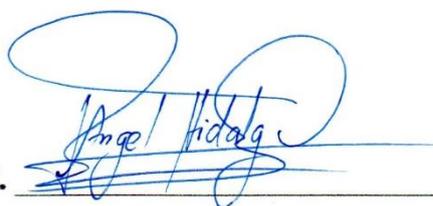
C.I.: 1724844574

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“MEJORA DE UN PROCESO PRODUCTIVO DE CULTIVO HIDROPÓNICO EMPLEADO PARA EL CONSUMO ANIMAL”, de Portero Aponte Flavio Joel y Quimbiamba Cumbal Jorge Vinicio, de la Carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero, 2020

F. 

Tutor

Ing. MSc. Ángel Hidalgo Oñate

CC: 0503257404

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: PORTERO APONTE FLAVIO JOEL Y QUIMBIAMBA CUMBAL JORGE VINICIO, con el título de Proyecto de titulación: **“MEJORA DE UN PROCESO PRODUCTIVO DE CULTIVO HIDROPÓNICO EMPLEADO PARA EL CONSUMO ANIMAL”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Febrero, 2020

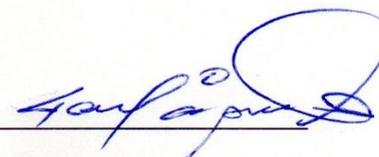
Para constancia firman:

F. 

Lector 1 (Presidente)

PhD. Ángel Medardo Ulloa

CC: 100097032-5

F. 

Lector 2

Ing. MSc. Josué Constante

CC: 050203456-4

F. 

Lector 3

Ing. MSc. Lilia Cervantes

CC: 175727437-6

AGRADECIMIENTO

Gracias Dios, por darme lo más maravilloso que es la vida y poderla disfrutar cada día.

A mis amados padres José Salazar y Natalia Cumbal, por apoyarme incondicionalmente y creer en mí.

Gracias Dios por concederme la dicha de tener una familia unida y muy trabajadora, a la vez que me alentaron a conseguir este sueño.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por abrirme sus puertas, a los buenos docentes, por haberme dado el conocimiento para la formación de un profesional.

A mi excelente tutor Ing. MSc. Ángel Hidalgo Oñate, docente de gran sabiduría, por la guía y orientación en los meses de investigación.

A todos mis compañeros y compañeras, por todos los momentos compartidos.

Jorge Vinicio Quimbiamba

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, pilar fundamental de mi vida que me ha brindado todo su amor, a mi madre Zoila Aponte por todo su cariño y por cuidarme, a mi padre Víctor Portero por enseñarme el valor de la vida y el nunca rendirme para cumplir mis metas, a los dos por ser mis consejeros y siempre brindarme todo su apoyo incondicional.

A mis hermanas que supieron brindarme su ayuda, confianza, gracias a sus consejos, y a todos esos momentos compartidos llenos de risas, enojos y tristeza.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por darme la oportunidad de formarme como profesional, asimismo a mis docentes que me brindaron sus conocimientos y experiencias.

A mi tutor Ing. Ángel Hidalgo Oñate, por brindarme sus guías y pautas en la elaboración del presente trabajo investigativo.

A mis amigos por todos los momentos llenos de felicidad y tristeza que compartido en todos estos años, de igual manera los consejos brindados dentro y fuera de las aulas.

Joel Portero

DEDICATORIA

Con todo mi amor, aprecio y cariño de manera muy especial a mis padres José Salazar y Natalia Cumbal, quienes con su sacrificio y apoyo incondicional brindados a lo largo de mi vida, me dieron fortaleza para seguir adelante en la construcción de mi vida profesional.

A mis segundos padres Alfonso Gallegos y Celia Cumbal, quienes con su apoyo y ejemplo de lucha, me ayudaron a perseverar día tras día, sin dejar decaer un sueño muy anhelado.

A mis angelitos del cielo, mis abuelitos, Mariana de Jesús Molina, y Rafael Cumbal por cuidarme y acompañarme cada día, quienes me enseñaron que en la humildad y sencillez está la grandeza de una persona.

A toda mi familia, quienes me apoyaron en los momentos que necesite.

Jorge Vinicio Quimbiamba

DEDICATORIA

De manera muy especial, con todo el amor y cariño a mis padres, a mi madre Zoila que nunca se dio por vencido a pesar de los malos momentos, por ser tan fuerte, trabajadora y protectora, y ser la mejor madre del mundo, por darme la fuerza de seguir adelante cada día, a mi padre Víctor el sonido de mi vida y del hogar, que desde el cielo me sigue cuidando y brindando su apoyo incondicional, a él que siempre me guio por el camino del bien y me enseñó que a pesar de que la vida es dura se puede ser feliz.

A mis hermanas que me brindaban su amor y aportaban un granito de arena en la formación de mi vida profesional, además de esa palmadita en la espalda que he impulsaban a seguir adelante.

A todos mis familiares y amigos que en su debido momento me brindaron su mano y apoyo.

Joel Portero

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	5
4.1 Beneficiarios directos	5
4.2 Beneficiarios indirectos	5
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
5.1 Formulación del problema	8
6. OBJETIVOS:.....	9
6.1 Objetivo General:	9
6.2 Objetivos Específicos:	9
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	10
7.1 Sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados	10
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA	11
8.1 Los cultivos hidropónicos.....	11
8.1.1 Siembra hidropónica.....	11
8.1.2 Ventajas de los cultivos hidropónicos	11
8.1.3 Producción de follaje verde hidropónico de avena.....	11
8.2 Tipos de sistemas hidropónicos para cultivar	12
8.2.1 Sistema hidropónico de mecha o pabilo	12
8.2.2 Técnica de película nutritiva (NFT)	13
8.2.3 Sistema hidropónico de raíz flotante	13
8.2.4 Aeroponía.....	13
8.2.5 Sistema hidropónico de flujo y reflujó	13
8.2.6 Sistema por goteo	13

8.3 Antecedentes investigativos.....	13
8.3.1 Hidroponía en Ecuador	13
8.4 Automatización	16
8.5 Productividad	17
8.5.1 Productividad Mono factorial	17
8.5.2 Productividad Multifactorial	17
8.6 Capacidad	17
8.6.1 Medidas de rendimiento o diseño.....	17
8.7 Mecánica de fluidos.....	18
9. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS	18
10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	19
10.1 Metodología de investigación	19
10.1.1 Método: Descriptivo	19
10.1.2 Método: Causal.....	19
10.2 Tipo: Causal (explicativa).....	20
10.3 Técnicas de investigación	20
10.3.1 Observación:.....	20
10.4 Instrumentos.....	21
10.4.1 Hoja de control y registro de datos	21
10.4.2 Hoja de control y registro de lote de producción	21
10.4.3 Hoja de control y registro crecimiento de animales	21
10.5 Herramientas	22
10.5.1 Flujograma	22
10.5.2 Diagrama de Pareto.....	22
10.5.3 Histograma	22
10.5.4 Gráfico de líneas.....	24
10.5.5 Software de Diseño AutoCAD	24

10.5.6 Software de programación LOGO soft Comfort	24
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	25
11.1 Objetivo 1: Conocer las condiciones que tenía el proceso productivo del follaje hidropónico manual, para el diseño de riego automatizado.	25
11.1.1 Actividad 1: Analizar las condiciones del antiguo proceso productivo del follaje hidropónico	25
11.1.2 Actividad 2: Medición del volumen de agua en el sistema de riego antiguo	27
11.1.3 Actividad 3: Levantamiento de información de los tiempos de crecimiento y peso del follaje hidropónico.....	29
11.1.4 Actividad 4: Principales causas que afectan el crecimiento	31
11.2 Objetivo 2: Implementar un sistema automatizado de riego, para la optimización del consumo de agua, en el cultivo de follaje hidropónico.	36
11.2.1 Actividad 1: Diseñar y desarrollar la estructura del sistema de riego cerrado.	36
11.2.2 Actividad 2: Diseño y construcción de una estructura metálica.	49
11.2.3 Actividad 3: Programación de un algoritmo que controle el sistema de riego.	53
11.2.4 Mejora del proceso productivo	59
11.3 Objetivo 3: Analizar el proceso productivo de follaje hidropónico implementado, para el control del crecimiento del follaje.	62
11.3.1 Programación de la producción para intercalar la salida del follaje hidropónico	63
11.3.2 Registro del crecimiento del follaje hidropónico	64
11.3.3 Registrar el proceso productivo en hojas técnicas.....	66
11.3.4 Administración de la producción del follaje hidropónico.....	68
11.4 Objetivo 4: Evaluar el valor nutricional del follaje hidropónico obtenido, experimentando con animales herbívoros pequeños.....	68
11.4.1 Actividad 1: Elaboración de hojas de registro.	68

11.4.2 Actividad 2: Registro de pesos iniciales de los animales de ensayo	68
11.4.3 Actividad 3: Verificación de aceptabilidad del alimento de follaje hidropónico de avena por parte de los conejos.	69
11.4.4 Actividad 4: Registro de aumento de pesos de los animales de ensayo	72
11.5 Comprobación de Hipótesis	74
11.5.1 Aumento de la productividad	74
11.5.2 Comparación de la eficiencia del Antiguo vs. Actual, proceso productivo de follaje hidropónico	76
11.5.3 Optimización del recurso hídrico	77
11.5.4 Comparación del aumento de peso del follaje hidropónico en el proceso productivo Antiguo vs. Automatizado	79
11.5.5 Comparación del aumento de altura del follaje hidropónico en el proceso productivo Antiguo vs. Automatizado	80
11.5.6 Comparación de pesos iniciales y finales de los animales de ensayo	82
12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES y ECONÓMICOS)	83
12.1 Impacto Técnico	83
12.2 Impacto Social	83
12.3 Impacto Ambiental	83
12.4 Impacto Económico	83
13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO	84
13.1 Costo Total del Proyecto de Investigación	85
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
14.1 Conclusiones	86
14.2 Recomendaciones	87
15. BIBLIOGRAFÍA	88
16. ANEXOS	91
16.1 Registro del proceso productivo del follaje hidropónico en hojas técnicas	97

16.2 Registro de lotes de producción de follaje hidropónico	104
16.3 Registro de pesos iniciales y consumo del follaje hidropónico	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Objetivos, actividades, resultados y medios de verificación	10
Tabla 2. Datos del crecimiento del follaje hidropónico	29
Tabla 3. Datos del peso del follaje hidropónico	30
Tabla 4. Causas de la baja productividad del follaje hidropónico antiguo..	32
Tabla 5. Factores, número de bandejas con defectos, porcentaje acumulado	33
Tabla 6. Datos de los pesos en las bandejas sembradas.....	34
Tabla 7. Datos para graficar histograma	34
Tabla 8. Cálculo de frecuencias	35
Tabla 9. Características de los aspersores nebulares	38
Tabla 10. Características de goteros	39
Tabla 11. Características de manguera de riego	39
Tabla 12. Características de manguera para succión de agua.....	39
Tabla 13. Coeficientes de rugosidad	42
Tabla 14. Viscosidad dinámica del agua	42
Tabla 15. Factor de Fricción.....	43
Tabla 16. Datos para el cálculo de potencia de la bomba	43
Tabla 17. Características de la bomba	49
Tabla 18. Lista de materiales, herramientas y equipos para el proyecto	51
Tabla 19. Tabla de E/S, descripción de la función de cada entrada y salida	54
Tabla 20. Características del PLC LOGO 230RCE	54
Tabla 21. Características del contactor	55
Tabla 22. Horario de riego	56
Tabla 23. Cronograma de siembra y producción de cultivo hidropónico	63
Tabla 24. Altura de follaje proceso actual.....	64
Tabla 25. Peso de follaje proceso actual	65
Tabla 26. Registro del Proceso Productivo	67
Tabla 27. Dosis de follaje según especie animal	70
Tabla 28. Cantidad de follaje consumido por los animales	71
Tabla 29. Registro de aumento de pesos de los conejos semanalmente	72

Tabla 30. Registro de pesos de los conejos semanalmente	72
Tabla 31. Datos para cálculo de la productividad.....	74
Tabla 32. Comparación de la productividad Antigua vs. Actual	76
Tabla 33. Cantidad de agua en el sistema de riego antiguo	77
Tabla 34. Cantidad de agua en el sistema de riego automatizado	78
Tabla 35. Cantidad de semillas utilizadas	79
Tabla 36. Comparativa peso sistema antiguo y sistema automatizado	80
Tabla 37. Comparativa crecimiento antiguo y nuevo proceso	81
Tabla 38. Costos de Materia Prima.....	84
Tabla 39. Costos de Mano de Obra.....	84
Tabla 40. Costos Indirectos de Fabricación	85
Tabla 41. Costos Totales	85
Tabla 42. Hoja de control y registro de crecimiento del follaje hidropónico	94
Tabla 43. Hoja de control de lotes de producción	95
Tabla 44. Hoja de control y registro de animales	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de sistemas hidropónicos	12
Figura 2. Desarrollo de un proyecto con PLC	16
Figura 3. Ejemplo de paleta de símbolos.....	22
Figura 4. Ejemplo de un Histograma	23
Figura 5. Software de programación LOGO soft Comfort	24
Figura 6. Estructura que tenía el proceso productivo del follaje hidropónico manual	25
Figura 7. Sistema de riego mediante aspersores.....	25
Figura 8. Flujograma del proceso productivo del cultivo hidropónico	26
Figura 9. Proceso productivo del cultivo de follaje hidropónico manual ...	27
Figura 10. Crecimiento del follaje hidropónico antiguo.....	30
Figura 11. Diagrama de Pareto principales causas que afectan al crecimiento del follaje.....	33
Figura 12. Pesos colocados en las bandejas de siembra	35
Figura 13. Flujograma del proceso de la implementación del sistema de riego automatizado	36
Figura 14. Diseño del sistema riego automatizado	37
Figura 15. Aspersores nebulares	38
Figura 16. Goteros.....	38
Figura 17. Sistema de riego	40
Figura 18. Proceso para el cálculo de potencia de la bomba.....	41
Figura 19. Diseño del estante	50
Figura 20. Bandejas plásticas	50
Figura 21. Medidas y corte de piezas metálicas	52
Figura 22. Soldadura de piezas metálicas.....	52
Figura 23. Ensamble mecánico con sistema automatizado	53
Figura 24. Diagrama de conexiones.....	55
Figura 25. Programación LOGO! soft.....	56
Figura 26. Montaje del módulo y todos los circuitos electrónicos	57
Figura 27. Pruebas del sistema de riego automatizado.....	57
Figura 28. Flujograma del proceso productivo del cultivo hidropónico	59
Figura 29. Limpieza de la semilla de avena.....	60

Figura 30. Vitavax para la limpieza de la semilla	60
Figura 31. Reposo de semillas en recipiente con agua	61
Figura 32. Crecimiento del follaje hidropónico	61
Figura 33. Follaje hidropónico de cosecha	62
Figura 34. Crecimiento del follaje hidropónico actual.....	64
Figura 35. Follaje hidropónico	66
Figura 36. Aumento de peso follaje hidropónico actual.....	66
Figura 37. Pesos iniciales de los animales de ensayo	69
Figura 38. Aceptabilidad del follaje hidropónico por parte de los conejos de ensayo.....	71
Figura 39. Aumento de peso semanalmente de los conejos	73
Figura 40. Pesos finales de animales de ensayo	73
Figura 41. Porcentajes del sistema de riego antiguo	78
Figura 42. Porcentajes del sistema de riego automatizado	79
Figura 43. Comparación aprovechamiento de la semilla	80
Figura 44. Comparación altura.....	81
Figura 45. Pesos iniciales y finales de los animales de ensayo	82

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Productividad	17
Ecuación 2. Utilización	17
Ecuación 3. Eficiencia	18
Ecuación 4. Cálculo de caudal	28
Ecuación 5. Cálculo de potencia de una bomba	44
Ecuación 6. Ecuación general de la energía	44
Ecuación 7. Ecuación pérdida por fricción	46
Ecuación 8. Ecuación de Reynolds	46
Ecuación 9. Ecuación factor de fricción.....	47

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTA DE CIENCIA DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: MEJORA DE UN PROCESO PRODUCTIVO DE CULTIVO HIDROPÓNICO EMPLEADO PARA EL CONSUMO ANIMAL.

Autores:

Portero Aponte Flavio Joel

Quimbiamba Cumbal Jorge Vinicio

RESUMEN

La producción agrícola de follaje para el consumo animal en varios sectores del Ecuador es reducida, debido a malas condiciones de los suelos, ya sea por su aridez o por la falta de agua de riego. Por este motivo, el uso de la hidroponía es una de las alternativas para afrontar este problema. El propósito que tiene el presente trabajo de investigación, ha sido mejorar el sistema de producción de follaje hidropónico de avena, para que cuente con un sistema de riego automatizado por goteo y aspersion en un ciclo cerrado; de esta manera se ha planteado reducir las pérdidas excesivas de agua y alimentar a tres conejos, empleados como animales de prueba, con el follaje hidropónico de avena obtenido.

Al ser una investigación causal y para cumplir con los objetivos del proyecto, se elaboró el diseño de la estructura y el sistema de riego, además se ha aplicado técnicas de observación e instrumentos como hojas de control y registro, también se hizo uso de herramientas de la ingeniería para la obtención y representación de datos y resultados como flujogramas, Histogramas, diagramas de Pareto, como también, un software de programación de PLCs y diseño estructural. Una vez aplicados los recursos de investigación, se identificaron los puntos críticos del sistema antiguo de producción de follaje que fueron: un sistema de riego ineficiente, cantidades de agua y tiempos inadecuados, que afectaban la producción y calidad del follaje hidropónico.

Finalmente, con la implementación del diseño y la automatización del sistema de riego, se mejoró el proceso productivo en un 29,85 %, además se redujo el consumo de agua en un 51 %, se obtuvo un follaje de avena de mejor calidad y los animales de ensayo crecieron de mejor manera con el alimento del follaje hidropónico, en comparación a un sujeto de prueba referencial.

Palabras clave: Hidropónico, Follaje de avena, Sistema de riego automatizado, Productividad.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTA DE CIENCIA DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

THEME: IMPROVEMENT OF A PRODUCTIVE PROCESS OF HYDROPONIC CULTIVATION USED FOR ANIMAL CONSUMPTION.

ABSTRACT

Authors:

Portero Aponte Flavio Joel

Quimbiamba Cumbal Jorge Vinicio

Agricultural production of foliage for animal consumption in several sectors of Ecuador is reduced due to poor soil conditions, either due to its aridity or lack of irrigation water. For this reason, the use of hydroponics is one of the alternatives to afford the problem. The purpose of this research work has been to improve the hydroponic foliage production system of oats, so that it has an automated drip and sprinkler irrigation system in a closed cycle; in this way it has been proposed to reduce excessive water losses and feed three rabbits, used as test animals, with the hydroponic foliage of oats obtained.

Since a causal investigation and to carry out the objectives of the project, designs of structures and irrigation systems were developed, in addition, observation techniques and instruments such as control and registration sheets have been applied, also, engineering tools were used for the obtaining and representing data and results such as flowcharts, Histograms, Pareto diagrams, also a PLC programming software and structural design. Once the research resources were applied, the critical points of the old foliage production system were identified: an inefficient irrigation system, inadequate water quantities and times, which affected the production and quality of hydroponic foliage.

Finally, with the implementation of the design and automation of the irrigation system, the production process was improved by 29.85%, in addition the water consumption was reduced by 51%, better quality oat foliage was obtained and the test animals grew best with hydroponic foliage food, compared to a referential test subject.

Keywords: Hydroponic, Oat foliage, Automated irrigation system, Productivity



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del Resumen del Proyecto de Investigación al Idioma Inglés presentado por los estudiantes egresados de la Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **PORTERO APONTE FLAVIO JOEL Y QUIMBIAMBA CUMBAL JORGE VINICIO**, cuyo título versa “**MEJORA DE UN PROCESO PRODUCTIVO DE CULTIVO HIDROPÓNICO EMPLEADO PARA EL CONSUMO ANIMAL**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Febrero del 2020

Atentamente,


Lic. Alison Mena Barthelotty, MSc.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.E. 0501801252



CENTRO
DE IDIOMAS

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto: Mejora de un proceso productivo de cultivo hidropónico empleado para el consumo animal.

Fecha de inicio: 23 de Septiembre del 2019

Fecha de finalización: 24 de Enero del 2020

Lugar de ejecución: Barrió El Chan, Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Zona 3.

Facultad que auspicia: Facultad Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia: Ingeniería Industrial

Equipo de trabajo:

Tutor: Ing. MSc. Ángel Hidalgo Oñate

Correo: angel.hidalgo@utc.edu.ec

Investigador 1: Quimbiamba Cumbal Jorge Vinicio

Correo: jorge.quimbiamba4574@utc.edu.ec

Investigador 2: Portero Aponte Flavio Joel

Correo: flavio.portero4680@utc.edu.ec

Área de conocimiento:

Campo Amplio: Ingeniería, industria y construcción

Campo Específico: Industria y Producción

Campo detallado: Producción Industrial

Línea de investigación: Procesos Industriales

Sub línea de investigación de la Carrera: Administración y gestión de la producción

2. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El presente proyecto denominado “Mejora de un proceso productivo de cultivo hidropónico empleado para el consumo animal”, realizado en el sector El Chan, cantón de Latacunga, provincia de Cotopaxi, tiene como motivo principal optimizar el recurso hídrico y aumentar la productividad del follaje hidropónico de avena.

El proceso antiguo está compuesto de un procedimiento que no enfatizaba mucho la limpieza de la semilla de avena, su infraestructura compuesta por estanterías de madera que presentaban problemas de estabilidad y descomposición; de igual manera un sistema de riego manual, el cual, debe ser conectado a la línea de suministro de agua y que genera una pérdida total del agua. Estas instalaciones generaban que el follaje crezca de una manera deficiente, con presencia de moho y de insectos. Todo este sistema se encontraba implementado dentro de un invernadero el cual generaba una excesiva cantidad de temperatura.

Para dar inicio e implementar el proyecto, se realizó un análisis del proceso antiguo para saber los problemas que en él existían, y poder actuar sobre ellos, además de conocer la capacidad del sistema implementado, la altura y peso máxima del follaje hidropónico manual y el consumo de agua para el riego de las semillas, para ello se empleó la investigación descriptiva, que sirve para describir el comportamiento o estado de una situación en particular. Estos resultados ayudan a especificar la situación inicial de la que partirá el nuevo proyecto.

Como técnica se aplica la observación, ya que, permite visualizar de manera objetiva como se va desarrollando el proceso, y de igual manera, cómo va creciendo, respondiendo y reaccionando el follaje de avena, en conjunto con las hojas técnicas, se lleva un registro de crecimiento del follaje y del lote de producción; por otra parte, en conjunto con la observación, se aplicó la investigación causal que se centra en ver la relación causa efecto de una experimentación, esto para verificar si las variables que se está controlando afectan al crecimiento del follaje, así como también, el efecto en los animales de prueba, a través de un registro de control y crecimiento.

El principal enfoque del proyecto, es el desarrollo de un diseño, la instalación y automatización de un sistema de riego mediante goteo y aspersion en un ciclo cerrado, adecuado para el crecimiento del follaje hidropónico de avena, para que ayude de manera

eficiente a la dispersión de agua por las bandejas; además de una correcta planificación en la producción de follaje para poder abastecer de alimento a los animales de ensayo.

El proyecto está instalado bajo una cubierta al aire libre, su estructura se construyó con tubo y ángulos de hierro, el sistema de riego está elaborado con tubería de plástico y demás accesorios, este sistema está compuesto por dos tipos de riego, un sistema flauta, que funciona con goteros y otro que funciona con aspersores nebulizadores, para un mejor desarrollo del follaje hidropónico de avena y para evitar que se llenen de insectos (moscas), la estructura está cubierta por un plástico negro.

En el sistema, el agua es bombeada desde un contenedor, con una bomba de una potencia de 1 HP, la instalación de la bomba, cuenta con una conexión de reflujo que evita que el sistema esté en constante bombeo directo y genere fallos y daños en la instalación. El dispositivo con el que se controla la activación de la bomba se lo hace mediante un PLC LOGO 230 RCE, el cual, emite la orden de encendido y apagado a la bomba en diferentes horas del día.

Mediante la implementación de un sistema de riego automatizado y una correcta planificación en la producción de follaje hidropónico de avena, se optimizó el recurso del agua de manera considerable, además que, el follaje al ser limpiado y pre germinado de mejor manera, no presenta plagas ni moho, tienen una mejor presentación, además de ser más voluminoso.

Este follaje de avena, resulto ser un alimento muy beneficioso, pues, se realizó una experimentación con cuatro conejos, tres de ellos con una dosis de follaje hidropónico diario y el otro con una dosis de yerba normal (alfalfa), los resultados mostraron que los tres conejos que consumieron follaje hidropónico tuvieron un mayor peso al final del ensayo.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La mala distribución y escasos recursos de agua, suelo seco, veranos muy fuertes y poco alimento para el consumo animal, son aspectos que caracterizan al Barrio El Chan, correspondiente a la Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga en la Provincia de Cotopaxi, y punto de partida para el proyecto.

El follaje de avena es el conjunto de hojas surgidas de las plantas de avena, que es utilizada de manera tradicional como alimento para los animales, el follaje de avena que es cultivada de manera repetitiva en los terrenos pierden sus nutrientes al reiterar la misma siembra, así mismo el dinero para cubrir los costos de mano de obra para sembrar, fumigar, controlar de plagas, enfermedades y cosechar que este proceso conlleva para producir el follaje, son elevados; la dificultad en el tiempo exacto de riego que necesita para evitar el estrés hídrico. Con el empleo del cultivo de follaje hidropónico, se evita el uso de suelo, puesto que, en el área en donde se lo implemente se puede controlar con nutrientes que se reponen y se renueva cuando sea necesario, además que, no se necesita de mucho capital para producir el follaje, se puede tener el control del tiempo exacto de riego que realmente necesita, además, las plagas y enfermedades pueden ser controladas con anterioridad.

El presente proyecto está enfocado a mejorar el proceso productivo de cultivo hidropónico, mediante la automatización en el sistema de riego y una adecuada planificación en el proceso productivo, su aporte tiene el objetivo de optimizar recursos, así como también, producir un follaje de avena de alto valor nutricional y calidad, durante todo el año, sin depender de las condiciones climáticas en que se encuentre el sector, que será empleado para el consumo animal, beneficiando a muchas familias del sector.

Con el empleo de un sistema de riego automatizado y localizado, haciendo hincapié a los conocimientos técnicos, se puede efectuar en cualquier época del año, evitando la costumbre de los agricultores a sembrar solo en temporadas de lluvia, pues, cuando el clima no es apto y los suelos están desgastados, se puede producir follaje por medio de la hidroponía, la cual es una técnica que no necesita aplicaciones excesivas de productos químicos y es adaptable en espacio reducido.

El cultivo hidropónico en conjunto con un sistema de riego automatizado y una adecuada planificación en el proceso productivo, es una alternativa para mejorar la agricultura

tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociado la característica del suelo, o en su totalidad dejando de depender del suelo, aplicando diversos elementos tecnológicos y diferentes métodos que facilitan el trabajo se puede conseguir un producto de calidad.

Finalmente, se pretende evaluar el valor nutricional del follaje hidropónico de avena obtenido, mediante la experimentación en animales herbívoros pequeños, observando y registrando el crecimiento y desarrollo del animal en un determinado tiempo.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Con el presente proyecto se identifican los beneficiarios directos e indirectos detallados a continuación.

4.1 Beneficiarios directos

- Se benefician de forma directa alrededor de 20 familias que se dedican a la siembra de cultivos y crianza de animales, como pequeños productores de El Barrio El Chan, correspondiente a la Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga en la Provincia de Cotopaxi.

4.2 Beneficiarios indirectos

- Los beneficiarios indirectos constituyen las personas que proveen de semilla de avena, para el proceso productivo de cultivo hidropónico.
- Locales comerciales que abastezcan de insumos agrícolas.
- Intermediarios que quieran vender el follaje hidropónico en las ferias en los mercados ganaderos de los barrios Zumbalica y Cuatro Esquinas pertenecientes a la parroquia Eloy Alfaro.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A nivel mundial se pierden anualmente por tala, incendio y prácticas de agricultura alrededor de 10.000 millones de hectáreas de bosque, la mayor afectación de pérdida está en Europa, donde antes de la civilización existía un gran bosque que paulatinamente se extinguió, pues la presión humana debido al desarrollo agrícola, industrial y urbano acaban con 15.000 millones de ejemplares; la pérdida neta, compensando con la aparición de nuevos árboles y la reforestación, es de 10.000 millones de ejemplares, por tanto el número de árboles del planeta se ha reducido en un 46%, casi la mitad de lo que hubo. (El Telegrafo, 2019)

En el Ecuador existen 7.650 millones de árboles en 12,7 millones de hectáreas de bosque, pero, entre los años 2008 – 2014, se perdieron 47.000 hectáreas de bosque y manglares, porque dichas áreas se dedicaron a fines agropecuarios y gran parte del contraste se debe a factores naturales, pero también al efecto de la urbanización pues cuando más aumenta la población humana, disminuye la cuenta de árboles. (El Telegrafo, 2019)

El futuro de las grandes ciudades es actualmente uno de los temas de debate, pues se manifiesta que en el año 2050 el 80% de la población mundial residirá en centros urbanos, lo que pone en duda el modelo de crecimiento actual, que no está pensado para satisfacer las nuevas necesidades de la población, puesto que, el suministro de agua, energía, el transporte, la gestión de residuos o los propios sistemas constructivos deberán cambiar para acercarse a un modelo más sostenible, para dar forma a lo que se ha dado en llamar las ciudades inteligentes. (Beltrano & Gimenez, 2015)

El uso del agua sin restricciones ha crecido a nivel global a un ritmo de más del doble del aumento de la población en el siglo XX, puesto que, la presión demográfica, el ritmo del desarrollo económico, la urbanización y la contaminación, están ejerciendo una presión sin precedentes, sobre todo, la agricultura que es el sector económico en el que la escasez de agua tiene más relevancia, pues, la agricultura es responsable del 70% de la extracción de agua dulce, además que, con el aumento del consumo de alimentos en casi todas las regiones del mundo, se espera que para el 2050 sea necesario producir 1 billón de toneladas de cereal y 200 millones de toneladas de carne más al año para poder satisfacer la creciente demanda de alimentos. (FAO, 2013)

La agricultura tiene tres opciones para gestionar la demanda de agua total dentro del dominio hídrico, la primera opción más evidente es aumentar la eficiencia del uso del agua, reduciendo las pérdidas en el proceso de producción, por ejemplo, reducción de fugas o pérdidas por evaporación durante el transporte o la aplicación del agua, así mismo, la segunda opción es obtener más cultivo o más valor por volumen de agua aplicado, y finalmente la tercera opción es re-asignar el agua a usos de más valor mediante transferencias intersectoriales o desviando el agua a cultivos más valiosos. (FAO, 2013)

En los últimos años, el área mundial destinada a la producción de la hidroponía se ha incrementado considerablemente, con un estimado de más de 50.000 hectáreas que se dedican a la producción de la hidroponía en el mundo. (Beltrano & Gimenez, 2015)

El proyecto de investigación se genera a partir de la identificación del problema actual que está enfrentando el sector El Chan en el Cantón Latacunga, que es la falta de alimento para los animales, pues en estos tiempos la escasa disponibilidad de agua de riego impide que los suelos sean más fértiles, debido a la erosión y en muchas de las ocasiones el suelo se mantiene árido consecuencia de la llegada de los veranos muy fuertes, limitando la producción de pasto en los terrenos por la resequedad de suelo que produce.

Muchos de los pobladores cuentan con pocos espacios cultivables de terreno acompañado de la gran cantidad de tiempo que tarde en crecer el pasto en el suelo para los animales y ante esto, implica un mayor gasto en alternativas de alimento.

Ante este panorama de la escasez de agua de riego, suelo seco, poco espacio cultivable, veranos muy fuertes y poco alimento para el consumo animal son aspectos que caracterizan al sector de El Chan, se considera que el follaje hidropónico es una buena alternativa para enfrentar los problemas que hoy por hoy el sector enfrenta y seguirá enfrentando posiblemente en el futuro.

En el sector El Chan, correspondiente a la Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, en una propiedad, se efectúa el proceso productivo del follaje hidropónico de manera manual. Y continuamente el cultivo ha tenido problemas en el control del proceso de producción, reduciendo la posibilidad de obtener follaje de mayor calidad, gastos, espacio, tiempo y limitando la optimizando recursos como el agua en base a los requerimientos necesarios que el cultivo de follaje realmente necesita.

Dado que el sistema de riego con el que cuenta el proceso productivo actual del follaje hidropónico es manual, no se tiene el control exacto en los tiempos de riego, por lo que el operador se demora un tiempo mayor al verificar si ya se encuentra húmedo, y además, depende de la movilización para abrir y cerrar la válvula.

La demanda alimentaria de los animales depende mucho de la planificación y el control del proceso de producción del follaje hidropónico, para abastecer de alimento a los animales durante todos los días, puesto que con la exactitud con la que se produzca el follaje dependerá de la buena alimentación, crecimiento y desarrollo del animal de manera eficiente y eficaz.

5.1 Formulación del problema

¿Cómo mejorar el proceso productivo del cultivo hidropónico de avena, empleado en la alimentación de animales?

6. OBJETIVOS:

6.1 Objetivo General:

Mejorar el proceso productivo del follaje hidropónico de avena, para el consumo animal, mediante la automatización del sistema de riego.

6.2 Objetivos Específicos:

1. Conocer las condiciones que tenía el proceso productivo del follaje hidropónico manual, para el diseño de riego automatizado.
2. Implementar un sistema automatizado de riego, para la optimización del consumo de agua, en el cultivo de follaje hidropónico.
3. Analizar el proceso productivo de follaje hidropónico implementado, para el control del crecimiento del follaje.
4. Evaluar el valor nutricional del follaje hidropónico obtenido, experimentando con animales herbívoros pequeños.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

7.1 Sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados

Tabla 1. Objetivos, actividades, resultados y medios de verificación

OBJETIVO	ACTIVIDAD	RESULTADO	MEDIOS DE VERIFICACIÓN
1. Conocer las condiciones que tenía el proceso productivo del follaje hidropónico manual, para el diseño de riego automatizado.	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de las condiciones del antiguo proceso productivo del follaje hidropónico. • Medición del volumen de agua en el sistema de riego manual. • Levantamiento de información de los tiempos de crecimiento del follaje. • Evaluación de las principales causas que afectan el crecimiento del follaje hidropónico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de diagrama de flujo del proceso productivo del cultivo hidropónico. • Cálculo del caudal de agua que se utilizaba. • Condiciones de estructuras deterioradas. • Gráficos indicadores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación del diagrama de flujo • Valores de la cantidad de agua suministrada. • Fotografías. • Histogramas, tablas de datos, diagrama de Pareto.
2. Implementar un sistema automatizado de riego, para la optimización del consumo de agua, en el cultivo de follaje hidropónico.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y desarrollo de la estructura del sistema de riego cerrado. • Diseño y construcción de una estructura metálica. • Programación de un algoritmo que controle el sistema de riego. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de la estructura metálica. • Sistema de riego por goteo y aspersión en un ciclo cerrado. • Sistema de riego automatizado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de los planos en AutoCAD. • Montaje del módulo y todos los circuitos eléctricos. • Fotografías.
3. Analizar el proceso productivo de follaje hidropónico implementado para el control del crecimiento follaje.	<ul style="list-style-type: none"> • Programación de la producción para intercalar la salida del follaje hidropónico • Elaboración de hojas de registro. • Registro del proceso productivo en hojas técnicas. • Administración de la producción del follaje hidropónico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Base de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de crecimiento
4. Evaluar el valor nutricional del follaje hidropónico obtenido, experimentando con animales herbívoros pequeños.	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de hojas de registro. • Registro de pesos iniciales de los animales de ensayo. • Registro de aumento de pesos de los animales de ensayo. • Verificación de aceptabilidad del alimento de follaje hidropónico de avena, por parte de los animales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Base de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de pesos de los animales. • Gráficas de aceptabilidad del follaje. • Registro incremento de pesos.

Elaborado por: Autores

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

8.1 Los cultivos hidropónicos

El término “hidropónico” fue utilizado por primera vez en 1930 para denominar un sistema de producción comercial de alimentos donde se trabaja en agua (hidro= agua; ponos= labor). La cual es una descripción más práctica, para hacer crecer las plantas sin suelo, en una solución de agua y nutrientes, puesto que es una forma más eficiente y productiva que se lo puede realizar en menor tiempo y con menos esfuerzo para el horticultor. (Bosques Vargas, 2010)

8.1.1 Siembra hidropónica

Teóricamente se puede sembrar de todo siempre y cuando se supla lo necesario para que el cultivo se desarrolle óptimamente, pues los usos más comunes para estos sistemas son la siembra de hortalizas, algunas frutas y la producción comercial de flores de corte, sin embargo, algunos cultivos no son costo efectivo hasta que se conozca la forma apropiada de su manejo y se simplifique su producción. (Bosques, 2010, pág. 32)

8.1.2 Ventajas de los cultivos hidropónicos

Las principales ventajas de los cultivos hidropónicos, es que son cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación, con una reducción de costos de producción, permite producir cosechas en contra estación, se lo puede realizar en un espacio pequeño, ahorro de agua, ahorro de fertilizantes e insecticidas, además que, se evita la maquinaria agrícola como tractores y rastras, se tiene el completo control en el manejo de limpieza e higiene en el proceso productivo, tiene un alto porcentaje de automatización, una mejor y mayor calidad del producto, altos rendimientos por unidad de superficie, aceleramiento en el proceso del cultivo, posibilidad de cosechar repetidamente la misma especie de planta el mismo año, finalmente se puede reducir el uso de productos químicos. (Beltrano & Gimenez, 2015)

8.1.3 Producción de follaje verde hidropónico de avena

Según Romero (2015), menciona que el follaje verde hidropónico de avena, se produce en varios países como España, Holanda, Argentina, Colombia, Ecuador, como una alternativa para complementar la alimentación de vacas lecheras y según evaluaciones realizadas, se ha demostrado que el follaje de avena, aumenta mayor respuesta fisiológica en otras especies como conejos, caballos, borregos y tasa de retorno y mediante un

análisis del follaje hidropónico de avena, determinó que el contenido nutricional respecta a lo siguiente: 20% de proteína, 18% materia seca, 48% fibra cruda, vitamina B₁, B₂ y ácido fólico y minerales como calcio, potasio, sodio, magnesio y fosforo; así mismo, mediante un análisis se experimentó los beneficios del follaje hidropónico de avena, en animales como, borregos con un aumento significativo de peso vivo, en vacas con un aumento de la producción de leche en cantidad como también calidad y en conejos, mediante la sustitución del 75% de concentrados de follaje hidropónico, sin afectar la ganancia de peso.

8.2 Tipos de sistemas hidropónicos para cultivar

En la actualidad existen diversos sistemas hidropónicos para cultivar (*ver Figura 1*), para establecer un sistema, es necesario tener en cuenta el capital disponible, el manejo de sustrato y también las plantas que se desea cultivar.

Figura 1. Tipos de sistemas hidropónicos



Fuente: (Generación Verde, 2017)

8.2.1 Sistema hidropónico de mecha o pabilo

La presente técnica puede usarse en plantas que no requieren mucha agua, puesto que no hace uso de una bomba para transportar la solución nutritiva desde el depósito hasta las charolas o bandejas de crecimiento, por ende, es considerada una de las técnicas más simples, pues, las plantas reciben la solución nutritiva desde mechas. (Generación Verde, 2017)

8.2.2 Técnica de película nutritiva (NFT)

Llamada así por sus siglas en inglés *nutrient film technique*, que significan técnica de láminas de nutrientes, en la cual, las plantas reciben los nutrientes del agua que se recircula constantemente a través de los tubos de PVC en donde están colocadas plantas. (Bolivia Hidropónica, 2012)

8.2.3 Sistema hidropónico de raíz flotante

Es un método en el cual las plantas se encuentran en una lámina tipo balsa que flota sobre la solución nutritiva, en la cual, las raíces de las plantas deben estar sumergidas y a través de una bomba de aire se proporciona el oxígeno necesario para el buen crecimiento. (Generación Verde, 2017)

8.2.4 Aeroponía

En este método en cambio, solo se hace una nebulización de nutrientes a la raíz.

8.2.5 Sistema hidropónico de flujo y reflujo

Es un sistema hidropónico de bajo costo y de gran eficiencia pues permite cultivar plantas de forma automatizada, en este sistema el agua con nutrientes se bombea a las bandejas con agujeros, luego el agua se drena lentamente y vuelve al depósito mediante la fuerza de gravedad, para luego dejar un periodo de tiempo para que las raíces se sequen y se oxigenen. (SEEDS, 2018)

8.2.6 Sistema por goteo

Con el presente método, se permite aprovechar los nutrientes de manera más eficiente, pues, mediante una bomba, permite que la solución nutritiva gotee sobre las partes inferiores de las plantas y es posible recuperar el exceso de solución nutritiva para reutilizarla. (Generación Verde, 2017)

8.3 Antecedentes investigativos

8.3.1 Hidroponía en Ecuador

La agricultura es de vital importancia en el Ecuador, ya que juega un papel importante en la economía del país, es una de las principales fuentes de empleo en el país representando el 25% de la población económicamente activa, esto quiere decir que alrededor de 1,6 millones de personas laboran en este sector.

Muchos factores como la sequía, suelos áridos e improductivos o falta de espacios, son los que impulsan que varios ecuatorianos a buscar alternativas para la generación de cultivo, muchos de ellos lo hacen por su cuenta, así mismo gobierno ecuatoriano, da auspicio a la generación de estos espacios por medio del Ministerio de Agricultura y Ganadería, impulsando proyectos como el cultivo hidropónico de frutilla y el cultivo de lechuga en El Oro y el plan piloto para el cultivo de follaje hidropónico elaborado en Cotopaxi. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019)

De igual manera, existen cultivos hidropónicos elaborados por personas de manera artesanal, en las cuales existen una gran cantidad de cultivos pero los más destacables son; el forraje verde hidropónico y cultivos de hortalizas elaborado en Cuenca como proyecto de estudiantes de la Universidad Politécnica y cultivos mediante hidroponía que se realiza en Quito.

El Ecuador cuenta con empresas que dedican a la siembra de productos de manera ya industrializada, un ejemplo de estas es la empresa Greenlab, la cual, es un invernadero experimental que comercializa productos hidropónicos en el mercado del Ecuador. (Greenlab, 2016)

Otra empresa ecuatoriana que utiliza el cultivo hidropónica de manera industrializada, es la empresa INCUSA, que está ubicada en Azuay, una empresa dedicada a la implementación de cultivos hidropónicos de fresas, hortalizas, tomates de mesa y forraje verde. (Incusa, 2019)

8.3.1.1 El Oro promueve cultivo hidropónico de lechugas

Un proyecto a la que el MAGAP da asistencia técnica y capacitaciones es a un productor independiente de El Oro, de la parroquia El Cambio, en la que realiza una producción de cinco mil lechugas en un invernadero hidropónico establecido en la terraza de su vivienda, el procedimiento que utiliza para el cultivo de sus lechugas, es un sistema de tuberías por medio del cual brindan a la planta de micro y macro nutrientes en soluciones. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2017)

8.3.1.2 Cultivo hidropónico de frutilla

El sistema de cultivo y regadío inició principalmente para el cultivo hidropónico de lechuga que existe en el sector, su procedimiento está comprendido en tres métodos: sustrato con riego por goteo, raíz flotante y cultivo por técnica de la película nutritiva, al

ver un óptimo crecimiento que daba estos sistemas de cultivo, empezó la propuesta del cultivo de frutilla hidropónica con ayuda y asistencia técnica ofrecida por el MAGAP. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018b)

8.3.1.3 Plan piloto para sistema de cultivo hidropónico de pasto en Cotopaxi

En la provincia de Cotopaxi con el propósito de innovar y mejorar la calidad del alimento para el ganado, el MAGAP incentiva a un plan piloto para la generación de follaje hidropónico, este plan se ejecuta en la parroquia Pastocalle, con la participación de los pequeños productores del sector, el sistema de cultivo se aplica de manera artesanal en una infraestructura básica de semilla, el objetivo es generar follaje que ayude a la producción de mayor cantidad de leche en ganado vacuno y en la ganancia de peso en animales como cerdos y cuyes. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018)

8.3.1.4 Sistemas de cultivos hidropónicos en Quito

Como una nueva forma de cuidar el medio ambiente, el cultivo hidropónico es una forma de cultivar plantas utilizando el agua en vez de suelo agrícola, frase que la Unidad Ejecutora de Comercio Popular del Municipio de Quito, usaba en capacitaciones para aprender a generar sus propios alimentos de forma más limpia, segura y a bajo costo mediante el cultivo hidropónico, capacitaciones que se realizaban en el CCA Montufar y el Chiriyacu donde se mostraba ejemplos de sistemas de cultivos hidropónicos y como elaborarlos. (Diario La Hora, 2011)

Lo que busca esta unidad es que, se genere conciencia y que mediante el proyecto agricultura urbana, las personas que no cuenten con un terreno para sembrar hagan uso de este método y que espacios como terrazas sean usados como áreas de cultivo hidropónico.

8.3.1.5 Cultivo de productos mediante la hidroponía en Cuenca

Los cultivos hidropónicos tienen más aceptación en los hogares cuencanos, un claro ejemplo se encuentra ubicada en la parroquia rural de El Valle al sureste de la capital azuaya, donde dos profesionales elaboraron un sistema de cultivo sin suelo, que consiste en una granja de carácter demostrativo de varios cultivos, que reemplazan el suelo por agua y las plantas crecen con el sistema de estanterías de tubo PVC por donde fluye agua con nutrientes, uno de los beneficios de este sistema es la reducción del espacio y sobre

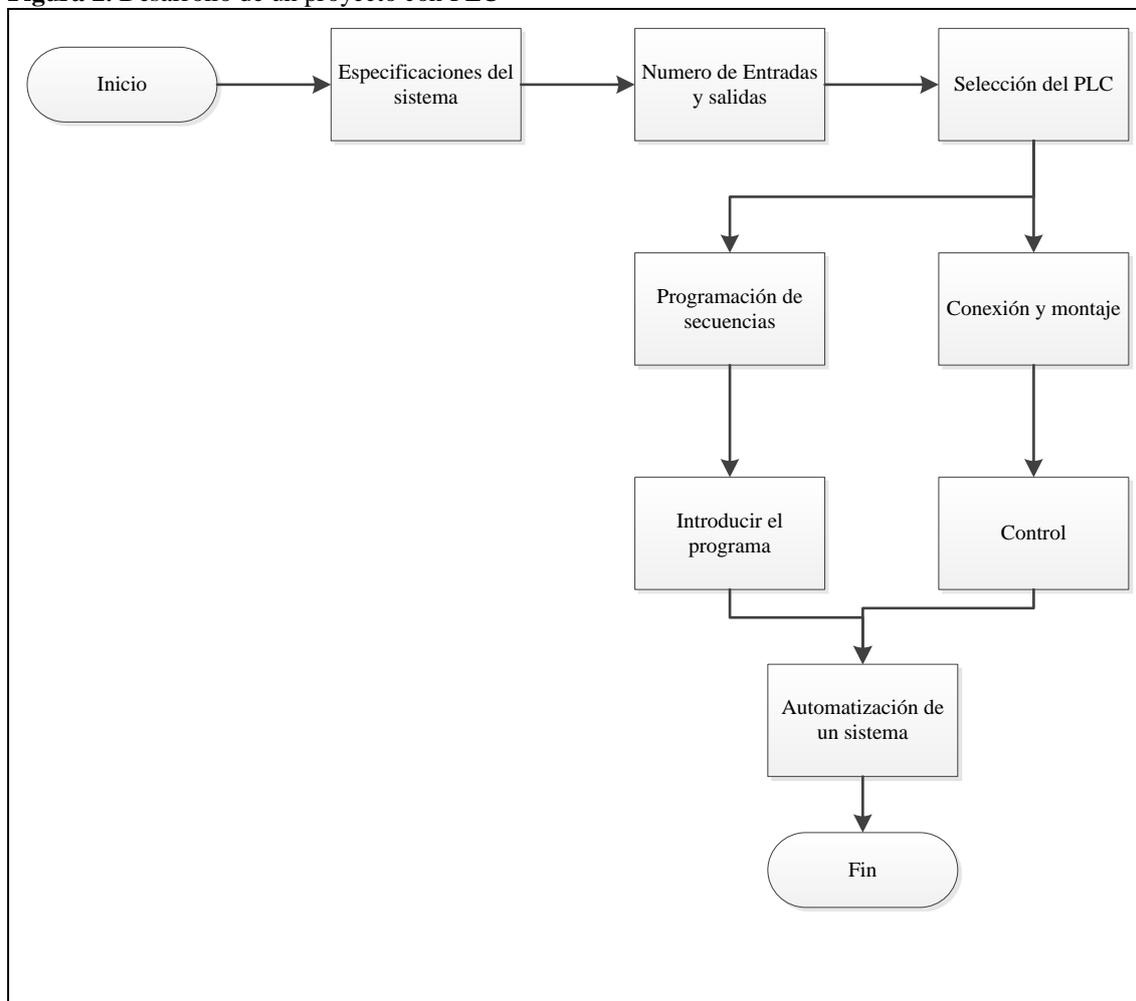
todo, las plantas están menos expuestas a contraer enfermedades por la reducción de sustancias químicas y fertilizantes. (EL Comercio, 2015)

8.4 Automatización

Es la tecnología que permite realizar unas actividades de un proceso sin la necesidad de la fuerza humana, a través de un controlador lógico programable (PLC).

La automatización es un sistema donde se transfiere tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. (Maldonado, 2014, pág 28)

Figura 2. Desarrollo de un proyecto con PLC



Elaborado por: Autores

8.5 Productividad

La productividad es la relación entre lo producido y los factores utilizados, tales como: mano de obra, materia prima, energía, agua y muchos factores más. (Bruno, 2019).

Ecuación 1. Productividad

$$Productividad = \frac{Producción\ obtenida}{Factores\ Utilizados} \quad (1)$$

Fuente: (Bruno, 2019)

8.5.1 Productividad Mono factorial

Es la razón entre la cantidad producida y un solo tipo de insumo, ya sea mano de obra, materia prima, insumos, capital.

8.5.2 Productividad Multifactorial

Es la razón entre la productividad neta y la suma asociada de los insumos, mano de obra y capital. (Bruno, 2019)

8.6 Capacidad

La capacidad es el volumen de producción o número de unidades que se puede alojar, recibir, almacenar o producir, en una instalación, en un periodo de tiempo específico, así la capacidad de diseño o eficiente, es la producción máxima teórica de un sistema en un periodo dado bajo condiciones ideales, mientras que la capacidad efectiva, es la capacidad que la empresa espera alcanzar dadas las restricciones operativas actuales y la capacidad real es la capacidad que realmente la instalación produce considerando además los tiempos improductivos (Carro & Daniel, 2012).

8.6.1 Medidas de rendimiento o diseño

La utilización es el porcentaje de la capacidad de diseño que realmente se logra y la eficiencia es el porcentaje de la capacidad efectiva que se alcanza en realidad.

Ecuación 2. Utilización

$$(Utilización) = \left(\frac{producción\ real}{Capacidad\ proyectada} \right) * 100 \quad (2)$$

Ecuación 3. Eficiencia

$$(Eficiencia) = \left(\frac{producción\ real}{Capacidad\ efectiva} \right) * 100 \quad (3)$$

Fuente: (Carro & Daniel, 2012)

8.7 Mecánica de fluidos

El desplazamiento de fluidos, se desarrollan normalmente en sistemas de flujo que depende del diámetro y longitud de la manguera, válvulas, la altura que debe elevarse, la presión con que se requiere al final y el caudal; una vez conocido el punto de instalación de la bomba, se debe calcular la potencia de la misma, con un balance de energía mecánica entre los puntos por donde va a circular el fluido, las formas de impulsar un fluido a través de una conducción son muy variadas, aunque básicamente son por deslizamiento volumétrico de fluidos, ya sea mecánicamente o con la ayuda de otro fluido, así también por impulsión mecánica, mediante la acción de la fuerza centrífuga como las turbo bombas, ventiladores y turbocompresores. (Martin, Salcedo, & Font, 2011)

9. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

“La automatización del proceso productivo de follaje hidropónico, empleado en la alimentación de animales, permitirá incrementar su productividad sin perder las características nutritivas del follaje.”

Variable independiente

Automatización de los procesos productivos.

Variable dependiente

Productividad del follaje hidropónico.

10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1 Metodología de investigación

10.1.1 Método: Descriptivo

Consiste en evaluar ciertas características de una situación particular en uno o más puntos del tiempo, es una investigación que analiza los datos reunidos para describir, así, cuales variables están relacionadas entre sí, también, describe una situación, fenómeno, proceso o hecho social para formular a base de ello, hipótesis precisas. (Rivadeneira Rodríguez, 2015)

Lo principal es describir situaciones y eventos, esto quiere decir cómo es y se manifiesta determinado fenómeno. Los estudios descriptivos ayudan a especificar toda esta información relevante de cómo va creciendo, respondiendo y reaccionando el follaje. Con la aplicación de este método se logra medir o evaluar diversos aspectos, dimensiones y componentes del lote de follaje que se cultivó. Desde el punto de vista científico, describir es medir y todo lo que se puede medir se puede mejorar, con esto, se centraliza en utilizar de manera óptima cada recurso, sin dejar de lado la calidad del follaje que se quiere obtener.

Al ser un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas, para así, describir lo que se investiga, cómo reaccionan, que cambios muestran. Con este proceso de descripción se obtendrá datos que ayudará a estandarizar mediciones y cantidades de las variables que se controla en el proceso de cultivo y crianza.

El presente método se utiliza simplemente porque ayuda a describir lo que está pasando con el cultivo y de esta manera tomar acciones de mejora para que el cultivo se desarrolle con normalidad.

10.1.2 Método: Causal

La investigación causal, es aquella orientada a descubrir posibles relaciones entre variables. Su objetivo es entender cuáles variables son las causantes del efecto estudiado, es decir busca identificar la relación entre causa y efecto.

Este método se lo utilizará para la experimentación, verificar si las variables que se está controlando afectan al crecimiento del follaje, de igual manera, cuando se suministre a

los animales el follaje de avena como alimento, analizar cómo reaccionan, cuales son los cambios que presentan.

10.2 Tipo: Causal (explicativa)

Las investigaciones explicativas son más estructuradas, que los estudios con los demás alcances, y de hecho implican los propósitos de estos (exploración, descriptivo y correlación o asociación) además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno al que hace referencia. (Sampieri R. H, Fernandez c, 2010)

Es un tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar sus relaciones, la hidroponía al ser un cultivo de producción continua, permite cuantificar el número de plantas de acuerdo al espacio disponible, la nutrición, altura, el peso, el tiempo de siembra-cosecha, de acuerdo a la fechas requeridas; que produce a lo largo del tiempo de experimentación, se puede tener mayor control sobre las plantas, en este caso el follaje que se siembra con la presente metodología, se podrá llevar un registro de la evolución del follaje mientras va creciendo. Además, en este método se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento de un grupo control, con las mediciones de un grupo experimental, así mismo, el método permite la experimentación y mediante esto, se llevará a cabo el análisis de cómo afecta al balance nutricional ensayando con animales herbívoros pequeños.

10.3 Técnicas de investigación

10.3.1 Observación:

La observación es la forma más sistematizada y lógica para el registro visual y verificable de lo que se pretende conocer; es decir, es captar de la manera más objetiva posible, lo que ocurre en el mundo real, ya sea para describirlo, analizarlo o explicarlo desde una perspectiva científica (Campos y Covarrubias & Lule Martínez, 2012).

La técnica principal de cada proyecto es la observación ya que permite visualizar de manera objetiva, como se va desarrollando el proceso, los cambios que se producen hechos y resultados que son obtenidos durante el cultivo, cómo se va comportando el sembrío si la semilla está correctamente tratada, si crece adecuadamente, mediante estos resultados de la observación, se podrá estandarizar parámetros.

10.4 Instrumentos

10.4.1 Hoja de control y registro de datos

Se elaborará una hoja de control y registro de crecimiento del follaje hidropónico como se muestra en la *Tabla 42*, en la cual, se registran cambios y/o características que el follaje presente desde su ciclo de limpieza, pre germinado, germinado y cosecha, esta información permitirá llevar un control de la cosecha verificando que no exista alguna alteración en su crecimiento al igual que no presente plagas u moho.

De igual manera esta información facilitará realizar, mejoras y correcciones que se presenten en el transcurso del crecimiento del follaje hidropónico.

10.4.2 Hoja de control y registro de lote de producción

También se realizará una hoja de control donde se registra el lote de producción (*ver en Tabla 43*), que es sembrado cada cierto intervalo de tiempo, a su vez, se registrará la existencia de alguna irregularidad en el proceso y la medida tomada para contrarrestar.

Además, se registrará altura del follaje, tiempo de sembrío, cantidad de agua que se riega y el incremento de peso que tiene el follaje a través del proceso productivo.

10.4.3 Hoja de control y registro crecimiento de animales

Para llevar un registro del crecimiento, ración al día, peso, y algunas observaciones se creará una hoja de control como se observa en la *Tabla 44*, su función será registrar la cantidad de follaje, que se suministre al conejo en el día y al final de la semana se verificará el aumento de peso.

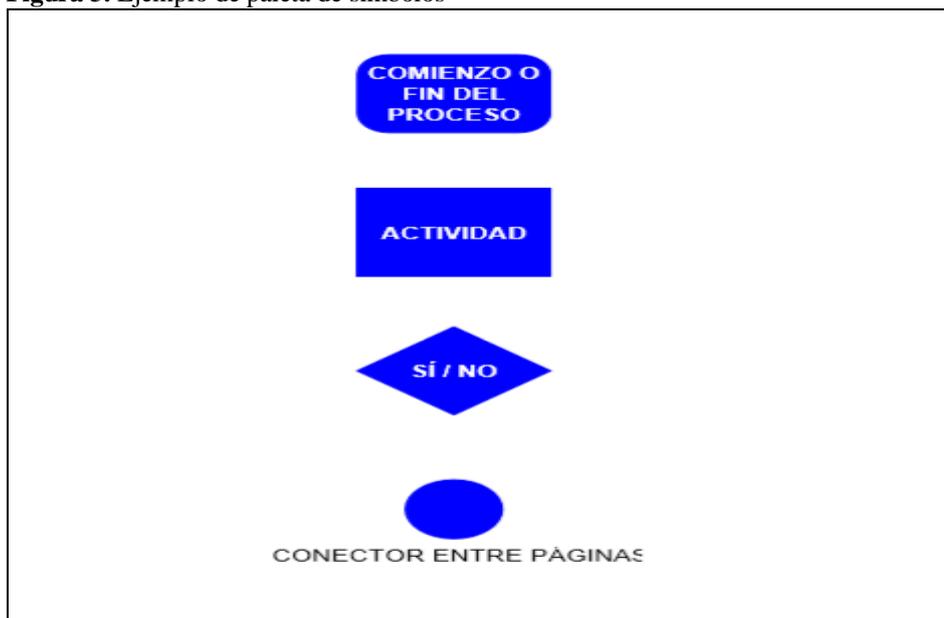
Estas hojas ayudarán también al registro de la cantidad de follaje que comen los conejos, para posteriormente realizar un análisis de la aceptabilidad que los conejos tienen del el follaje hidropónico.

10.5 Herramientas

10.5.1 Flujograma

Es una herramienta de mucha utilidad para plasmar un proceso mediante símbolos como se muestra en la *Figura 3*, mediante las áreas funcionales y a través de una secuencia de actividades unidas por flechas.

Figura 3. Ejemplo de paleta de símbolos



Fuente: (Vianna, 2009)

10.5.2 Diagrama de Pareto

Para el presente análisis se hará uso de una herramienta de calidad, el diagrama de Pareto, siendo una herramienta que menciona que el 80% de los problemas están producidos por un 20% de las causas, por lo cual, lo lógico es localizar y eliminar las pocas causas que producen la mayor parte de los problemas, en la cual los elementos o las clases están ordenados de mayor a menor frecuencia de aparición, para después superponer frecuencias acumuladas (Vianna, 2009).

10.5.3 Histograma

También se utilizará la herramienta denominada Histograma, en la cual, Doménech Roldán (2017) menciona que, es una herramienta para resumir y analizar datos, ayuda a identificar e interpretar pautas que son difíciles de ver en simples tablas de números, así

mismo, es una representación gráfica utilizada para visualizar y analizar la frecuencia con que una variable toma diferentes valores dentro de un conjunto de datos.

Proceso a seguir para la elaboración por (Doménech Roldán, 2017), es el siguiente:

1) Recoger los datos x , que se van a analizar.

2) Definir el recorrido R , de esos datos:

$$R = X_{max} - X_{min}$$

Donde:

X_{max} = valor máximo de los datos

X_{min} = valor mínimo de los datos

3) Las clases son los intervalos en los que se dividen los valores de los datos

n = número de datos

$$k = \sqrt{n}$$

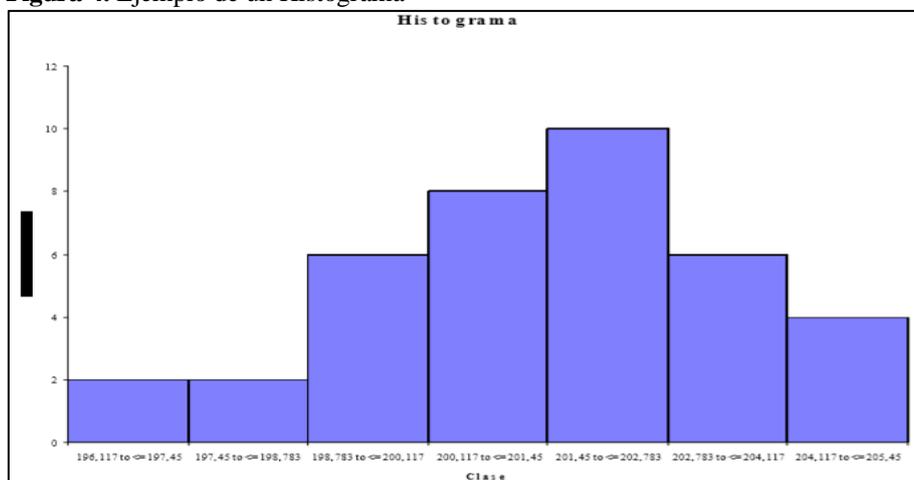
4) Determinar la amplitud del intervalo de cada clase h .

$$h = \frac{R}{k}$$

5) Determinar el número de datos incluido en cada clase, es decir la frecuencia de cada clase, comprobar que el número total de datos es igual a la suma de la frecuencia de cada clase.

6) Trazar dos ejes, con frecuencia y clase, para llevar el gráfico del histograma los valores obtenidos para cada clase, trazando lo correspondientes rectángulos que tendrán de base la amplitud de cada clase y de altura la frecuencia de las mismas.

Figura 4. Ejemplo de un Histograma



Fuente: (Vianna, 2009)

10.5.4 Gráfico de líneas

Una de las herramientas importantes a usarse, son los gráficos de líneas, en este tipo de gráfico se emplean líneas las cuales delimitan el valor de una variable dependiente respecto a otra independiente, de igual manera, otra forma más usual de uso es para observar la evolución de una variable a través del tiempo (Castillero, 2019).

Su utilización es muy simple, únicamente se debe conocer los ejes x, en la cual, se colocarán los datos de la variable independiente y donde se colocan los datos de la variable dependiente, la gráfica mostrara si los datos registrados muestran incremento o decrecimientos.

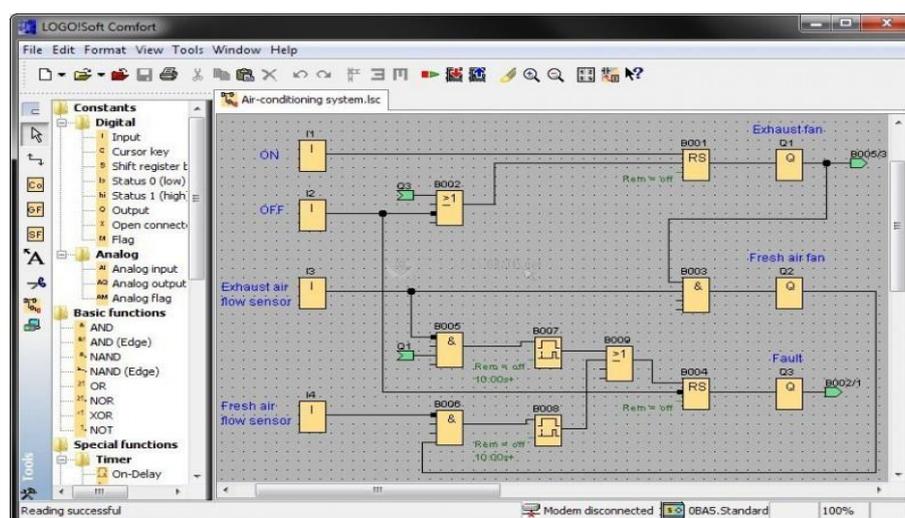
10.5.5 Software de Diseño AutoCAD

Es un programa para elaborar dibujos por computadora en CAD ya sea en 2 y 3 dimensiones, en el cual, se puede crear dibujos o planos genéricos, documentar proyectos de ingeniería, arquitectura, mapas o sistemas de información. (Autodesk, 2019)

10.5.6 Software de programación LOGO soft Comfort

LOGO soft Comfort, se utiliza para la creación de programas en los lenguajes FUP y KOP, de manera práctica, para los módulos de gama LOGO! puede ser instalado en sistemas operativos Windows, Mac OS y Linux

Figura 5. Software de programación LOGO soft Comfort



Fuente: https://img.programas-gratis.net/imagenes_extra/4/40649_1.jpg

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

11.1 Objetivo 1: Conocer las condiciones que tenía el proceso productivo del follaje hidropónico manual, para el diseño de riego automatizado.

11.1.1 Actividad 1: Analizar las condiciones del antiguo proceso productivo del follaje hidropónico

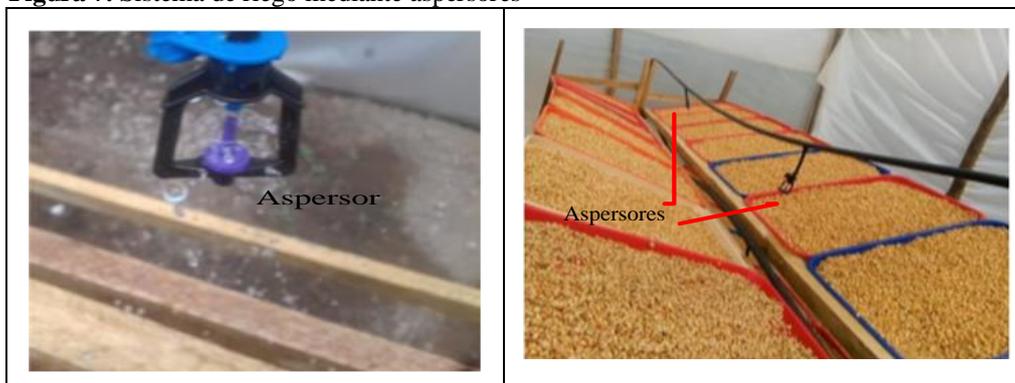
El proceso productivo que se desarrolla en una propiedad del barrio El Chan en la provincia de Cotopaxi, se realiza en un invernadero que tiene 3 metros de ancho, 6 metros de largo y una altura de 2.20 metros, en una estructura de madera (*ver Figura 6*), en la *Figura 7*, se puede observar el sistema de riego manual a base de aspersores, pero el problema que surgía, es que, con forme se mojaba las bandejas con semillas sembradas, también, se mojaba las estanterías de madera por lo cual tendía a pandearse, es decir, que las estanterías se torcían.

Figura 6. Estructura que tenía el proceso productivo del follaje hidropónico manual



Elaborado por: Autores

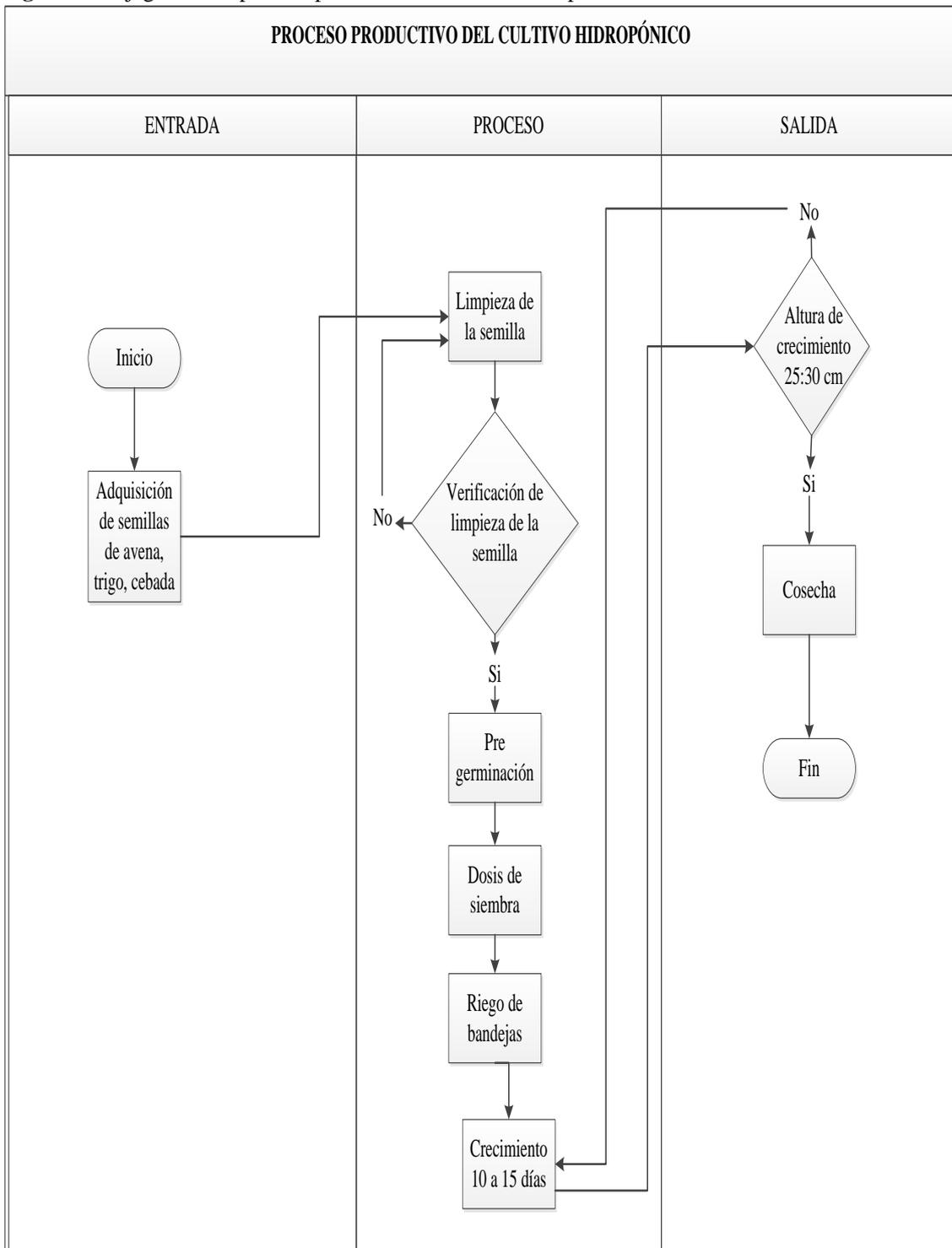
Figura 7. Sistema de riego mediante aspersores



Elaborado por: Autores

Para conocer de mejor manera el proceso productivo antiguo se elabora un diagrama de flujo, como se puede apreciar en la *Figura 8*.

Figura 8. Flujoograma del proceso productivo del cultivo hidropónico



Elaborado por: Autores

Figura 9. Proceso productivo del cultivo de follaje hidropónico manual

Elaborado por: Autores

En la *Figura 9*, se muestra el antiguo proceso productivo del follaje hidropónico que se detalla a continuación:

- a) Adquisición de semilla:** se adquiría tres tipos de semilla: avena, cebada y trigo para realizar el proceso productivo del follaje mediante la hidroponia.
- b) Selección de impurezas:** la selección de impurezas se hacía con el objetivo de evitar la contaminación de las semillas y posterior aparición de hongos.
- c) Lavado de semilla:** en el lavado de la semilla no se utilizaba ningún producto para desinfectar.
- d) Pre germinación:** se sumergía en agua durante 24 horas.
- e) Colocación en bandejas:** no se pesaba un kilo de semilla de avena exactamente, para colocar en cada bandeja y poner en las estanterías, puesto que en unas bandejas existía mas kilogramos y en otras menos.

11.1.2 Actividad 2: Medición del volumen de agua en el sistema de riego antiguo

El sistema de riego con el que contaba el antiguo proceso productivo del follaje hidropónico, era manual, a raíz de esto, el operario no tenía el control exacto en los tiempos de riego, por lo que superaba los 3 minutos de tiempo establecido, puesto que, dependía de la movilización del mismo para abrir, cerrar la válvula y verificar si estaba funcionando el sistema.

Se realizó una prueba para conocer la cantidad de agua que se utilizaba en el antiguo sistema de riego, en un tiempo de 3 minutos, mediante la *Ecuación 4*:

Ecuación 4. Cálculo de caudal

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4)$$

Fuente: (Enriqueta & Ángel, 2014)

Donde:

Q: Caudal volumétrico [$\frac{m^3}{s}$]

V: Volumen [m^3]

T: Tiempo [segundos]

Datos:

V= 20 L

T= 3 min

$$Q = \frac{20 L}{3 \text{ min}}$$

$$Q = 6.66 \frac{L}{\text{min}}$$

De un aproximado de 20 litros que se distribuían en las bandejas con las semillas, la cantidad sobrante y drenada se esparcía y se desperdiciaba, como el riego se lo realiza 3 veces al día, la cantidad de agua representaba un gasto significativo.

Datos:

$$20 \text{ litros de agua} * (3 \text{ veces al día}) = 60 \frac{L}{\text{día}}$$

$$\text{Cantidad estimada por bandeja} = \left(60 \frac{L}{\text{día}}\right) / 56 \text{ bandejas} = 1,07 \frac{L}{\text{día}} * \text{bandeja}$$

$$\text{Cantidad de agua usada} = x$$

$$x = \left(\frac{1.07 L}{\text{día}} * \text{bandeja}\right) * 15 \text{ días}$$

$$x = 16,05 L * \text{bandeja} * 15 \text{ días}$$

El gasto total de agua para conseguir un follaje de 2 veces más su peso inicial es de 16,05 litros por bandeja por 15 días.

Como resultado se tiene que el follaje si creció, pero con alto desperdicio de agua, el sistema de riego estaba compuesto por aspersores llovederas y aspersores nebulares que distribuían el agua sin un control adecuado.

De los 20 litros que se riega en 3 minutos, 9 litros son los que se quedaban impregnados y absorbidos por las semillas, los 15 litros restantes eran desperdiciados ya que no existía un sistema de recolección que la reutilice.

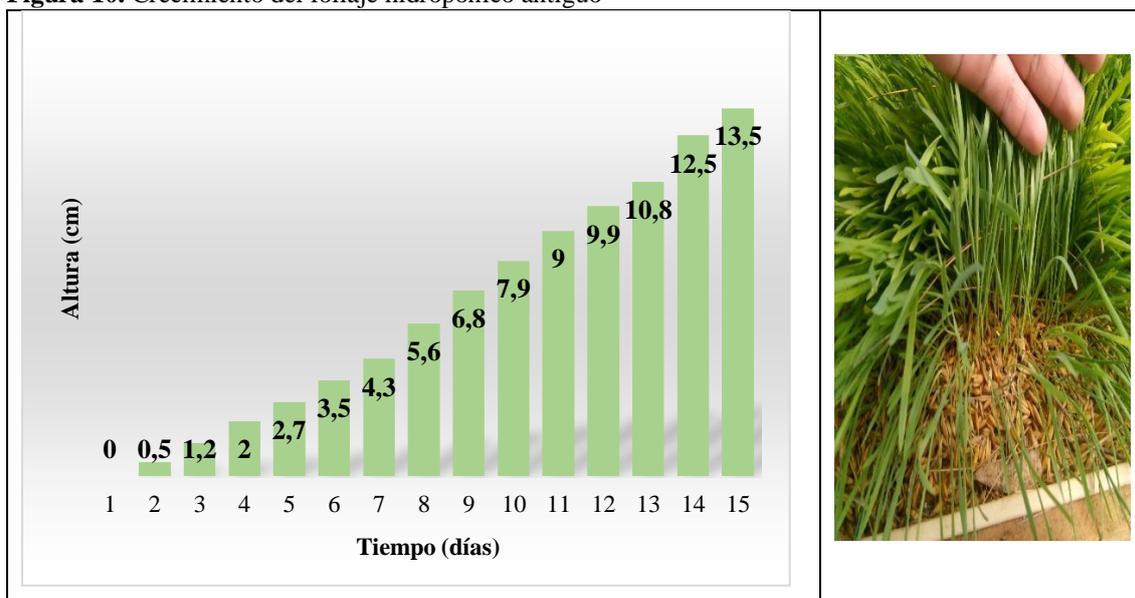
11.1.3 Actividad 3: Levantamiento de información de los tiempos de crecimiento y peso del follaje hidropónico.

En la siguiente *Tabla 2*, se muestran los datos que se obtuvieron referentes al crecimiento del follaje del cultivo hidropónico con la semilla de avena en el tiempo de 15 días.

Tabla 2. Datos del crecimiento del follaje hidropónico

Tiempo (días)	Altura (cm)
1	0
2	0,5
3	1,2
4	2
5	2,7
6	3,5
7	4,3
8	5,6
9	6,8
10	7,9
11	9
12	9,9
13	10,8
14	12,5
15	13,5

Elaborado por: Autores

Figura 10. Crecimiento del follaje hidropónico antiguo

Elaborado por: Autores

En la *Figura 10*, se puede apreciar el crecimiento del follaje hidropónico que se fue dando en el lapso de 15 días, en la cual, alcanzó una altura máxima de 13,5 cm.

En la *Tabla 3*, se muestran los datos que se obtuvieron referentes al peso del follaje del cultivo hidropónico con la semilla de avena en el tiempo de 15 días.

Tabla 3. Datos del peso del follaje hidropónico

Tiempo (días)	Peso (kg)
1	1
2	1,09
3	1,152
4	1,245
5	1,312
6	1,397
7	1,456
8	1,534
9	1,607
10	1,689
11	1,765
12	1,883
13	1,935
14	1,988
15	2,1

Elaborado por: Autores

Como se puede observar en la *Tabla 3*, el peso máximo que alcanza el follaje hidropónico es de 2,10 kg en 15 días de siembra, tomando en cuenta que la cantidad de semilla sembrada es de 1 kg, en este caso se tiene una relación de crecimiento de 2 veces lo sembrado.

11.1.4 Actividad 4: Principales causas que afectan el crecimiento

En la *Tabla 4*, se muestra las causas de mayor relevancia, que ocasionan la baja productividad de follaje hidropónico en el antiguo proceso productivo.

11.1.4.1 Exceso de impurezas en las semillas

El exceso de impurezas no representa una gran causa para el crecimiento del follaje, la incidencia que esta causa en la siembra, tiene una equivalencia de 2 bandejas de 56 la cual representa un total de:

$$x = \frac{2 * 100}{56}$$

$$x = 3,57\%$$

11.1.4.2 Mal lavado de las semillas

El mal lavado de semillas representa una parte importante para que el cultivo de follaje no presente alguna plaga durante el crecimiento, las semillas que no fueron lavadas o fueron lavadas de mala manera representan un total de 23 bandejas de 56 que presenten problemas por este motivo.

$$x = \frac{23 * 100}{56}$$

$$x = 41,07\%$$

11.1.4.3 Falta de horas de pre germinación

La pre germinación depende directamente del tiempo que se deje la semilla reposando en agua, no representa un riesgo tan elevado a menos que se deje mucho tiempo la semilla en agua, su incidencia para que el follaje no se dé es de 8 bandejas de 56.

$$x = \frac{8 * 100}{56}$$

$$x = 14,28\%$$

11.1.4.4 Exceso de semillas en cada bandeja

El exceso de semillas representa un riesgo medio, ya que mientras más cantidad de semillas mayor cantidad de raíz y brote, la parte contradictoria es el volumen de agua que se necesita para hacer que todas germinen, su incidencia para que el follaje no se dé en el tiempo establecido, es de 17 bandejas de 56.

$$x = \frac{17 * 100}{56}$$

$$x = 30,35\%$$

11.1.4.5 Exceso de agua de riego

El exceso de agua de riego representa un riesgo alto ya que existe una mayor probabilidad que el agua se quede estancada y las semillas por exceso de humedad empiecen a podrirse. Su incidencia para que no se dé el follaje, es de 26 de 56 bandejas.

$$x = \frac{26 * 100}{56}$$

$$x = 46,43\%$$

11.1.4.6 Falta de agua de riego

La falta de agua es una causa de riesgo alto ya que sin la existencia de agua a semilla simplemente no brotará, la incidencia que este muestra para que no se dé el cultivo de follaje, es de 30 de 56 bandejas.

$$x = \frac{30 * 100}{56}$$

$$x = 53,57\%$$

Tabla 4. Causas de la baja productividad del follaje hidropónico antiguo

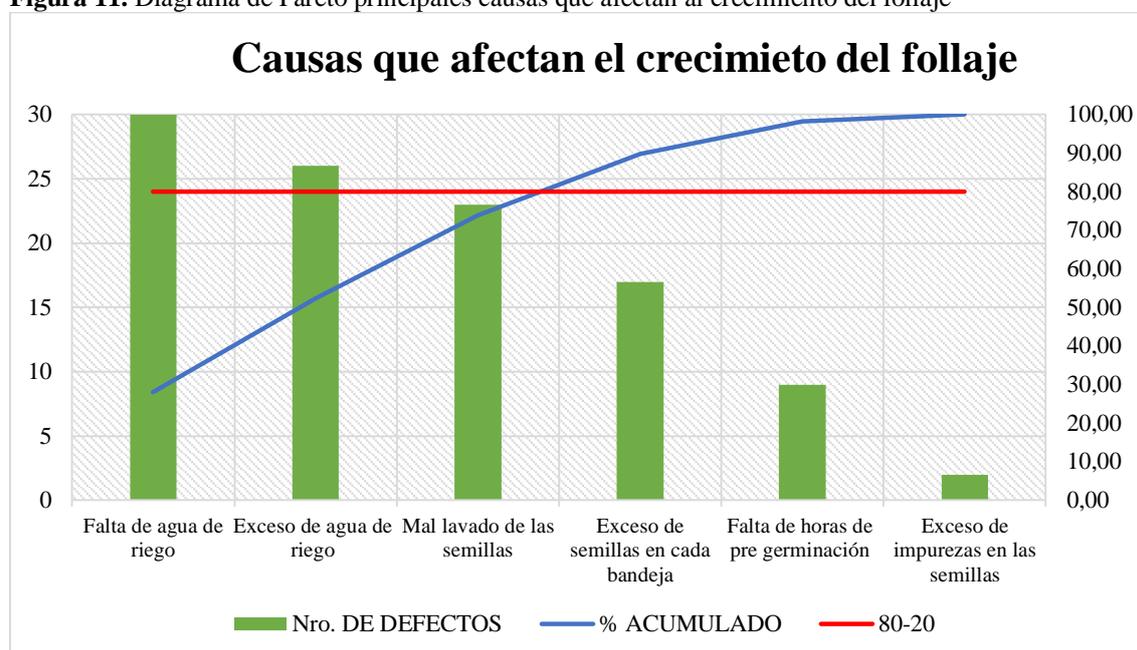
Causas	Porcentaje
Exceso de impurezas en las semillas	3,57 %
Mal lavado de las semillas	41,07 %
Falta de horas de pre germinación	14,28 %
Exceso de semillas en cada bandeja	30,35 %
Exceso de agua de riego	46,43 %
Falta de agua de riego	53,57 %

Elaborado por: Autores

Tabla 5. Factores, número de bandejas con defectos, porcentaje acumulado

FACTORES	No. DE BANDEJAS	%	% ACUMULADO	80-20
Falta de agua de riego	30	28,04	28,04	80
Exceso de agua de riego	26	24,30	52,34	80
Mal lavado de las semillas	23	21,50	73,83	80
Exceso de semillas en cada bandeja	17	15,89	89,72	80
Falta de horas de pre germinación	9	8,41	98,13	80
Exceso de impurezas en las semillas	2	1,87	100,00	80
TOTAL	107	100,00		

Elaborado por: Autores

Figura 11. Diagrama de Pareto principales causas que afectan al crecimiento del follaje

Elaborado por: Autores

Mediante el presente análisis con el diagrama de Pareto, se pudo identificar las principales causas que afectan al crecimiento del follaje hidropónico, que corresponde a la falta de agua de riego en algunas bandejas, el exceso de agua de riego en otras bandejas y el mal lavado de las semillas corresponde el 20% de las causas del 80% de los problemas y permite priorizar aquellos factores que realmente afectan al crecimiento en el proceso productivo y tomar decisiones respecto a aquello.

11.1.4.7 Analizar la frecuencia de pesos que se colocaba en las bandejas

A continuación en la *Tabla 6*, se muestran los datos de los pesos colocados en las bandejas de la siembra del antiguo del proceso productivo del follaje hidropónico, y para

determinar los pesos con más frecuencia, se hizo uso de la herramienta de calidad denominada Histograma.

Tabla 6. Datos de los pesos en las bandejas sembradas

	1 [kg]	2 [kg]	3 [kg]	4 [kg]	5 [kg]	6 [kg]	7 [kg]	8 [kg]	9 [kg]	10 [kg]	11 [kg]	12 [kg]	13 [kg]	14 [kg]
1	1,2	1,4	1,3	0,90	0,80	1,10	1,30	1,20	1,15	1,13	1,25	1,35	1,20	1,22
2	1,20	1,05	1,10	1,10	1,05	1,20	1	1,10	1,30	1,25	1,10	1,25	1	1,05
3	1,30	1,20	1,15	1,45	1,25	1,10	1,30	1,15	1	1,10	1,20	1,30	1,45	1,25
4	1,20	1,30	1,20	1,05	1	1,10	1,20	1,30	1,20	1,10	1,05	1,10	1,20	1,05

Elaborado por: Autores

Datos:

Datos que se van a analizar = 56

$$X_{max} = 1,45 \text{ kg}$$

$$X_{min} = 0,80 \text{ kg}$$

- 1) Definir el recorrido R, de esos datos:

$$R = 1,45 \text{ kg} - 0,80 \text{ kg}$$

$$R = 0,65$$

- 2) Las clases son los intervalos en los que se dividen los valores de los datos

$$n = \text{número de datos}$$

$$k = \sqrt{n}$$

$$k = \sqrt{56} = 7,48$$

- 3) Determinar la amplitud del intervalo de cada clase h.

$$h = \frac{R}{k}$$

$$h = \frac{0,65}{7,48} = 0,086$$

Tabla 7. Datos para graficar histograma

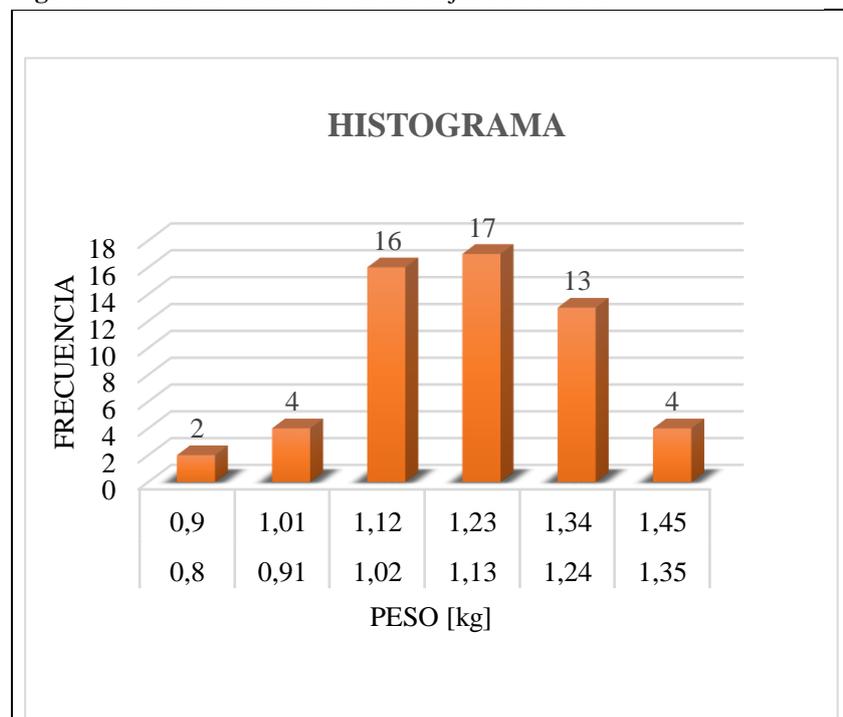
Contar	Raíz	Mínimo	Máximo	Clase
# De Datos	Raíz de # De Datos	Valor	Valor	$\frac{Min - Max}{Valor Raiz de \# \text{ de datos}}$
56	7,48	0.80	1,45	$0,0869 \approx 0,10$

Elaborado por: Autores

Tabla 8. Cálculo de frecuencias

Frecuencia		Valores	Clase	Frecuencia
[kg]	Cuántas veces se repiten	Desde [kg]	Hasta [kg]	
		0,8	$0,8 + 0,1 = \mathbf{0,9}$	2
0,8	1	$0,90 + 0,01 = \mathbf{0,91}$	$0,91 + 0,1 = \mathbf{1,01}$	4
0,9	1	$1,01 + 0,01 = \mathbf{1,02}$	$1,02 + 0,1 = \mathbf{1,12}$	16
1	4	$1,12 + 0,01 = \mathbf{1,13}$	$1,13 + 0,1 = \mathbf{1,23}$	17
1,05	6	$1,23 + 0,01 = \mathbf{1,24}$	$1,24 + 0,1 = \mathbf{1,34}$	13
1,1	10	$1,34 + 0,01 = \mathbf{1,35}$	$1,35 + 0,1 = \mathbf{1,45}$	4
1,13	1	Total		56
1,15	3			
1,2	12			
1,22	1			
1,25	5			
1,3	8			
1,35	1			
1,4	1			
1,45	2			
Total	56			

Elaborado por: Autores

Figura 12. Pesos colocados en las bandejas de siembra

Elaborado por: Autores

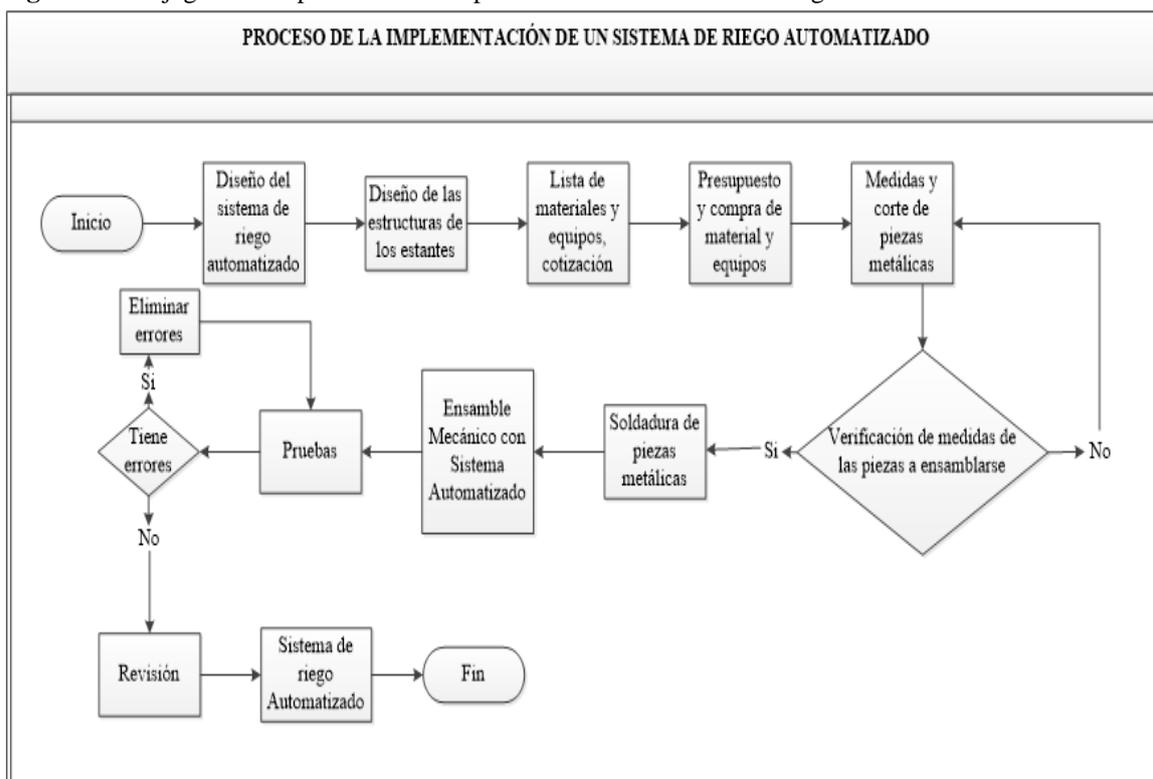
Mediante el presente análisis en el Histograma los datos muestran en una serie de rectángulos, el ancho representa un intervalo del rango de pesos que se colocaba en las bandejas en el antiguo proceso productivo, la altura representa la cantidad de veces que aparece el peso dentro de ese intervalo, dando como resultado que en 17 bandejas se colocaba de 0.13 a 0.23 kg más de lo establecido (1 kg), seguido de 16 bandejas en las que se colocaba de 0.2 a 0.12 kg más, lo que representa un desfase en la colocación de pesos establecidos.

11.2 Objetivo 2: Implementar un sistema automatizado de riego, para la optimización del consumo de agua, en el cultivo de follaje hidropónico.

11.2.1 Actividad 1: Diseñar y desarrollar la estructura del sistema de riego cerrado.

Para la implementación de un sistema automatizado de riego, en primer lugar se realizó un flujograma del proceso a seguir como se muestra en la *Figura 13*.

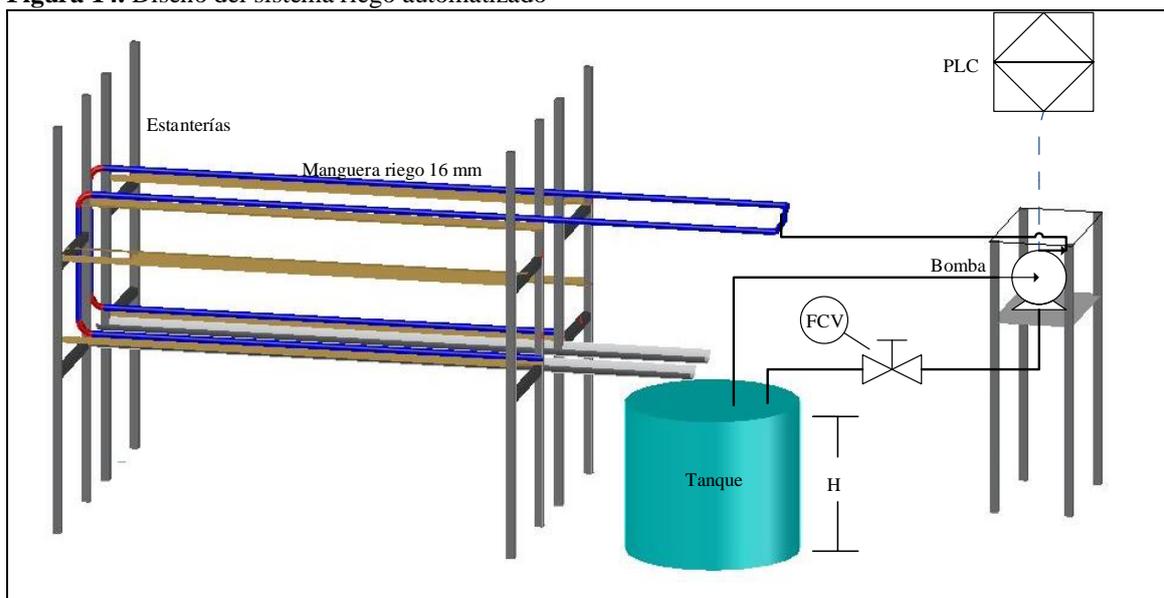
Figura 13. Flujograma del proceso de la implementación del sistema de riego automatizado



Elaborado por: Autores

11.2.1.1 Diseño del sistema de riego automatizado

Antes de la implementación del sistema de riego automatizado, se realizó un diseño en el programa AutoCAD como se puede observar en la *Figura 14*.

Figura 14. Diseño del sistema riego automatizado

Elaborado por: Autores

El diseño del sistema de riego automatizado (*Figura 14*), es un sistema cerrado que cuenta con dos estanterías para colocar las bandejas y una estantería para colocar la bomba, un tanque para el almacenamiento del agua, una válvula manual de regulación de caudal, una bomba de para mover el agua a presión hacia las mangueras de riego de 16 mm, goteros y aspersores, un PLC Logo para activar la bomba de forma automática en horarios establecidos y un tubo PVC de 3 pulgadas para recolectar el agua drenada al tanque de almacenamiento.

11.2.1.2 Dimensionamiento del sistema de riego.

Para la elaboración de todo el sistema de riego, en primer lugar se debe dimensionar diversos aspectos antes de la compra e instalación de artefactos que servirán para el sistema de riego como el proyectado en el diseño de la *Figura 14*, unos de los aspectos importantes es la dimensión de la tubería y el tipo de riego, para ello se usará un sistema por goteo en flauta y por aspersión, mediante el uso de goteros y aspersores nebulares, la capacidad de la estantería es de 20 bandejas, la cual se regará de la siguiente manera:

Cada una de las estanterías tiene una capacidad de 10 bandejas, 5 en la parte superior y 5 en la parte inferior, en la parte superior el primer tipo de riego es por goteo en flauta, se tiene diseñado ubicar 5 goteros por cada bandeja, en total se instala 50 goteros, el segundo tipo de riego es por aspersión se instala 2 aspersores nebulares, en la parte inferior de las estanterías solo se instala 2 aspersores nebulares, no se instala goteros en este nivel debido

a que las bandejas cuentan con orificios para evitar estancamientos y estos sirven también para que el agua que se vierte en la parte superior drenen en las bandejas que se encuentran debajo de ellas.

En el sistema se instalará:

- Aspersores nebulares, 4 unidades
- Goteros, 50 unidades

a) Aspersores nebulares

Figura 15. Aspersores nebulares



Elaborado por: Autores

Las características de los aspersores nebulares que servirán para una correcta dispersión de agua son las siguientes:

Tabla 9. Características de los aspersores nebulares

Presión recomendada de operación	2,5 – 4 bar (36 – 58 psi)
Caudal máximo boquilla Ø 1,3mm	87 L/h
Diámetro de humedecimiento	1,7m – 11m
Temperatura de trabajo	2° a 6°C

Fuente: http://es.naandanjain.com/uploads/catalogerfiles/000-Spanish/Micro%20Sprinklers/Microsprinkler20Booklet/NDJ_Micro_span_180214F.pdf

b) Goteros

Figura 16. Goteros



Fuente: <https://mundoriego.es/producto/gotero-autocompensante-pc-2lh-netafim/>

La característica de los goteros para el sistema en flauta son las siguientes:

Tabla 10. Características de goteros

Presión recomendada de operación	De 0,5 a 4 bar (7 a 58 psi)
Caudal máximo boquilla Ø 1,3	2 L/h
Área de filtración	2 mm ²
Temperatura de trabajo	2° a 50°C

Fuente: <https://mundoriego.es/producto/gotero-autocompensante-pc-2lh-netafim/>

Teniendo esto en cuenta un dato referencial muy importante, la presión que debe existir al final del sistema para que los componentes que se utiliza para el riego seleccionado es de 40 psi, que está dentro del rango de funcionamiento normal tanto de los nebulares como de los goteros.

c) Manguera

Para la instalación de los componentes anteriores y de acuerdo al diseño de las estanterías se optó en la utilización de manguera PEBD C-4/re riego, la cual esta echa de polietileno de baja densidad, la longitud de manera que se utilizará es de 6,54 m, la manguera tiene las siguientes características:

Tabla 11. Características de manguera de riego

Presión recomendada de operación	0 – 4 bar (0 – 56,89 psi)
Diámetro	16 mm
Espesor	1,30 mm
Temperatura de trabajo	2° a 60°C
Longitud de necesaria para instalación	6,54 m

Fuente: <http://orbesagricolasac.com/tienda/wp-content/uploads/2018/02/MANGUERAS-DE-POLIETILENO.pdf>

Para la succión del agua se debe instalar una manguera de 1 pulgada de diámetro, debido a que las entradas de las bombas vienen con esa medida, el requerimiento de la presente bomba es de 1,20 m según el diseño establecido, las características de esta son:

Tabla 12. Características de manguera para succión de agua

Presión recomendada de operación	0 – 125 psi
Diámetro	1 inch
Espesor	5,02 mm
Temperatura de trabajo	2° a 80°C
Longitud de necesaria para instalación	1,20 m

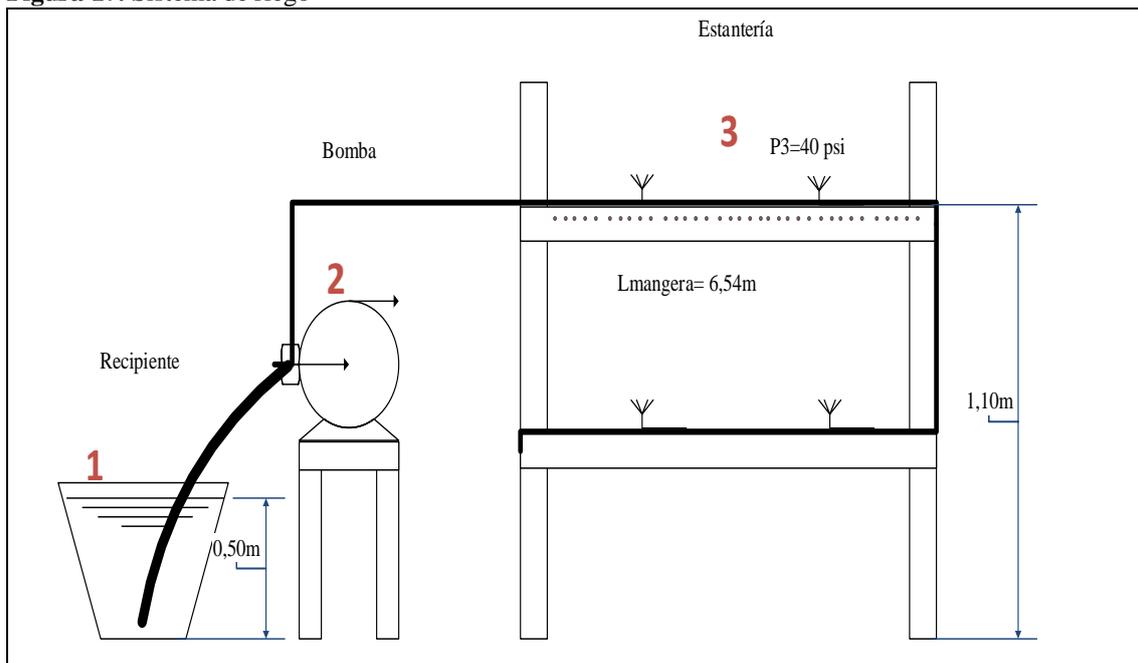
Fuente: http://plasticosrival.com/files/products/polyethylene/catalogue/PR_Polietileno_ManguerasNegrasPulgadasPEBD.pdf

11.2.1.3 Diseño y datos a utilizar en el cálculo de potencia de la bomba

Conociendo los aspectos nombrados anteriormente, se puede dimensionar de qué capacidad y potencia se necesita la bomba, para ello, se realiza el siguiente cálculo matemático con el fin de determinar que potencia es la necesaria en el sistema de riego a implementar.

Se ha diseñado una ilustración (ver *Figura 17*), que ayude al entendimiento del sistema de riego. En la cual se tiene tres partes: recipiente (1), bomba (2) y las estanterías (3). El punto 1 representa la distancia y la altura hasta el punto 2, desde donde el líquido va a ser succionada por la bomba; el punto 2 representa la energía que la bomba agrega al líquido para que llegue al punto 3; y el punto 3, representa la salida de líquido por los goteros y aspersores instalados a una determinada presión.

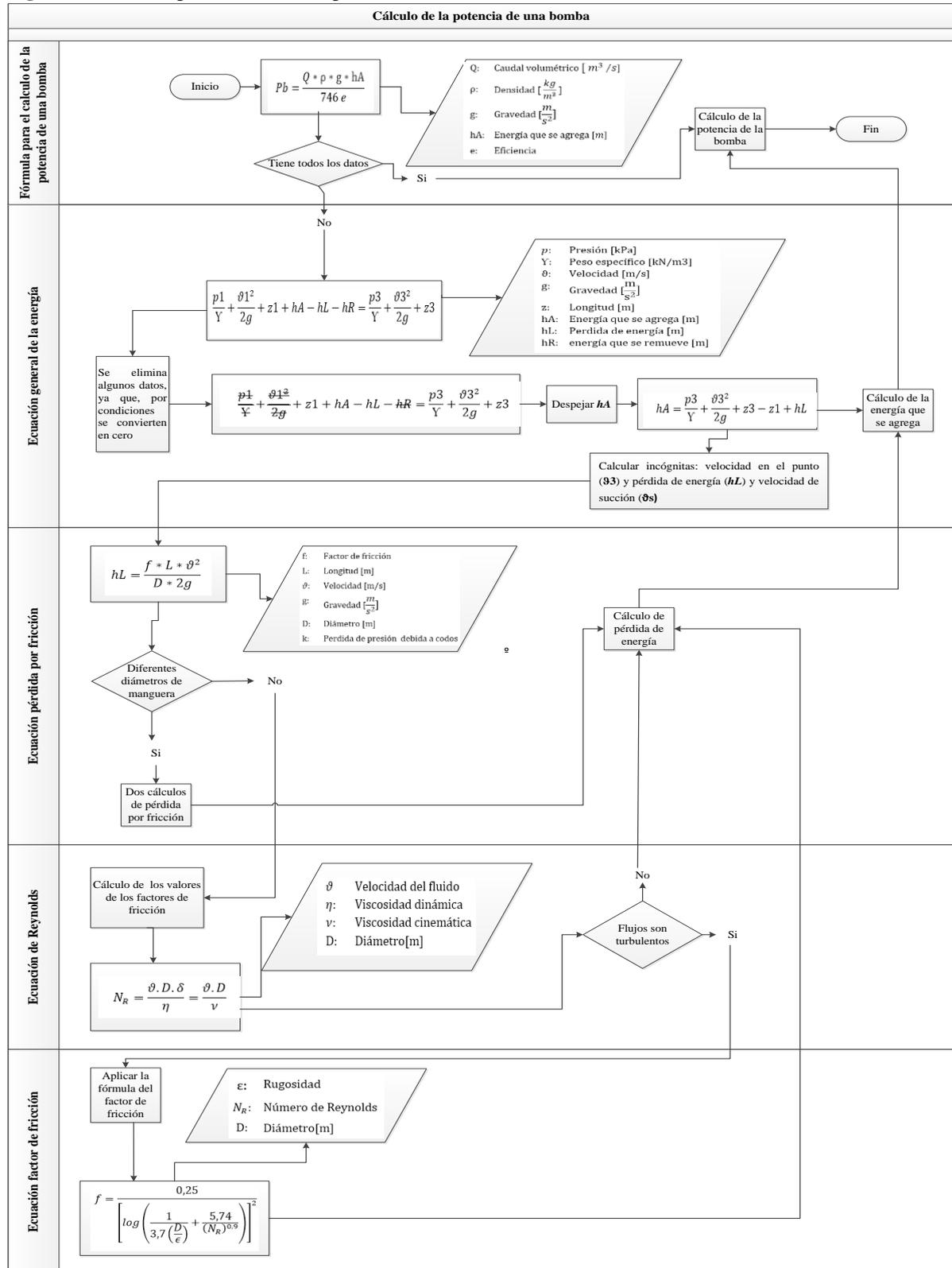
Figura 17. Sistema de riego



Elaborado por: Autores

11.2.1.4 Proceso para el cálculo de potencia de la bomba

Figura 18. Proceso para el cálculo de potencia de la bomba



Elaborado por: Autores

Los datos de viscosidad, densidad del agua y rugosidad de la manguera, como se muestran en la *Tabla 13*, la *Tabla 14* y la *Tabla 15*, son necesarios para el cálculo de la potencia de la bomba a implementar en el sistema de riego.

Tabla 13. Coeficientes de rugosidad

Materiales	Coeficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams C_u	Coef. Rugosidad Absoluta $e(m)$
Asbesto cemento	0,011	140	0,0000015
Latón	0,011	135	0,0000015
Tabique	0,015	100	0,0006
Fierro fundido (nuevo)	0,012	130	0,00026
Concreto (cimbra metálica)	0,011	140	0,00018
Concreto (cimbra madera)	0,015	120	0,0006
Concreto simple	0,013	135	0,00036
Cobre	0,011	145	0,0000015
Acero corrugado	0,022		0,045
Acero galvanizado	0,016	120	0,00015
Acero (esmaltado)	0,01	148	0,0000048
Plomo	0,011	135	0,0000015
Plástico (PVC)	0,009	150	0,0000015
Madera (duelas)	0,012	120	0,00018
Vidrio (laboratorio)	0,011	140	0,0000015

Fuente: Fluid Mechanic With Engineering Applications (Daugherty & Franzini, 1977)

Los datos de la tabla siguiente, son de igual manera necesario para el cálculo de la potencia de la bomba que se necesita en el sistema de riego.

Tabla 14. Viscosidad dinámica del agua

Temperatura °C	Densidad (kg/m^3)	Viscosidad dinámica $kg/(m * s)$	Peso específico (kN/m^3)
0	999,8	0,001792	9,81
2	999,9	0,001674	9,81
4	1000	0,001569	9,81
6	999,9	0,001473	9,81
8	999,8	0,001386	9,81
10	999,7	0,001308	9,81
12	999,4	0,001236	9,81
14	999,2	0,00117	9,81
16	998,9	0,001109	9,81
18	998,5	0,001054	9,8
20	998,2	0,001003	9,79

Fuente: Mecánica De Fluidos (White, 2004)

Para el cálculo de fricción de materiales se usará la ecuación que más se adapte al sistema dependiendo las condiciones y resultados que se generen mientras se resuelve el ejercicio.

Tabla 15. Factor de Fricción

Factor de Fricción	
Depende del número de Reynolds (N_R)	
si $N_R < 2000$, el flujo es laminar	
si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento	
Flujo Laminar (adimensional)	Flujo Turbulento (adimensional)
$f = \frac{64}{N_R}$	$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5,74}{(N_R)^{0,9}} \right) \right]^2}$

Fuente: Mecánica De Fluidos (White, 2004)

Para el cálculo de la potencia de la bomba, se debe tener los siguientes datos que se presentan a continuación:

Tabla 16. Datos para el cálculo de potencia de la bomba

Datos	
Fluido	Agua
Caudal	40L/min = $6,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
Temperatura del agua en el sistema	16°C
ρ (densidad)	998,9 kg/m ³
P3 (presión punto 3)	40 psi = 275,79 kPa
P1 (presión punto 1)	0
Z3 (altura punto 3)	1,10 m
Z1 (altura punto 1)	0,50 m
ϑ 3 (velocidad 3)	x
ϑ 1 (velocidad 1)	0
ϑ s (velocidad succión)	x
L2 (longitud manguera después de la bomba)	6,54 m
L1 (longitud manguera de succión)	1,20 m
D1 (diámetro manguera de succión)	0,0254 m
D2 (diámetro manguera de riego)	0,016 m
g (gravedad)	9,806 m/s ²
\mathcal{V} (viscosidad cinética)	$1,109 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
Y (peso específico)	9,8 kN/m ³
ϵ (rugosidad)	0,0015 mm = $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
Kc (coeficiente de fricción codos de 90°)	0,9
Eficiencia de la bomba	55%

Elaborado por: Autores

Los datos que se mencionan en la *Tabla 16*, son datos obtenidos de acuerdo al diseño del sistema de riego, también son datos de tablas ya definidas a las cuales se hace referencia.

11.2.1.5 Cálculo de la potencia de una bomba

Para el cálculo de la potencia de la bomba se hace uso de la *Ecuación 5*.

Ecuación 5. Cálculo de potencia de una bomba

$$Pb = \frac{Q * \rho * g * hA}{746 e} \quad (2)$$

Fuente:(Potter et al., 2015)

Donde:

Q: Caudal volumétrico [m^3 / s]

ρ : Densidad [$\frac{kg}{m^3}$]

g: Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]

hA: Energía que se agrega [m]

e: Eficiencia

Para calcular la potencia de la bomba mediante la Ecuación 5, es necesario calcular la energía que la bomba agrega al líquido (hA), para lo cual se utiliza la ecuación general de la energía (*ver Ecuación 6*).

Ecuación 6. Ecuación general de la energía

$$\frac{p1}{Y} + \frac{\vartheta1^2}{2g} + z1 + hA - hL - hR = \frac{p3}{Y} + \frac{\vartheta3^2}{2g} + z3 \quad (3)$$

Fuente:(Potter et al., 2015)

Donde:

p: Presión [kPa]

Y: Peso específico [kN/m³]

ϑ : Velocidad [m/s]

g: Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]

z: Longitud [m]

hA: Energía que se agrega [m]

h_L : Pérdida de energía [m]

h_R : energía que se remueve [m]

De la presente ecuación, se elimina algunos datos, ya que, por condiciones se convierten en cero, como es el caso de la presión en 1, debido a que está expuesta a la atmosfera, igualmente la velocidad en 1, puesto que, en el punto 1 el agua no se mueve, y también se elimina h_R ya que no hay una máquina que retire energía.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + h_A - h_L - h_R = \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + z_3$$

$$z_1 + h_A - h_L = \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + z_3$$

Y despejando h_A , se tiene lo siguiente:

$$h_A = \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + z_3 - z_1 + h_L$$

En esta ecuación se tiene dos incógnitas, velocidad en el punto (v_3) y pérdida de energía (h_L), para ellos v_3 es resuelto de la siguiente manera:

$$v_3 = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$v_3 = \frac{4 * \left(6,66 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * 0,016m}$$

$$v_3 = 3,31 \frac{m}{s}$$

Obtenido velocidad en el punto 3, también es necesario encontrar la velocidad de succión (v_s), al tener dos tuberías de diferente diámetro, el de succión y el de descarga.

$$v_s = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$v_s = \frac{4 * \left(6,66 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * 0,0254m}$$

$$v_s = 1,31 \frac{m}{s}$$

Una vez calculada las velocidades tanto de succión (ϑ_s), como la velocidad de descarga en el punto 3 (ϑ_3), se procede a calcular las pérdidas por fricción, en este caso al tener dos tuberías de diferente diámetro se debe calcular por separado y sumarlas al final, mediante la *Ecuación 7*.

Ecuación 7. Ecuación pérdida por fricción

$$hL = \frac{f * L * \vartheta^2}{D * 2g} \quad (4)$$

Fuente: (White, 2004)

Donde:

- f: Factor de fricción
- L: Longitud [m]
- ϑ : Velocidad [m/s]
- g: Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]
- D: Diámetro [m]
- k: Pérdida de presión debida a codos

Como son dos diferentes pérdidas, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$hL = \frac{f_1 * L_1 * \vartheta_s^2}{D_1 * 2g} + k \frac{\vartheta_s^2}{2g} + \frac{f_3 * L_3 * \vartheta_3^2}{D_3 * 2g} + k \frac{\vartheta_3^2}{2g}$$

$$hL = \frac{\vartheta_s^2}{2g} \left(\frac{f_1 * L_1}{D_1} + k \right) + \frac{\vartheta_3^2}{2g} \left(\frac{f_3 * L_3}{D_3} + k \right)$$

Como paso siguiente, se debe encontrar los valores de los factores de fricción para cada uno, este se lo encuentra con el número de Reynolds mediante la *Ecuación 8*.

Ecuación 8. Ecuación de Reynolds

$$N_R = \frac{\vartheta * D * \delta}{\eta} = \frac{\vartheta * D}{\nu} \quad (5)$$

Fuente: (White, 2004)

Donde:

- ϑ Velocidad del fluido
 η : Viscosidad dinámica
 ν : Viscosidad cinemática
 D: Diámetro[m]

Datos:

D1 (diámetro manguera de succión): 0,0254 m

D2 (diámetro manguera de riego): 0,016 m

Para el diámetro 1 y la velocidad de succión (ϑ_s):

$$N_{R1} = \frac{\vartheta \cdot D}{\nu}$$

$$N_{R1} = \frac{1,31 \frac{m}{s} * 0,0254m}{1,109 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$N_{R1} = 30003,6 > 4000 \text{ flujo turbulento}$$

Ahora para el diámetro 2 y velocidad 3 (ϑ_3):

$$N_{R2} = \frac{\vartheta \cdot D}{\nu}$$

$$N_{R2} = \frac{3,31 \frac{m}{s} * 0,016m}{1,109 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$N_{R2} = 47754,73 > 4000 \text{ flujo turbulento}$$

Como ambos flujos son turbulentos, se debe aplicar la fórmula del factor de fricción, mediante la *Ecuación 9*.

Ecuación 9. Ecuación factor de fricción

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5,74}{(N_R)^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (6)$$

Fuente: (White, 2004)

Donde: ε : Rugosidad N_R : Número de Reynolds

D: Diámetro[m]

Datos:

D1 (diámetro manguera de succión): 0,0254 m

D2 (diámetro manguera de riego): 0,016 m

 $N_{R1} = 30003,6$ $N_{R2} = 47754,73$ ε (rugosidad) 0,0015 mm = $1,5 \cdot 10^{-6}$ m

Se debe calcular dos veces, debido a la diferencia de diámetros de las tuberías:

$$f1 = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{0,0254 \text{ m}}{1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}} \right)} + \frac{5,74}{(30003,6)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f1 = 0,023$$

$$f2 = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{0,016 \text{ m}}{1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}} \right)} + \frac{5,74}{(47754,73)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f2 = 0,021$$

Una vez calculado los factores ya se pueden calcular las pérdidas de energía hL.

$$hL = \frac{\left(1,31 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \left(\frac{0,023 * 1,20 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} + 0,9 \right) + \frac{\left(3,31 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \left(\frac{0,021 * 6,54 \text{ m}}{0,016} + 0,9 \right)$$

$$hL = 0,995 \text{ m} + 5,69 \text{ m}$$

$$hL = 6,685 \text{ m}$$

Una vez obtenido hL ya se puede calcular hA para calcular la potencia de la bomba

$$hA = \frac{275,79 \text{ kPa}}{9,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}} + \frac{(3,31 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1,10\text{m} - 0,50\text{m} + 6,685\text{m}$$

$$hA = 35,98 \text{ m}$$

Una vez calculado todo, se procede a calcular la potencia de la bomba que se necesitará en el sistema de riego.

$$Pb = \frac{6,666 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 998,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 35,98 \text{ m}}{746 * (0,5)}$$

$$Pb = 0,57 \text{ HP}$$

Como en la parte comercial no hay una bomba de 0,57 HP, se necesita una bomba de 1 HP para el sistema, pero con un sistema de reflujos para que la potencia sobrante no perjudique al riego para aquello es necesario un sistema de regulación, en este caso se utilizó una válvula manual para controlar que la presión que exista a la salida de los aspersores sea de 40 psi.

11.2.1.5.1 Bomba de agua

Para la circulación de agua, mediante un cálculo previo de la potencia de una bomba, se optó por una bomba de 1HP, que funciona con una alimentación de 110V, la potencia de la bomba empuja el agua por el circuito hidráulico hasta llegar a los goteros y aspersores.

Tabla 17. Características de la bomba

Característica	Dato
Alimentación	110V-220V
Potencia	1HP
Diámetro de entrada	1”*1”
Caudal máximo	48L/min

Fuente: <https://gladiator.cl/wp-content/uploads/2017/09/J-810-220-50-GLADIATOR-PRO-manual>.

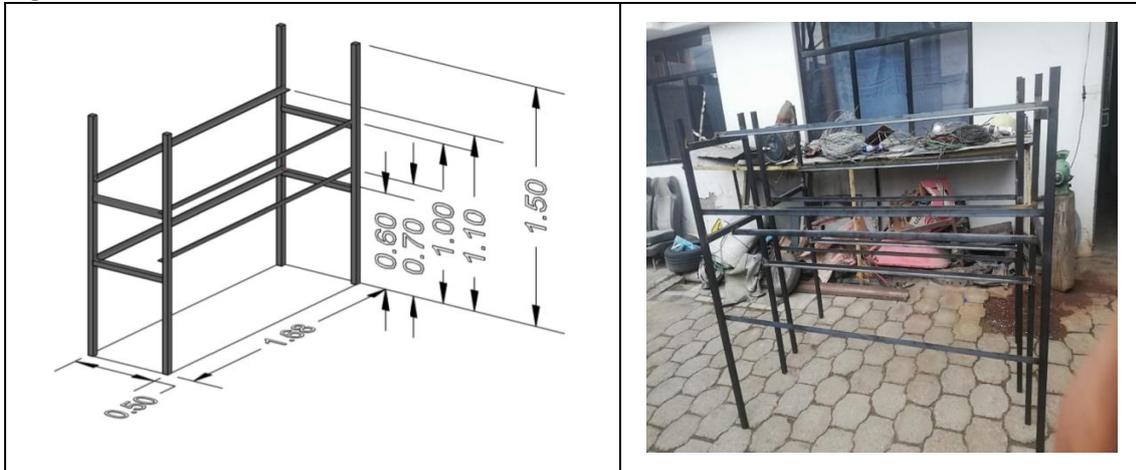
11.2.2 Actividad 2: Diseño y construcción de una estructura metálica.

Características del módulo:

Las medidas de los estantes (*Figura 19*), son de 50 cm de ancho * 168 cm de largo y 150 cm de altura. Cada nivel tiene capacidad para colocar 5 bandejas, por lo que se tiene 10

bandejas por estante, además que, el espacio entre nivel y nivel es de 30 cm y el espacio del primer nivel y el suelo es de 60cm.

Figura 19. Diseño del estante



Elaborado por: Autores

Las bandejas (*Figura 20*), que se colocan de forma longitudinal en el estante, son de 43,5 cm de largo * 32 cm de ancho * 2,5 cm de alto en la cual se siembra 0.32 kg de semilla de avena para obtener en un lapso de 10 a 15 días 3 kg de follaje hidropónico.

Figura 20. Bandejas plásticas



Elaborado por: Autores

Las bandejas una vez colocadas en los estantes tienen una pendiente longitudinal y transversal de 10 cm, con el objetivo de que cada bandeja pueda drenar el agua excedente del riego.

11.2.2.1 Lista de materiales y equipos

Para la construcción del sistema de riego automatizado se necesitara los siguientes materiales, herramientas y equipos:

Tabla 18. Lista de materiales, herramientas y equipos para el proyecto

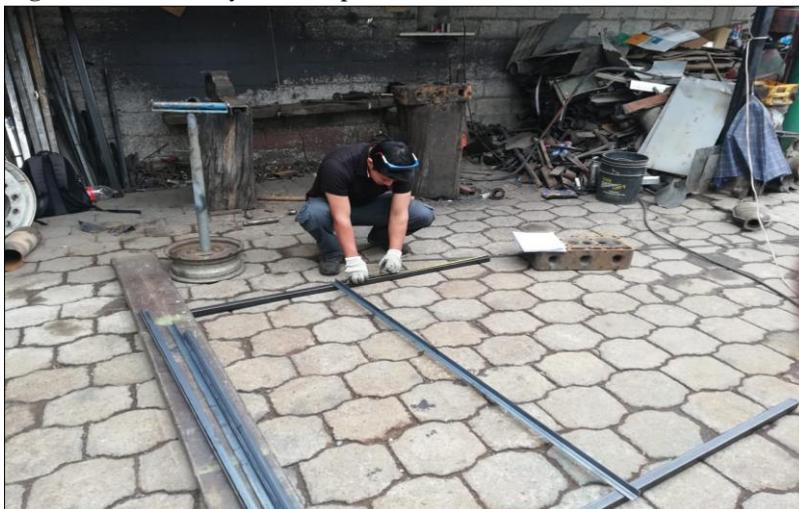
Materiales, herramientas y equipos	
Cantidad	Descripción
1	Bomba de 1HP
1	PLC LOGO 230RCE
1	Contactador de potencia 110 V
12 metros	Cable sucre 2x12
4 metros	Cable flexible 14
1	Pulsador camscro ON-OFF
1	Gabinete pesado 20X20X15 cm
1	Carril DIN
1	Manómetro
	Tacho Americano de 72 L
1	Alto: 55cm
	Diámetro: 51cm
20	Bandejas plásticas
3	Tubo metálico cuadrado 1 ¼ x 1,5
4	Ángulo metálico 1 x 1/8
2 libras	Electrodos
1	Tubo PVC de 3"
1	Válvula de control manual 1"
1	Válvula anti retorno PVC
1	Cruz polimax de 1"
2 metros	Manguera de 1"
15 metros	Manguera de 16mm
6	Codos de 1"
10	Codos de 16mm
100	Goterros Kalif
1	Pega tubo
1	Teflón

Elaborado por: Autores

11.2.2.2 Medidas y corte de piezas metálicas

El material utilizado para la construcción de las estanterías son ángulos metálicos 1 x 1/8, para un mayor soporte de peso, en donde se utilizó un metro y una sierra de corte de metal.

Figura 21. Medidas y corte de piezas metálicas



Elaborado por: Autores

11.2.2.3 Soldadura de piezas metálicas

Con las piezas cortadas a la medida establecida se procede a soldar las piezas (*Figura 22*), para lo cual se utiliza una soldadora de 220 V y unos electrodos 6011.

Figura 22. Soldadura de piezas metálicas



Elaborado por: Autores

11.2.2.4 Ensamble mecánico con sistema automatizado

Con la construcción de las estanterías, sumado a un tamaño uniforme de las bandejas y a equipos de riego compuestos por una bomba, manguera de 16 mm, goteros, nebulizadores

y un sistema programado con un algoritmo enfocado en la activación de una bomba se implementa el sistema de riego automatizado (ver Figura 23).

Figura 23. Ensamble mecánico con sistema automatizado



Elaborado por: Autores

11.2.3 Actividad 3: Programación de un algoritmo que controle el sistema de riego.

11.2.3.1 Conexión y sistema eléctrico

El sistema de riego automatizado basa su funcionamiento en un PLC LOGO 230RCE y en una bomba de corriente alterna que funciona tanto a 110V-220V, el sistema está programado con un algoritmo enfocado en la activación de una bomba, la cual se encenderá tres veces todos los días de la semana, esta bomba funcionará en intervalos de horas comenzando desde las 07H00 de la mañana, en cada uno de estos intervalos la bomba permanecerá encendida 2 min y apagándose al cumplimiento del tiempo establecido.

En caso de necesitar que la bomba se encienda en un horario que no esté previamente establecido, se cuenta con un encendido ON/OFF en la cual encenderá la bomba manualmente en caso de ser requerida, las entradas y salidas totales que se utilizaron en el sistema están detalladas a continuación:

Entradas

- Un pulsador normalmente abierto NA
- Un pulsador normalmente cerrado NC

Salidas

- Contactor KM1

Tabla 19. Tabla de E/S, descripción de la función de cada entrada y salida

Elemento Físico	Representación	Entrada o Salida	Tipo Digital o Análoga	Borne PLC	CPU Utilizada	Función
Pulsador NA	P1	Entrada	Digital	I1	LOGO 230RCE	Al ser presionado energiza el contactor el cual enciende la bomba, permitiendo el riego de agua.
Pulsador NC	P2	Entrada	Digital	I2	LOGO 230RCE	Al ser presionado desenergiza el contactor el cual apaga la bomba, cesando el riego de agua.
Contactador	KM1	Salida	Digital	Q1	LOGO 230RCE	Encender y apagar la bomba.

Elaborado por: Autores

11.2.3.2 Selección del controlador lógico programable

Para la selección del PLC se realizó un dimensionamiento para determinar las entradas y salidas necesarias que se requiere así como también la corriente de alimentación.

En respuesta del dimensionamiento, las entradas necesarias son dos para tener un control manual del sistema y 1 salida que servirá para activar el contactor, se seleccionó el PLC LOGO 230RCE con las características detalladas en la *Tabla 20*:

Tabla 20. Características del PLC LOGO 230RCE

Característica	Dato
Tensión de Alimentación	115V DC - 230VDC
Entradas	8 Entradas digitales
Salidas	4 Salidas digitales
Memoria	400 bloques
Salida de corriente	10A carga resistiva; 3 A carga inductiva
Temperatura ambiente en servicio	-20°C a 55°C
Grado de protección IP	IP20
Conexión	Ethernet
Software de programación	LOGO; SOFT COMFORT

Fuente: https://media.automation24.com/datasheet/es/6ED10521FB080BA0_es.pdf

11.2.3.3 Contactor

La función principal del contactor es el accionamiento de la bomba de agua, mediante el dimensionamiento se optó por un contactor que funcione con una tención de alimentación de 110V, las características del contactor son las siguientes:

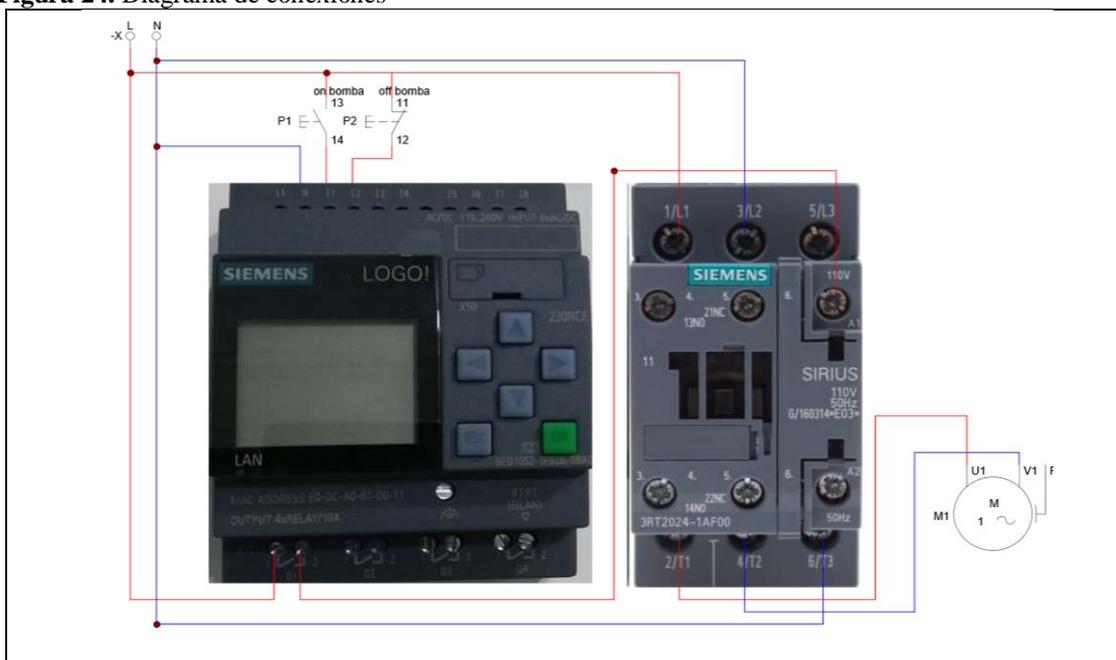
Tabla 21. Características del contactor

Característica	Dato
Tipo	Contactor de potencia
Tipo de corriente	AC
Tención de alimentación	110V
Contactos Auxiliares	1 NA/NC
Temperatura ambiente en servicio	-20°C a 55°C
Grado de protección IP	IP20
Frecuencia	50/60 Hz
Polos	3

Fuente: http://www.superelectrico.com/wp-content/uploads/2017/08/3RT20241AG20_datasheet_es.pdf

A continuación se muestra el diagrama de conexión de los dispositivos elegidos que serán instalados en el sistema de control-fuerza, en cual, se denota las conexiones realizadas en el dispositivo controlados del sistema (PLC), y también las conexiones al sistema de fuerza.

Figura 24. Diagrama de conexiones



Elaborado por: Autores

11.2.3.4 Programación del LOGO

Una vez elegido los dispositivos correspondientes, elaborado el diagrama de conexión respectiva, se elaboró el algoritmo de control, el PLC LOGO 230 RCE, puede ser programado desde una computadora usando un software llamado LOGO soft comfort, el lenguaje de programación usado es KOP un lenguaje de bloques.

El algoritmo de activación del sistema de riego se desarrolló teniendo en cuenta diferentes especificación y circunstancias que se presentaron al momento de realizar pruebas de producción, inicialmente se consideró un riego de dos veces al día con un lapso de tiempo de 3 min de aspersion, pero, existió el inconveniente que en el transcurso del día, el agua se evaporó completamente, dejando la semilla seca, en este sentido, el nuevo algoritmo que se planteó, es regar tres veces al día en intervalos de 2 minutos, para asegurar que la semilla permanezca húmeda constantemente. El horario de riego que se pensó para el sistema es el siguiente:

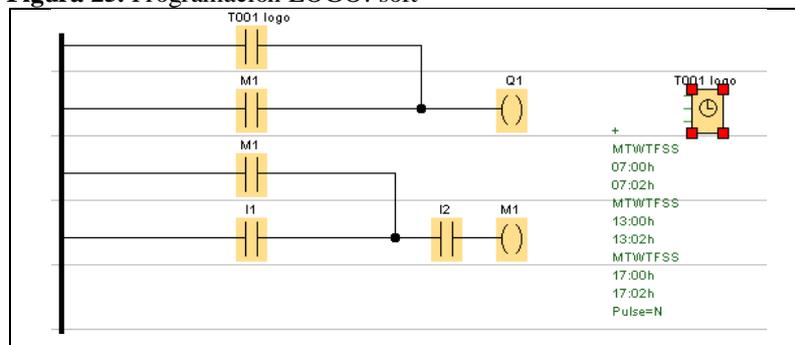
Tabla 22. Horario de riego

Horario de riego diario(tiempo)	
Encendido	Apagado
07:00 am	07:02 am
13:00 pm	13:02 pm
17:00 pm	17:02 pm

Elaborado por: Autores

Para dar cumplimiento al horario de riego establecido, se usó una herramienta llamada temporizador semanal para programar el algoritmo en el PLC LOGO 230 RCE, en la cual, se programa que días se quiere que funcione el sistema de riego, como se puede apreciar en la *Figura 25*, la programación elaborada en el programa LOGO soft comfort.

Figura 25. Programación LOGO! soft



Elaborado por: Autores

11.2.3.5 Montaje del módulo y todos los circuitos electrónicos.

Figura 26. Montaje del módulo y todos los circuitos electrónicos



Elaborado por: Autores

11.2.3.6 Pruebas del sistema de riego automatizado

La producción de un kilo de forraje hidropónico requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie de forraje, entre 12% a 18%, esto se traduce en un total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 día (Facultad de Ingeniería Universidad Mayor de San Andrés, 2010)

Figura 27. Pruebas del sistema de riego automatizado



Elaborado por: Autores

Como esta descrito en el literal anterior el sistema de riego se enciende tres veces al día durante dos minutos, para verificar si la bomba cumple lo esperado se analizará en caudal que este cumple y mediante este, se realizara un cálculo para determinar qué cantidad de agua está usando el sistema y de igual manera que cantidad de agua usa cada bandeja para producir su follaje.

En este caso cada intervalo de riego la bomba envía 80 litros en 2 minutos, esto quiere decir que el caudal que fluye a través del tubo es:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{80 L}{2 \text{ min}}$$

$$Q = 40L/\text{min}$$

De los 40 litros minuto que la bomba succiona se distribuyen por dos tuberías una que regresa el agua al tanque y otra que envía al sistema de riego, en este caso 26 litros y 14 litros respectivamente.

Mediante una medición se obtuvo que de los 14 litros que circulan por la tubería de riego, 6 litros es la que queda impregnada o absorbida por las semillas, además, contando con la existencia de pérdidas de agua generada por la aspersion de los nebulizadores, o goteo fuera de las bandejas siendo esto un aproximado de 0,50 litros diarios que se desperdicia.

En este caso la medida de referencia indica que para la obtención de 1 kilo de follaje seco hidropónico se utiliza 15-20 litros, en nuestro sistema de riego se utiliza lo siguiente:

Datos:

$$6 \text{ litros tres veces al día} = \left(\frac{18L}{\text{día}} \right)$$

$$\text{Cantidad por bandeja} = \frac{\left(\frac{18L}{\text{día}} \right)}{20 \text{ bandejas}} = 0,9 \frac{L}{\text{día}} * \text{bandeja}$$

$$\text{Cantidad de materia seca} = 0,31 \text{ kg}$$

$$\text{Peso final de follaje} = 1,588 \text{ kg}$$

$$\text{Cantidad de agua usada} = x$$

$$x = \left(\frac{0,9L}{\text{día}} * \text{bandeja} \right) * 15 \text{ días}$$

$$x = 13,5 L * \text{bandeja} * 15 \text{ días}$$

Como resultado se tiene que el sistema riego gasta 12,6 L por cada bandeja, para generar un follaje cosechado equivalente a 1,588 kg de peso, es decir, que la cantidad sembrada incremento 5 veces más su peso, resultando en, que el follaje está dentro del rango de aumento de peso en el que por cada 1kg de semilla sembrada esta puede llegar a generar

hasta un máximo de 7,5 kg de follaje hidropónico (Facultad de Ingeniería Universidad Mayor de San Andrés, 2010).

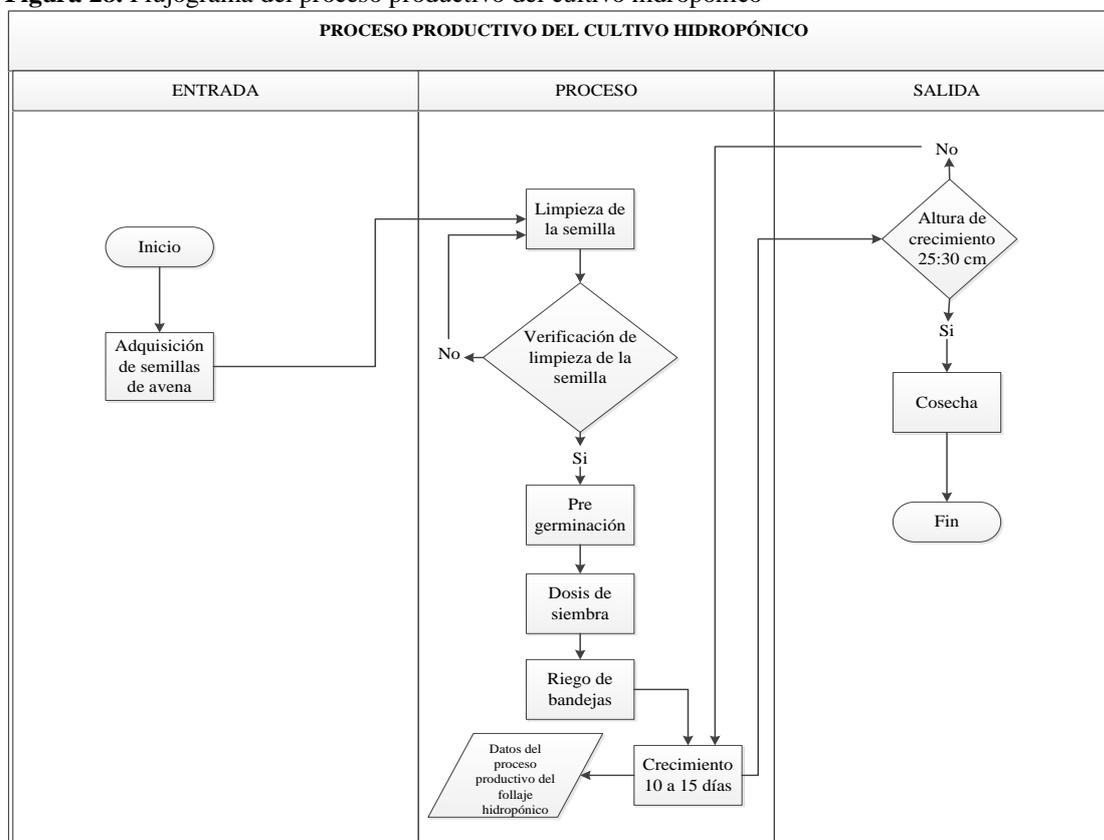
Esto resulta muy beneficioso, puesto que, se reduce al máximo el consumo de agua, ya que, en cultivos que utilizan el agua directamente por aspersión genera un gasto excesivo. En el sistema de producción hidropónico las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparado con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros por kg de materia seca (Facultad de Ingeniería Universidad Mayor de San Andrés, 2010).

11.2.4 Mejora del proceso productivo

En la etapa inicial del proceso productivo se inicia con la descripción de la unidad mínima de producción.

El espacio denominado módulo para el proceso productivo del follaje hidropónico es de 9m². El modulo contiene 2 estanterías en donde se colocan las bandejas.

Figura 28. Flujograma del proceso productivo del cultivo hidropónico



Elaborado por: Autores

El proceso productivo (*Figura 28*), del follaje hidropónico es continuo, en un lapso de 10 a 15 días de haberse sembrado, se obtiene la primera producción y así sucesivamente.

La implementación para el proceso productivo del follaje hidropónico se realizó en un área adecuada con disponibilidad de agua.

Limpieza de la semilla: se debe retirar restos de pajas, impurezas o cualquier tipo de basura que este mezclado con la semilla de avena (*Figura 29*), puesto que, las impurezas no retiradas serán consumidas conjuntamente con las semillas no germinadas, además que, para el lavado de la semilla es necesario la utilización de un químico denominado Vitavax (*Figura 30*), con el objetivo es eliminar hongos y bacterias. Las semillas se sumergen en el agua con 5 % de Vitavax, durante 3 minutos, se drena, se lava nuevamente y pasa, al pre germinado.

Figura 29. Limpieza de la semilla de avena



Elaborado por: Autores

Figura 30. Vitavax para la limpieza de la semilla



Elaborado por: Autores

Pre germinación: las semillas seleccionadas y limpias, dejar en remojo en un recipiente con agua durante un lapso de 12 horas, para luego, sacarlas al aire para su oxigenación durante 1 hora y nuevamente volverlas a introducir otras 12 horas en remojo, (*Figura 31*).

Figura 31. Reposo de semillas en recipiente con agua



Elaborado por: Autores

Dosis de siembra: seleccionar y pesar 0,70 libras o 0,31 kilogramos de semilla de avena en cada bandeja, teniendo en cuenta que el peso de la semilla se lo debe tomar después de la etapa del remojo o pre germinación. La siembra se la realiza en las bandejas que están perforadas en uno de sus extremos para impedir que el agua se acumule.

Riego: Beltrano & Gimenez (2015), mencionan que el sistema mayormente utilizado es el sistema de riego por goteo en un 90%. En las estanterías se instaló un sistema de riego de tres veces al día en intervalos de 2 minutos de manera automatizada por goteo y aspersión, con el objetivo de mantener húmedo a toda el área de las bandejas de semillas de avena, para obtener mayor y mejor cantidad de follaje hidropónico.

Crecimiento: la producción del forraje hidropónico llega a su máximo crecimiento cuando las hojas alcanzan una altura entre 15 a 30 cm.

Figura 32. Crecimiento del follaje hidropónico



Elaborado por: Autores

Cosecha: la ventaja que presenta la hidroponía ante el cultivo tradicional es la capacidad de obtener un mayor rendimiento, pues con la hidroponía resulta una cosecha que es de 2 a 10 veces el de las mismas plantas que se cosechan tradicionalmente, en menor tiempo y en menor espacio que en la agricultura tradicional (Beltrano & Gimenez, 2015).

Figura 33. Follaje hidropónico de cosecha



Elaborado por: Autores

11.3 Objetivo 3: Analizar el proceso productivo de follaje hidropónico implementado, para el control del crecimiento del follaje.

Para analizar el proceso productivo de follaje hidropónico implementado, en primer lugar se realizara una programación de la producción para intercalar la salida del pasto como se muestra a continuación.

11.3.2 Registro del crecimiento del follaje hidropónico

11.3.2.1 Altura del Follaje

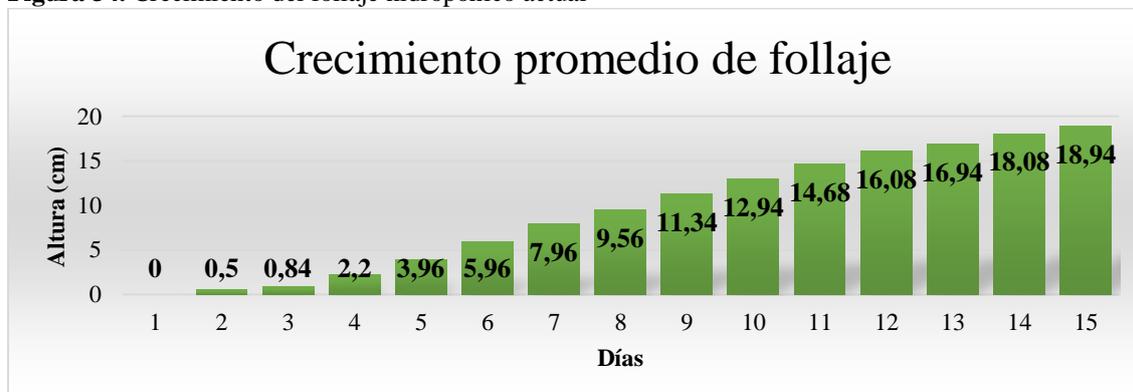
Las hojas de control y registro de crecimiento del follaje de avena, (Tabla 42), ayuda a saber que tan alto se desarrolló y creció en follaje, de cada uno de los lotes de producción en total 5, en cada lote de producción se tomó una bandeja referencial a la que se llevaba su registro de crecimiento, realizando un promedio de altura de todos los lotes da lo siguiente:

Tabla 24. Altura de follaje proceso actual

Altura del Follaje Promedio						
Días	LOTES					Promedio
	1	2	3	4	5	
	cm					
1	0	0	0	0	0	0
2	0,7	0,3	0,6	0,5	0,4	0,5
3	1	0,6	0,9	0,9	0,8	0,84
4	2,4	1,2	2,1	2,8	2,5	2,2
5	4	2,8	3,7	4,5	4,8	3,96
6	6,3	4,3	5,3	6,8	7,1	5,96
7	8,2	6,7	7,5	8,9	8,5	7,96
8	10	8,5	9,6	10,3	9,4	9,56
9	11,1	10,1	11,4	11,9	12,2	11,34
10	13	12,3	12,6	13,7	13,1	12,94
11	14,9	14,7	13,9	15,3	14,6	14,68
12	16	16,2	15,7	16,6	15,9	16,08
13	17,5	16,9	16,5	17,3	16,5	16,94
14	18,4	17,7	17,9	18,6	17,8	18,08
15	19	18,6	18,8	19,2	19,1	18,94

Elaborado por: Autores

Figura 34. Crecimiento del follaje hidropónico actual



Elaborado por: Autores

Como resultado (*Figura 34*), se tiene que la altura máxima que el follaje alcanza el los 15 días de sembrío es de 18,84 cm, esto obviando el grosor que puede alcanzar la semilla con raíz que se genera en la base de la bandejas.

11.3.2.2 Peso del follaje

El peso es parte importante para verificar si el follaje cumple con el crecimiento esperado y para conocer cuántas bandejas se utiliza para la dosis diaria de alimentación.

Lo que se busca en la producción, de follaje hidropónico es que el peso de semilla que es colocado tenga un incremento de 5 veces su peso esto quiere decir que si se coloca 0,31kg por lo mínimo se espera un follaje que supere los 1,5 kg, esto para cumplir con la dosis diaria se estableció dar diariamente a los animales de experimentación.

Tabla 25. Peso de follaje proceso actual

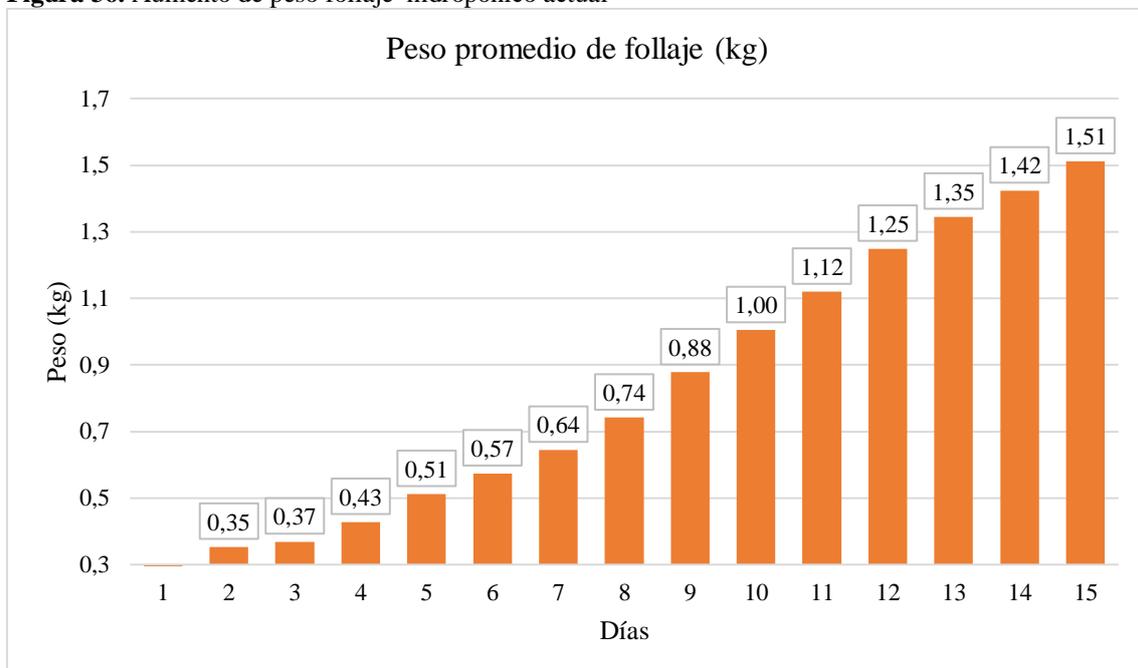
Peso Promedio del Follaje hidropónico						
Días	LOTES					Promedio
	1	2	3	4	5	
kg						
1	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
2	0,353	0,352	0,358	0,36	0,349	0,3544
3	0,36	0,362	0,371	0,385	0,367	0,369
4	0,37	0,41	0,456	0,515	0,389	0,428
5	0,385	0,498	0,544	0,635	0,498	0,512
6	0,484	0,546	0,597	0,699	0,543	0,5738
7	0,535	0,631	0,658	0,743	0,657	0,6448
8	0,658	0,712	0,725	0,816	0,796	0,7414
9	0,789	0,856	0,871	0,936	0,936	0,8776
10	0,97	0,925	0,95	1,088	1,088	1,0042
11	1,104	1,035	1,132	1,195	1,132	1,1196
12	1,279	1,179	1,247	1,315	1,224	1,2488
13	1,324	1,289	1,364	1,457	1,292	1,3452
14	1,434	1,372	1,403	1,534	1,375	1,4236
15	1,58	1,49	1,451	1,632	1,406	1,5118

Elaborado por: Autores

Las bandejas que cumplen el requisito de 1,5 kg son casi su totalidad a excepción de las que apenas llegan a ese peso esto quiere decir que con una bandeja diaria es suficiente para los 3 animales con los que se experimenta.

Figura 35. Follaje hidropónico

Elaborado por: Autores

Figura 36. Aumento de peso follaje hidropónico actual

Elaborado por: Autores

11.3.3 Registrar el proceso productivo en hojas técnicas.

En el transcurso de producción del follaje hidropónico se fue monitoreando que el proceso no presente, alguna alteración esto para evitar mermas y pérdidas del follaje, a continuación se muestran un cuadro donde se resume las observaciones que existían en cada lote y las soluciones que se dieron.

Tabla 26. Registro del Proceso Productivo

LOTES DE PRODUCCIÓN DE FOLLAJE HODROPÓNICO		
Lote 001	Cantidad: 20 bandejas	Observaciones
fecha de siembra	11/11/2019	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva cantidad de basura en las semillas. • Falta de Pre germinación
fecha de cosecha	25/11/2019	
Medidas a tomarse:		
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar químico limpiador (Vitavax) • Pre germinación de un día 		
Lote 002	Cantidad: 7 bandejas	Observaciones
Fecha de siembra	25/11/2019	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva cantidad de basura en las semillas. • Presencia de basuras. • Aves que evitan el crecimiento
Fecha de cosecha	09/12/2019	
Medidas a tomarse:		
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar químico limpiador (Vitavax) • Cambio del agua que se encuentra en el tacho. • Cubrir las estanterías para evitar la entrada de aves(pájaros) 		
Lote 003	Cantidad: 7 bandejas	Observaciones
Fecha de siembra	02/12/2019	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva cantidad de basura en las semillas.
Fecha de cosecha	16/12/2019	
Medidas a tomarse:		
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar químico limpiador (Vitabax) • El agua que se encuentra en el tacho cambiarla cada dos semana 		
Lote 004	Cantidad: 7 bandejas	Observaciones
Fecha de siembra	09/12/2019	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva cantidad de basura en las semillas.
Fecha de cosecha	23/12/2019	
Medidas a tomarse:		
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar químico limpiador (Vitavax) • El agua que se encuentra en el tacho cambiarla cada dos semana 		
Lote 005	Cantidad: 7 bandejas	Observaciones
Fecha de siembra	16/12/2019	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva cantidad de basura en las semillas.
Fecha de cosecha	29/12/2019	
Medidas a tomarse:		
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar químico limpiador (Vitavax) • El agua que se encuentra en el tacho cambiarla cada dos semana 		

Elaborado por: Autores

11.3.4 Administración de la producción del follaje hidropónico

Para dar inicio a la producción se decidió realizar un sembrío, un lote de prueba de 20 bandejas para asegurar que el follaje crezca de manera correcta, lo que así fue a partir de aquí se decidió realizar un sembrío cada día teniendo un intervalo de un día por bandeja.

El lote de las 20 bandejas dan abasto estas servirán de alimento mientras los siguientes lotes son puestos a germinar, a lo largo de la semana. Las bandejas del primer lote que sobren serán utilizadas como alimento para otros alimentos, esta alternativa se tomó hasta tener un ciclo en el que el sembrío de follaje sea de manera continua.

La producción continua o de flujo continuo es una forma de organizar el flujo de materiales en la empresa que consiste en que dicho flujo sea constante sin pausa y sin que se produzca ningún tipo de transición entre unas operaciones u otras (Kluwer, 2016).

Cada día se retira una bandeja de alimento, la cual es repuesta con semilla ya pre germinada el mismo día, a la semana se tendrá un total de 7 bandejas que fueron cosechadas y sembradas de manera continua, a las 7 bandejas de cultivos semanal se denominan como lotes de producción la cual está denotada en la *Tabla 23*, la primera sección muestra que semana se sembró que lote, y la segunda parte de la tabla, muestra los 14 días que debe pasar ese para ser cosechado, tomando en cuenta los que fueron sembrados con anterioridad.

11.4 Objetivo 4: Evaluar el valor nutricional del follaje hidropónico obtenido, experimentando con animales herbívoros pequeños.

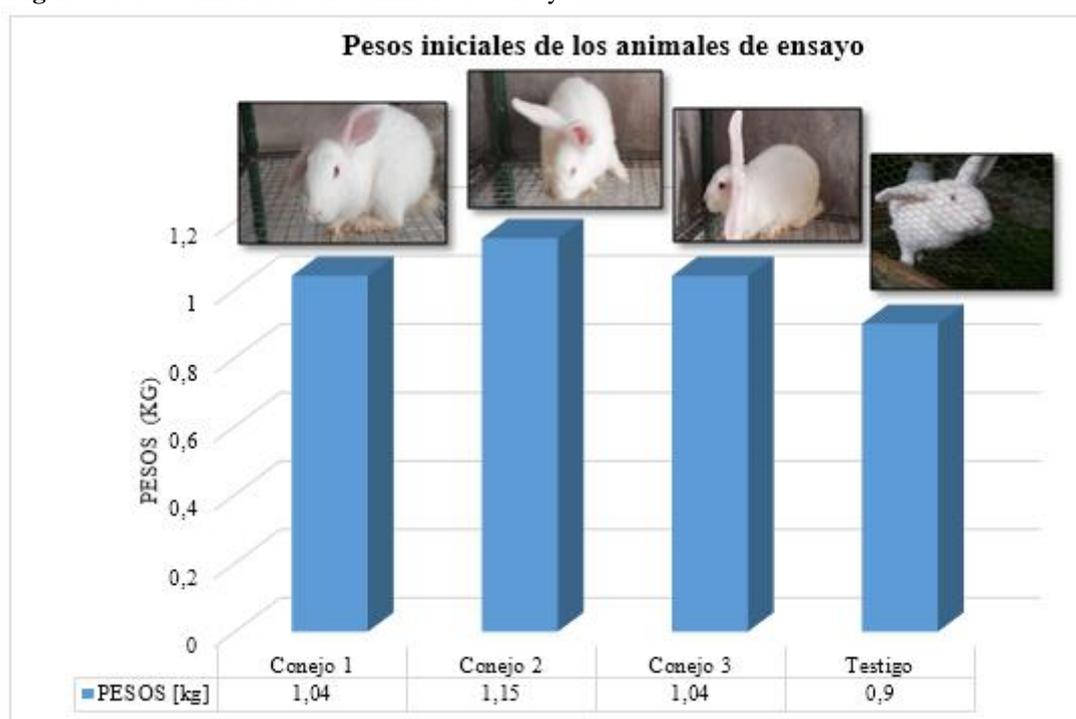
11.4.1 Actividad 1: Elaboración de hojas de registro.

Para llevar un registro del crecimiento, ración al día, peso, y algunas observaciones se creó una hoja de control (*Tabla 44*), su función es principalmente registrar la cantidad de follaje que se le da al día, al final de la semana se verifica el aumento de peso y el porcentaje de aumento semanalmente.

11.4.2 Actividad 2: Registro de pesos iniciales de los animales de ensayo

El registro de los pesos iniciales a los conejos como se puede observar en *Figura 37*, se realizó el 25 de Noviembre del 2019, como parte preliminar del ensayo, para poder ir observando y registrando los pesos posteriores semanalmente.

Figura 37. Pesos iniciales de los animales de ensayo



Elaborado por: Autores

11.4.3 Actividad 3: Verificación de aceptabilidad del alimento de follaje hidropónico de avena por parte de los conejos.

Un factor importante es ver cómo reaccionan los animales con el alimento de follaje hidropónico de avena, observar si el follaje es de su agrado, debido a que están acostumbrados a diferentes alimentos recurrentes como alfalfa, trébol y alimentos sustitutos como croquetas, con una tabla de aceptabilidad dependiendo de la cantidad de ingesta que se entrega cada mañana y la cantidad que se retira al día siguiente como desperdicio, se puede realizar una gráfica en la cual se demuestra que tan aceptable fue el follaje en el transcurso del tiempo.

11.4.3.1 Dosis diaria de alimentación

La cantidad de animales con la que se contó fue 3 conejos pequeños, los cuales, estarán con una dieta de únicamente follaje hidropónico, esto comprende a hojas, los tallos, la abundante torta radicular, las semillas sin germinar y las semillas pre germinadas, a estos se les suministrará una dosis de comida de 0,5 kg esta cantidad de comida, recomendada para este tipo de animales (ver Tabla 27).

Tabla 27. Dosis de follaje según especie animal

Dosis de follaje recomendada según la especie animal		
Especie Animal	Dosis de follaje kg/100Kg de peso vivo	Observaciones
Vaca lechera	1-2	Suplementar con paja de cebada y otras fibras
Cerdos	2	Crecen más rápido y se reproducen mejor
Aves	0,25	Mejoran factor de conversión
Caballos	1	Agrega fibra y comida completa, Mejoran performance en caballos de carrera, paso y tiro
Conejos	0,5-2	Suplementar con fibra y balanceados

Fuente: Guía y manual técnico de producción de forraje hidropónico de la universidad mayor de san Andrés

Al saber la cantidad de alimento que se debe suministrar diariamente se puede conocer que cantidad se consume y que cantidad deberá ser producida para que la producción no tenga acumulación excesiva de follaje así como falta del mismo, los tres animales diariamente consumen 1 bandeja de follaje.

$$1 \text{ bandeja} = 1,588 \text{ kg}$$

$$(0,5 \text{ kg} * \text{dia}) * 3 \text{ conejos} = 1,5 \text{ kg} * \text{dia}$$

11.4.3.2 Gráfica de aceptabilidad del alimento

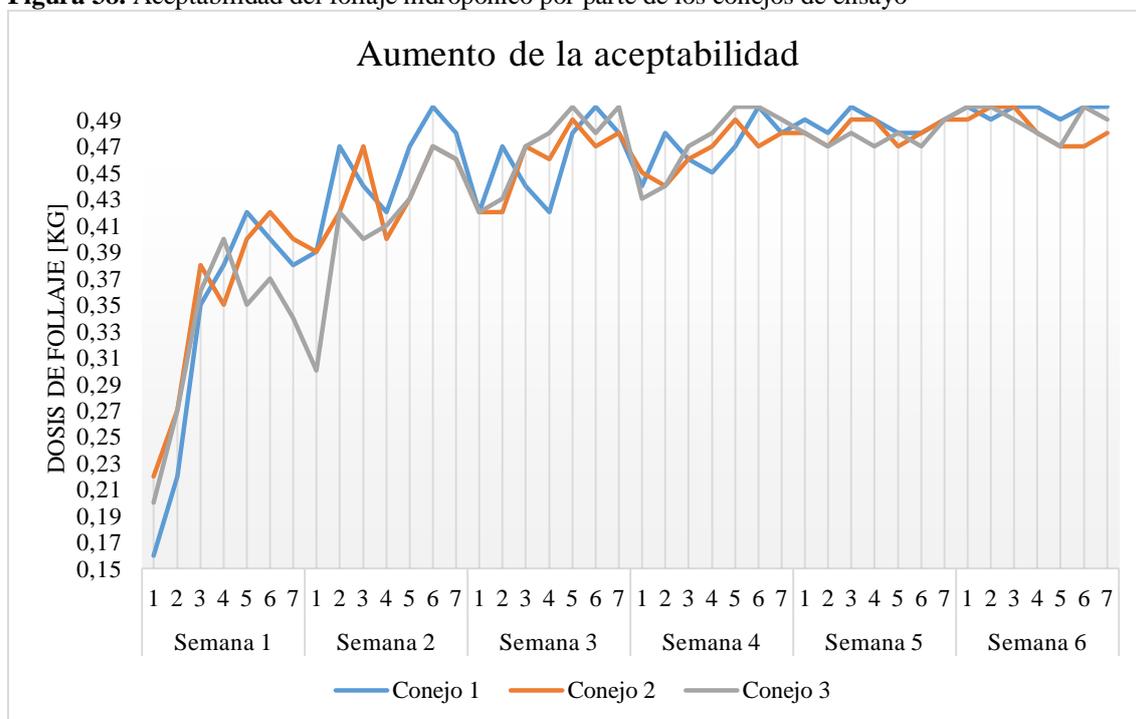
Para conocer si el follaje hidropónico de avena, es aceptado por los animales de experimentación se realizó una gráfica, que muestra denota cuanta cantidad de la dosis diaria estos consumen, a partir de esto, se puede conocer a que grado los animales aceptan este alimento.

Tabla 28. Cantidad de follaje consumido por los animales

Aceptabilidad del follaje Hidropónico								
Animal	Dias	Peso del follaje consumido [kg]						TOTAL
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	
Conejo 1	1	0,16	0,39	0,42	0,44	0,49	0,5	
	2	0,22	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49	
	3	0,35	0,44	0,44	0,46	0,5	0,5	
	4	0,38	0,42	0,42	0,45	0,49	0,5	
	5	0,42	0,47	0,48	0,47	0,48	0,49	
	6	0,4	0,5	0,5	0,5	0,48	0,5	
	7	0,38	0,48	0,48	0,48	0,49	0,5	
	TOTAL	2,31	3,17	3,21	3,28	3,41	3,48	
Conejo 2	1	0,22	0,39	0,42	0,45	0,48	0,49	
	2	0,27	0,42	0,42	0,44	0,47	0,5	
	3	0,38	0,47	0,47	0,46	0,49	0,5	
	4	0,35	0,4	0,46	0,47	0,49	0,48	
	5	0,4	0,43	0,49	0,49	0,47	0,47	
	6	0,42	0,47	0,47	0,47	0,48	0,47	
	7	0,4	0,46	0,48	0,48	0,49	0,48	
	TOTAL	2,44	3,04	3,21	3,26	3,37	3,39	
Conejo 3	1	0,2	0,3	0,42	0,43	0,48	0,5	
	2	0,27	0,42	0,43	0,44	0,47	0,5	
	3	0,36	0,4	0,47	0,47	0,48	0,49	
	4	0,4	0,41	0,48	0,48	0,47	0,48	
	5	0,35	0,43	0,5	0,5	0,48	0,47	
	6	0,37	0,47	0,48	0,5	0,47	0,5	
	7	0,34	0,46	0,5	0,49	0,49	0,49	
	TOTAL	2,29	2,89	3,28	3,31	3,34	3,43	

Elaborado por: Autores

Figura 38. Aceptabilidad del follaje hidropónico por parte de los conejos de ensayo



Elaborado por: Autores

La presenta gráfica (*Figura 38*), muestra la relación tiempo de ensayo y cantidad de follaje consumido por cada uno de los animales, este ensayo de aceptabilidad duro seis semanas, y como resultado se evidenció que, en las dos primeras semanas de prueba los animales no consumían en su totalidad el follaje hidropónico, evidenciando poca aceptabilidad por el cambio repentino de alimento, pero a partir de la tercera semana, se tuvo una aceptabilidad mucho mayor, denotando que el follaje hidropónico de avena, puede suplantar cualquier alimento tradicional, aportando además sus propiedades nutricionales, evidenciados en el aumento de peso que se detalla más adelante.

11.4.4 Actividad 4: Registro de aumento de pesos de los animales de ensayo

Una vez dosificada la ración diaria de follaje hidropónico de avena (0,5kg), se fue pesando y registrando semanalmente, para llevar una base de datos del aumento de pesos de los conejos.

Tabla 29. Registro de aumento de pesos de los conejos semanalmente

Registro de aumento de pesos de los conejos semanalmente							
Animal	Semanas						TOTAL [kg]
	1	2	3	4	5	6	
	[kg]						
Conejo 1	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,91
Conejo 2	0,08	0,1	0,12	0,14	0,15	0,17	0,76
Conejo 3	0,1	0,11	0,13	0,16	0,17	0,19	0,86
Testigo	0,05	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,59

Elaborado por: Autores

Tabla 30. Registro de pesos de los conejos semanalmente

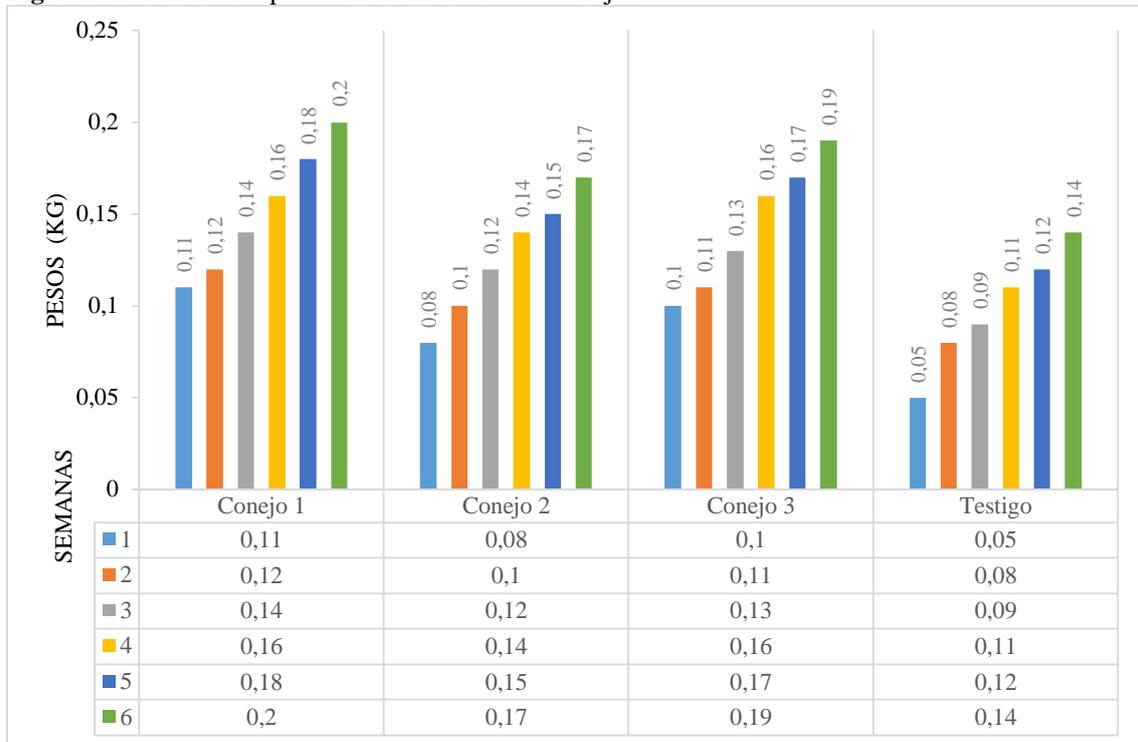
Registro de pesos de los conejos semanalmente							
Animal	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
	[kg]						
Conejo 1	1,04	1,15	1,27	1,41	1,57	1,75	1,95
Conejo 2	1,15	1,23	1,33	1,45	1,59	1,74	1,91
Conejo 3	1,04	1,14	1,25	1,38	1,54	1,71	1,9
Testigo	0,9	0,95	1,03	1,12	1,23	1,35	1,49

Elaborado por: Autores

Se pudo evidenciar en las seis semanas de ensayo, que los pesos se incrementan directamente proporcional a la aceptabilidad que tenían del follaje hidropónico, en la *Tabla 29*, se muestra el incremento de peso de los animales de prueba, con respecto a su peso inicial (tres conejos que consumían follaje hidropónico y de un conejo que consumía yerba tradicional alfalfa), y en la *Tabla 30* que se registraba en peso que tenían los animales al inicio de cada semana.

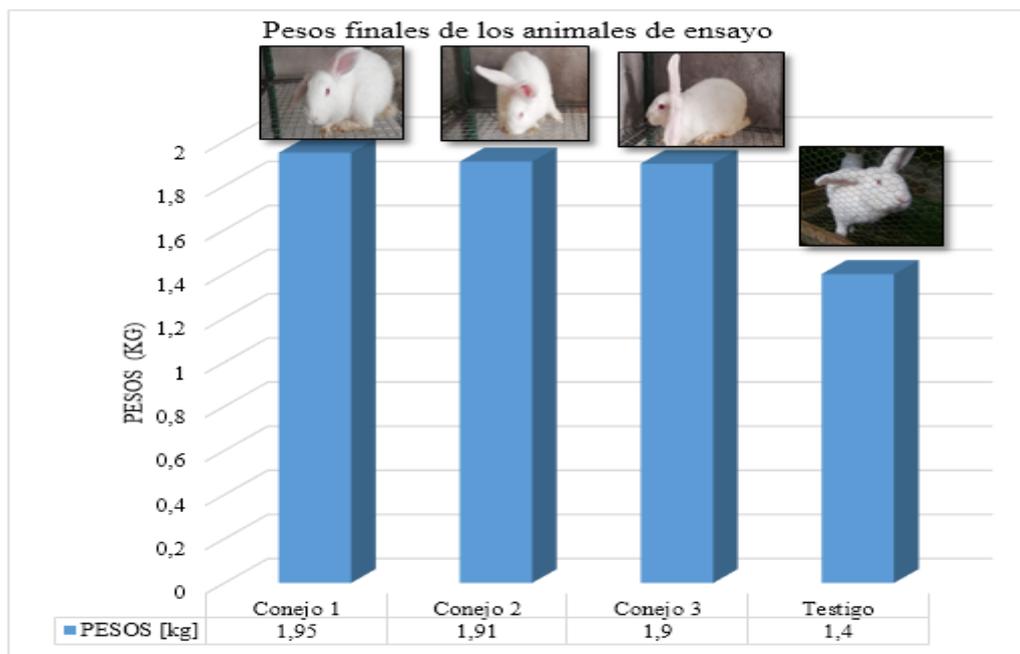
El resultado más evidente que se notó, es que los tres animales de ensayo que consumían follaje hidropónico de avena, adquirirían mayor peso, a diferencia que el animal que consumía solo yerba tradicional (alfalfa).

Figura 39. Aumento de peso semanalmente de los conejos



Elaborado por: Autores

Figura 40. Pesos finales de animales de ensayo



Elaborado por: Autores

Como se puede observar en la *Figura 40*, los pesos de los animales que consumieron follaje hidropónico de avena, aumentaron considerablemente, siendo el conejo de 1,95 kg el de mayor peso en el ensayo, en relación al animal que consumió alimento tradicional que llegó a pesar tan solo 1,4 kg.

11.5 Comprobación de Hipótesis

11.5.1 Aumento de la productividad

En la *Tabla 31*, se expresan los datos para el cálculo de la productividad.

Tabla 31. Datos para cálculo de la productividad

Datos	Proceso productivo antiguo	Proceso productivo automatizado
Lotes de producción	2 lotes/mes	2 lotes/mes
Mano de Obra (MO)	1	1
Materia Prima (MP)	56 kg	6.20 kg
Costo de MO	2,50 \$/h	2,50 \$/h
Costo MP (1 kg)	1.10 \$	1.10 \$
Producción	117,6 kg en 15 días	86 kg en 15 días

Elaborado por: Autores

11.5.1.1 Proceso Productivo Antiguo

11.5.1.1.1 Productividad Mono factorial

$$Productividad (MO) = \frac{2,10 \text{ kg} * 56 \text{ bandejas (2 lotes/mes)}}{(Mano de Obra)}$$

$$Productividad (MO) = \frac{(117,6 \text{ kg en 15 días})(2 \text{ lotes/mes})}{(1 \text{ trabajador})\left(\frac{2,50\$}{h} * 3h\right)(30 \text{ días})}$$

$$Productividad (MO) = \frac{235,2 \text{ kg/mes}}{(1 \text{ trabajador})(225 \$/mes)} = 1,05 \frac{\text{kg}}{\$} * \text{trabajador}$$

$$Productividad (MP) = \frac{117,6 \text{ kg en 15 días}}{(Materia Prima)}$$

$$Productividad (MP) = \frac{117,6 \text{ kg en 15 días (2 lotes/mes)}}{56 \text{ kg} * (1,10 \$/kg)(2 \text{ lotes/mes})}$$

$$Productividad (MP) = \frac{235,2 \text{ kg/mes}}{123,2\$/mes} = 1,90 \text{ kg}/\$$$

$$Productividad (Costo de Agua) = \frac{235,2 \text{ kg/mes}}{(Costo de Agua)}$$

$$\text{Productividad (Costo de Agua)} = \frac{235,2 \text{ kg/mes}}{(2 \text{ \$/mes})} = 117,6 \text{ kg/\$}$$

11.5.1.1.2 Productividad Multifactorial

$$\text{Productividad General} = \frac{235,2 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}}{(\text{Mano de Obra}) + (\text{Materia Prima}) + (\text{Costo de Luz}) + (\text{Costo de Agua})}$$

$$\text{Productividad General} = \frac{235,2 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}}{\left(\frac{2,50\$}{\text{h}} * 3\text{h} * 30 \text{ días}\right) + (123,2\$) + (0\$) + (2 \$)} = 0,67 \text{ kg/\$}$$

11.5.1.2 Proceso Productivo Actual:

11.5.1.2.1 Productividad Mono factorial

$$\text{Productividad (MO)} = \frac{4,3 \text{ kg} * 20 \text{ bandejas (2 lotes/mes)}}{(\text{Mano de Obra})}$$

$$\text{Productividad (MO)} = \frac{86 \text{ kg en 15 días (2 lotes/mes)}}{(1 \text{ trabajador})\left(\frac{2,50\$}{\text{h}} * 2\text{h}\right)(30 \text{ días})}$$

$$\text{Productividad (MO)} = \frac{172 \text{ kg/mes}}{(1 \text{ trabajador})(150 \text{ \$/mes})} = 1,15 \text{ kg/\$} * \text{trabajador}$$

$$\text{Productividad (MP)} = \frac{172 \text{ kg/mes}}{(\text{Materia Prima})}$$

$$\text{Productividad (MP)} = \frac{172 \text{ kg/mes}}{20 \text{ kg} * (1,10 \text{ \$/kg})(2 \text{ lotes/mes})}$$

$$\text{Productividad (MP)} = \frac{172 \text{ kg/mes}}{44\$/\text{mes}} = 3,90 \text{ kg/\$}$$

$$\text{Productividad (Costo de Agua)} = \frac{172 \text{ kg/mes}}{(\text{Costo de Agua})}$$

$$\text{Productividad (Costo de Agua)} = \frac{172 \text{ kg/mes}}{(0,50 \text{ \$/mes})} = 344 \text{ kg/\$}$$

11.5.1.2.2 Productividad Multifactorial

$$\text{Productividad General} = \frac{4,3 \text{ kg} * 20 \text{ bandejas}(2)}{(\text{Mano de Obra}) + (\text{Materia Prima}) + (\text{Costo de Luz}) + (\text{Costo de Agua})}$$

$$\text{Productividad General} = \frac{172 \text{ kg/mes}}{\left(\frac{2,50\$}{\text{h}} * 2\text{h} * 30 \text{ días}\right) + (44\$) + (1 \$) + (0,50 \$)} = 0,87 \text{ kg/\$}$$

11.5.1.3 Comparación del impacto de la productividad tras la automatización del proceso productivo del follaje hidropónico

Tabla 32. Comparación de la productividad Antigua vs. Actual

COMPARACIÓN PRODUCTIVIDAD FOLLAJE HIDROPÓNICO			
Productividad	Antigua	Actual	Mejora
	0,67	0,87	29.85%

Elaborado por: Autores

$$\text{Aumento de productividad} = \frac{0,87 - 0,67}{0,67} \times 100 = 29.85\%$$

La productividad en el proceso productivo del follaje hidropónico de avena, aumentó sustancialmente, pues los recursos están siendo aprovechados de mejor manera, permitiendo producir más kg de follaje con menor recurso y a lo largo del tiempo ampliar la oferta.

11.5.2 Comparación de la eficiencia del Antiguo vs. Actual, proceso productivo de follaje hidropónico

11.5.2.1 Proceso Productivo Antiguo

A continuación se presenta los cálculos de indicadores de productividad en relación con la eficiencia:

La capacidad instalada con la que contaba el antiguo proceso productivo era de 56 bandejas distribuidas en dos estanterías de madera, cada bandeja con 1 kg de semilla.

La capacidad con la que estaba diseñado el sistema para producir follaje hidropónico es de 10 veces más. La capacidad efectiva es de 7 veces más, pero la capacidad real que el sistema produce es 2 a veces más aproximadamente, es decir 2.5 kg, por cada bandeja.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Capacidad Real}}{\text{Capacidad Efectiva}} * 100$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{2.1 \text{ kg}}{7 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Eficiencia} = 0.30 * 100$$

$$\text{Eficiencia} = 30 \%$$

11.5.2.2 Proceso Productivo Actual:

Lo que se busca en la producción de follaje hidropónico de avena, es que, el peso de semilla que es colocado tenga un incremento de 5 veces su peso, esto quiere decir que si se coloca 0,31kg por lo mínimo se espera un follaje que supere los 1,5 kg, esto para cumplir con la dosis diaria se estableció dar diariamente a los animales de experimentación.

$$Eficiencia = \frac{Capacidad\ Real}{Capacidad\ Efectiva} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{4.83\ kg}{7\ kg} * 100$$

$$Eficiencia = 0.69 * 100$$

$$Eficiencia = 69\ \%$$

11.5.3 Optimización del recurso hídrico

11.5.3.1 Sistema de riego antiguo

La cantidad de agua utilizada en cada riego, es de 20 L en 3 min , al ser el riego tres veces al día, resulta en una cantidad de agua de 60 L/día. La cantidad de agua que queda impregnada en las semillas es de 9 litros, esto quiere decir que, los 11 litros restantes son desperdiciados ya que no existe un sistema de recolección que la reutilice:

Tabla 33. Cantidad de agua en el sistema de riego antiguo

Cantidad de agua en el sistema de riego antiguo			
Tipo	Cantidad por riego (L en 3 min)	Cantidad diaria (L/día)	Cantidad en 15 días (L)
Usada	9	27	405
Retorno	0	0	0
Desperdiciada	11	33	495

Elaborado por: Autores

A continuación se muestran los porcentajes que representan el uso y desperdicio del agua en el sistema de riego antiguo:

Figura 41. Porcentajes del sistema de riego antiguo

Elaborado por: Autores

La cantidad de agua total que se utilizaba en el riego durante 15 días, es de 900 litros, de los cuales el 55% que son 495 litros son desperdiciados, como se evidencia en la *Figura 41*, el desperdicio de agua resulta mayor que el agua que se utiliza para la obtención de follaje hidropónico.

11.5.3.2 Sistema de riego automatizado

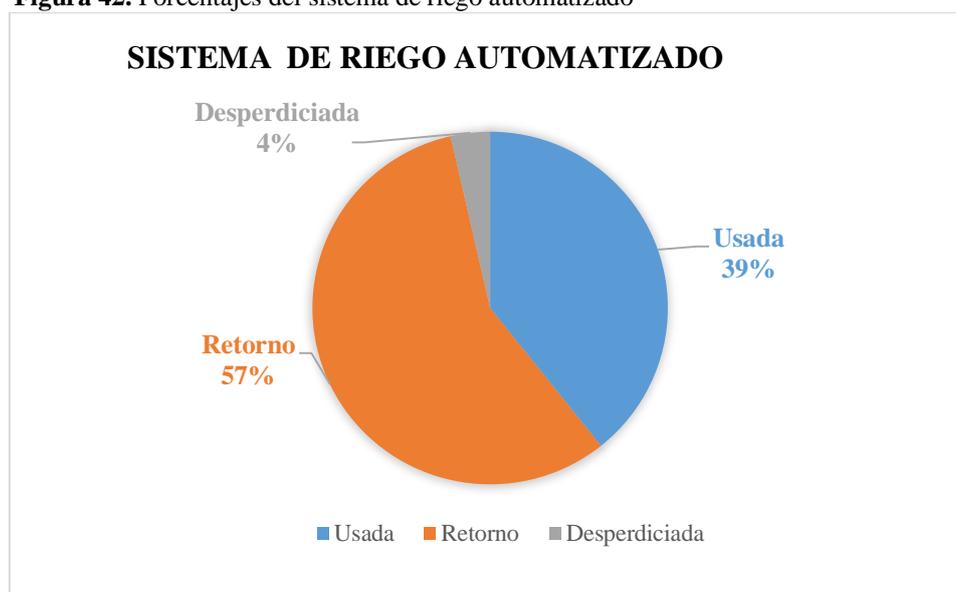
La cantidad de agua utilizada en el sistema de riego automatizado es de 14 L en 2 min, como se riega tres veces al día el gasto total diario es de, 42L/día, cabe recalcar que en este sistema el agua es reutilizable, de los 14 litros que entraban al sistema, 8 litros regresaban al contenedor, denotando que 6 litros de agua es absorbida por las semillas, de estos 6 litros, 0,5 litros se desperdiciaba debido a pérdidas de agua generada por la aspersión de los nebulizadores, o goteo fuera de las bandejas.

Tabla 34. Cantidad de agua en el sistema de riego automatizado

Cantidad de agua en el sistema de riego automatizado			
Tipo	Cantidad por riego (L en 2 min)	Cantidad diaria (L/día)	Cantidad en 15 días (L)
Usada	5,5	16,5	247,5
Retorno	8	24	360
Desperdiciada	0,5	1,5	22,5

Elaborado por: Autores

En este sistema el agua total desperdiciada es de 22,5 litros, una cantidad ínfima con respecto, a la pérdida de recurso hídrico que existía en el sistema antiguo.

Figura 42. Porcentajes del sistema de riego automatizado

Elaborado por: Autores

Durante 15 días, la cantidad de agua que circula en el sistema de riego automatizado es de 630 litros, de esta, el 39 % (247,5 litros) es usada en las bandejas, el resto es devuelto al contenedor, el agua que retorna tranquilamente puede abastecer otros 15 días más de riego, para la obtención de un nuevo lote de producción.

11.5.4 Comparación del aumento de peso del follaje hidropónico en el proceso productivo Antiguo vs. Automatizado

El mejoramiento del sistema para la producción de follaje hidropónico, es mucho mejor pues, se tiene un mejor aprovechamiento de la semilla, debido a que se obtuvo mayor cantidad de follaje utilizando una menor cantidad de semillas en cada bandeja.

Tabla 35. Cantidad de semillas utilizadas

Cantidad de semillas utilizadas	
Proceso productivo antiguo (kg)	Proceso productivo automatizado (kg)
1	0.31

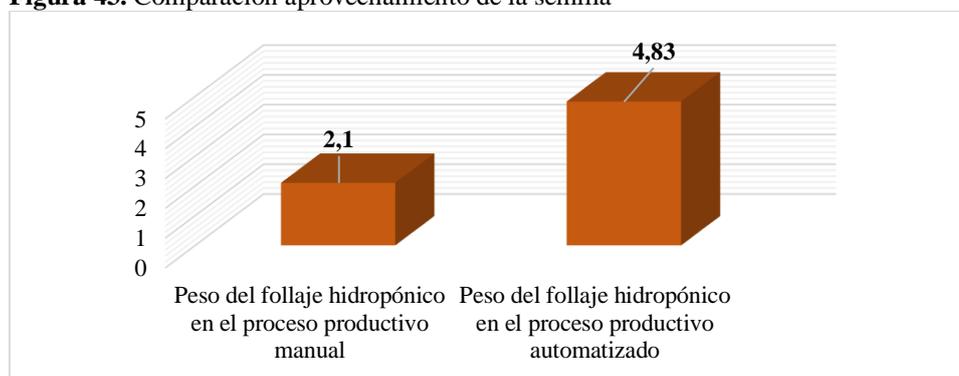
Elaborado por: Autores

Tabla 36. Comparativa peso sistema antiguo y sistema automatizado

Tiempo (días)	Peso antiguo sistema(kg)	Peso nuevo sistema(kg)
1	1	0,31
2	1,09	0,3544
3	1,152	0,369
4	1,245	0,428
5	1,312	0,512
6	1,397	0,5738
7	1,456	0,6448
8	1,534	0,7414
9	1,607	0,8776
10	1,689	1,0042
11	1,765	1,1196
12	1,883	1,2488
13	1,935	1,3452
14	1,988	1,4236
15	2,1	1,5118

Elaborado por: Autores

En la *Figura 43*, se puede apreciar el análisis de los dos sistemas de cultivo de follaje hidropónico, la primera barra corresponde al antiguo proceso productivo, donde se observa un incremento de follaje de 2,1 veces su peso inicial, por otra parte la segunda barra corresponde al proceso productivo automatizado en el cual existe un incremento de follaje de 4,83 veces su peso inicial, denotando que en el nuevo proceso se obtiene una mayor cantidad de peso, utilizando una menor cantidad de semilla.

Figura 43. Comparación aprovechamiento de la semilla

Elaborado por: Autores

11.5.5 Comparación del aumento de altura del follaje hidropónico en el proceso productivo Antiguo vs. Automatizado

El mejoramiento del proceso productivo de cultivo hidropónico de avena, da como resultado un incremento en el tamaño del follaje, en el proceso antiguo la altura máxima que tenía el follaje era de 13,5 cm, implementando el sistema automático de riego y los

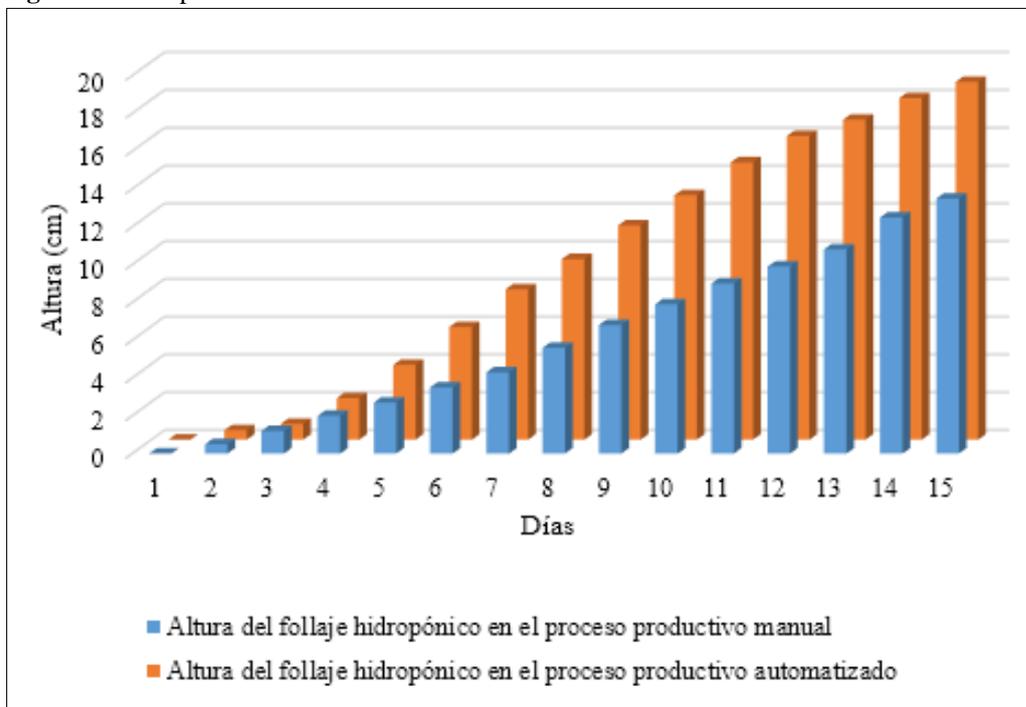
respectivos cambios en todo el proceso hizo que el follaje se desarrolle de mejor manera, el cual, alcanzó una altura máxima de 18,94 cm.

Tabla 37. Comparativa crecimiento antiguo y nuevo proceso

Tiempo (días)	Altura antiguo sistema(cm)	Altura nuevo sistema(cm)
1	0	0
2	0,5	0,5
3	1,2	0,84
4	2	2,2
5	2,7	3,96
6	3,5	5,96
7	4,3	7,96
8	5,6	9,56
9	6,8	11,34
10	7,9	12,94
11	9	14,68
12	9,9	16,08
13	10,8	16,94
14	12,5	18,08
15	13,5	18,94

Elaborado por: Autores

Figura 44. Comparación altura



Elaborado por: Autores

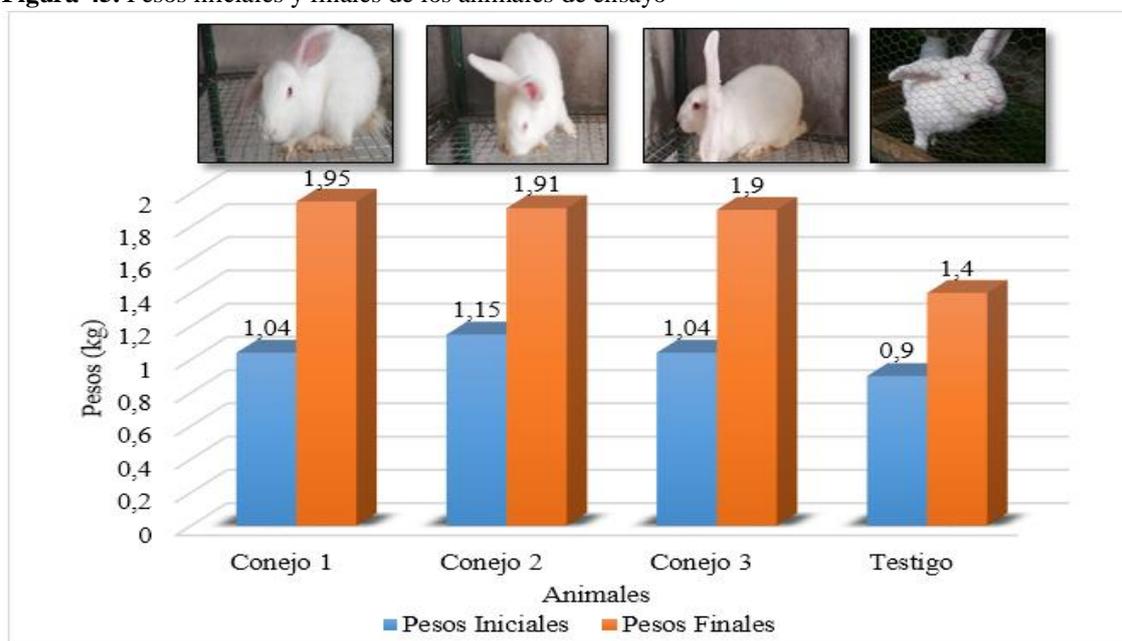
En la *Figura 44*, se observa que la altura del follaje hidropónico en el antiguo sistema productivo, llegaba solo hasta un aproximado de 13,5 centímetros a comparación con el

nuevo sistema automatizado, en la cual, el follaje llega hasta una altura de 18,94 centímetros teniendo una diferencia de cerca 6 centímetros más de follaje hidropónico que puede ser aprovechado por los animales.

El follaje, además, muestra mayor volumen de masa y vitalidad en comparación con el antiguo, el follaje del nuevo proceso productivo tiene una mayor calidad no presenta moho ni plagas.

11.5.6 Comparación de pesos iniciales y finales de los animales de ensayo

Figura 45. Pesos iniciales y finales de los animales de ensayo



Elaborado por: Autores

Como se puede mirar en la *Figura 45*, los pesos de los conejos de ensayo alimentados con follaje hidropónico de avena, han aumentado considerablemente, un promedio de 0,84 kg en un periodo de 6 semanas de ensayo, a comparación con el conejo testigo alimentado con alimento tradicional (alfalfa) que aumento 0,50 kg en el mismo periodo, por lo cual el follaje hidropónico aporta sus propiedades nutricionales evidenciados en el aumento de peso de los animales.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS)

El proyecto genera varios tipos de impactos, tanto desde su diseño y desarrollo hasta su puesta en marcha, denotando mucho los beneficios que brinda su funcionamiento.

12.1 Impacto Técnico

El sistema de riego hidropónico automatizado, garantiza que la siembra se encuentre en constante riego sin la necesidad de que el hombre esté involucrado en operación de abrir o cerrar válvulas, este sistema controlado por PLC que mediante comandos acciona la bamba en intervalos de encendido y de igual manera tiempo que permanecerá encendida la bomba, apagando y encendiendo la bomba de manera automática.

El sistema de riego está diseñado de tal manera que el gasto de agua sea el mínimo, mediante un sistema de riego por goteo en flauta que humedece la parte interior de la capa de semillas, y con aspersores nebulares que humedezcan la parte superior asegurando que toda las semillas cuenten con la humedad necesaria para su germinación y crecimiento.

12.2 Impacto Social

El hecho de tener un cultivo hidropónico automatizado ya es muy beneficioso, puesto que, se puede generar varios tipos de alimentos y germinación de semillas, en lugares áridos y con poca agua, en este caso genera un gran beneficio ya que el suelo árido que presenta el sector no da abasto para la producción de follaje de manera convencional, además que la persona que realiza la siembra no debe estar tan pendiente por la hora de riego, ya que esta se realiza automáticamente mientras el sistema esté funcionando.

12.3 Impacto Ambiental

El sistema de cultivo implementado, no genera algún tipo de desecho o contaminante tóxico, los químicos que son utilizados en el proceso de limpieza están suministrados en bajas dosis que son inofensivas, al momento de la siembra no existe la presencia de algún químico para el crecimiento del follaje.

12.4 Impacto Económico

La crianza de animales representa un rubro, importante en la comunidad del Chan, ya que, para muchas familias es un aporte para el sustento familiar, la implementación del proyecto da un nuevo enfoque a la crianza de follajes orgánicos, una nueva fuente de alimentación, el impacto económico que tiene el proyecto es positivo, debido a que completamente se centra en la optimización de recursos y los costos están completamente involucrados.

13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

En las siguientes tablas se dan a conocer los gastos, en la ejecución del presente proyecto de investigación, detallados por objetivos.

Tabla 38. Costos de Materia Prima

MATERIA PRIMA	Materia Prima Directa			
	Descripción	Unidad	Costo/Unidad	Costo Total (\$)
	Avena	80 libras	0,5	40
	TOTAL			40
	Materia Prima Indirecta			
	Descripción	Unidad	Costo/Unidad	Costo Total (\$)
	Vitavax	1 frasco	6,5	6,5
	Accesorios de instalación de la estructura			66,59
	Accesorios de instalación del sistema de riego automatizado			483,54
	TOTAL			556,63

Elaborado por: Autores

Tabla 39. Costos de Mano de Obra

MANO DE OBRA	Mano de Obra Directa			
	Descripción	Unidad	Costo/Unidad	Costo Total (\$)
	Investigador 1	7 días	13,36	93,52
	Investigador 2	7 días	13,33	93,31
	Trabajador	1 mes	400	400
TOTAL			586,83	

Elaborado por: Autores

Tabla 40. Costos Indirectos de Fabricación

Costos Indirectos de Fabricación			
Descripción	Unidad	Costo/Unidad	Costo Total (\$)
Transporte			
Movilización de investigadores	80 días	2,6	208
Transporte de estructura armada	2 veces	7	14
Alquiler			
Alquiler taller	1 día	40	40
Servicios Básicos			
Agua	33,33 m ³	0,48 \$/m ³	16,00
Luz	124,66 kW/h	0,073 \$/kWh	9,10
Suministros			
Esferos	2	0,5	1
Impresiones	64	0,05	3,2
TOTAL			291,30

Elaborado por: Autores

13.1 Costo Total del Proyecto de Investigación

Tabla 41. Costos Totales

COSTOS	TOTAL (\$)
Materia Prima	596,63
Mano de Obra	586,83
Costos Indirectos de Fabricación	291,30
Imprevistos 10%	147,48
TOTAL (\$)	1622,24

Elaborado por: Autores

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de finalizar el proyecto de investigación: “Mejora de un proceso productivo de cultivo hidropónico empleado para el consumo animal”, se concluye que:

14.1 Conclusiones

- Con la implementación del sistema de producción automatizado, la productividad incrementó un 29,85%, con respecto al sistema de producción de follaje antiguo, esto se debe, a que los recursos están siendo aprovechados de mejor manera, esto ayuda generar un follaje más voluminoso con una altura máxima de 18,94 cm, y tener, un mejor aprovechamiento de semilla de avena, ya que, tiene un incremento de 4,8 veces su peso inicial.
- En el proceso productivo del follaje hidropónico antiguo, con el análisis del diagrama de Pareto, se pudo conocer que las principales causas que afectan al crecimiento del follaje hidropónico, corresponde a la falta de agua de riego en algunas bandejas, el exceso de agua de riego en otras bandejas y el mal lavado de las semillas, siendo estas el 20% de las causas del 80 % de los problemas, por la cual, nos permite priorizar aquellos factores que realmente afectan al crecimiento del follaje en el proceso productivo y tomar decisiones correctivas.
- Con en el nuevo sistema de riego automatizado, se reduce el uso de agua a 630 litros de los 900 litros que antes se utilizaba, que puede ser usada para obtener hasta dos lotes de producción gracias al sistema de riego cerrado, además que, se eliminó la dependencia de una persona en el sistema de riego.
- Un cultivo hidropónico, representa una alternativa innovadora que puede ser aplicada en cualquier lugar, donde se puede construir mini granjas en las que se sembraría hortalizas y vegetales para el consumo propio, siendo muy beneficioso para muchas familias.
- El follaje hidropónico de avena, demostró ser un buen alimento sustituto para los animales de experimentación, su aceptabilidad creció paulatinamente, a finales de la segunda semana las raciones de follaje eran consumidas totalmente, y los animales que consumían el follaje, evidenciaban un crecimiento mucho mayor, en comparación a aquel consumía yerba tradicional (alfalfa).

14.2 Recomendaciones

- Tomar en cuenta en futuros trabajos las causas como mal lavado de las semillas, exceso de semillas en cada bandeja, falta de horas de pre germinación, exceso de impurezas en las semillas, que por falta de tiempo no se consideraron, esto para tener un mayor incremento en la producción de follaje.
- Trabajar en un nuevo diseño de estructura y sistema de riego, para poder minimizar o eliminar los desperdicios de agua.
- Experimentar con una diversa variedad de semillas para poder determinar, con que semilla se puede obtener mayor producción de follaje.
- Ensayar con diversas especies de animales, para conocer si el follaje hidropónico, ayuda a tener mayor crecimiento, engorde o mejora el sabor de animales a los que se suministre el follaje.
- Incrementar el número de estanterías y sistema de riego para conocer el límite de las capacidades instaladas del sistema ya que este proyecto está elaborado a una escala reducida.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Autodesk. (2019). AutoCAD. Retrieved from AutoCAD website: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). Introducción al cultivo hidropónico. *Cultivo En Hidroponía*, 1(978-950-34-1258-9), 181. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Bolivia Hidropónica. (2012). Cultivos Hidropónicos : Tipos de Cultivos Hidropónicos. Retrieved December 21, 2019, from <http://boliviahidroponica.blogspot.com/p/tipos-de-cultivos-hidroponicos.html>
- Bosques Vargas, J. H. (2010). *Curso básico de hidroponía*. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=HxOucQAACAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Bruno, L. (2019). Administración de la producción. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Campos y Covarrubias, G., & Lule Martínez, N. (2012). La observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai*, 7(13), 45–60.
- Carro, R., & Daniel, P. A. Z. (2012). Capacidad y distribución física. *Universidad Nacional de Mard de Plata*, 2. Retrieved from <http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1620>
- Castillero, O. (2019). Tipos de gráficas. Retrieved from <https://psicologiymente.com/miscelanea/tipos-de-graficas>
- Daugherty, R. L., & Franzini, J. B. (1977). *Fluid mechanics with engineering applications*.
- Diario La Hora. (2011). *Cultivos hidropónicos en Quito*. Retrieved from <https://www.lahora.com.ec/noticia/1101160353/cultivos-hidroponicos-en-quito>
- Doménech Roldán, J. M. (2017). Calidad José Manuel Domenech Roldán Profesor de Economía y Administración de Empresa Página: 1. *Calidad. ¿Qué Es AMFE?*, 1–7. Retrieved from <http://www.jomaneliga.es/PDF/Administrativo/Calidad/Histograma.pdf>

EL Comercio. (2015, April 30). *Los cultivos hidropónicos toman impulso en Cuenca*. Retrieved from <https://www.elcomercio.com/actualidad/cultivos-hidroponicos-toman-impulso-cuenca.html>

El Telegrafo. (2019). El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo - 10.000 millones de árboles desaparecen anualmente. Retrieved December 5, 2019, from <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/10-000-millones-de-arboles-desaparecen-anualmente>

Enriqueta, I., & Ángel, D. (2014). *Hidrodinámica*.

Facultad de Ingeniería Universidad Mayor de San Andrés, B. (2010). Forraje-Hidroponico. *U.M.S.A. Ingeniería Industrial*, p. 25. La Paz: Doble Creativa.

FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2013). Afrontar la escasez de agua Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. In *Informe Sobre Temas Hídricos no. 38*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>

Generación Verde. (2017). Tipos de sistemas hidropónicos para cultivar | Generación Verde. Retrieved December 21, 2019, from <https://generacionverde.com/blog/hidroponia/tipos-de-sistemas-hidroponicos/>

Greenlab. (2016). No Title. Retrieved from <http://www.greenlab.com.ec/quienes-somos>

Incusa. (2019). INCUSA Ingeniería de cultivos y servicios agropecuarios. Retrieved from <http://www.actiweb.es/incusa/index.html>

Kluwer, W. (2016). Produccion continua. Retrieved from http://diccionarioempresarial.wolterskluwer.es/Content/Documento.aspx?params=H4sIAAAAAAEAMtMSbF1jTAAASNTY1NjtbLUouLM_DxbIwMDS0NDQ3OQQGZapUt-ckhlQaptWmJOcSoAgBrvnDUAAAA=WKE

Maldonado, E. (2014). *Control De Temperatura En Instalaciones De Distribución Intermedia (Idf) De Edificios Inteligentes*. 134.

Martin, I., Salcedo, R., & Font, R. (2011). Tema2. Impulsión de fluidos. *Mecánica De Fluidos*, 64.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). En El Oro se promueven cultivo hidropónico de lechuga. Retrieved from <https://www.agricultura.gob.ec/en-el-oro-promueven-cultivo-hidroponico-de-lechugas-2/>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2018a). Cotopaxi: incentivan plan piloto para sistema de cultivo hidropónico de pasto. Retrieved from <https://www.agricultura.gob.ec/cotopaxi-incentivan-plan-piloto-para-sistema-de-cultivo-hidroponico-de-pasto/>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2018b). Se promueve cultivo hidropónico de frutilla. Retrieved from <https://www.agricultura.gob.ec/se-promueve-cultivo-hidroponico-de-frutilla/>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). Cultivo Hidroponico Ecuador. Retrieved from <https://www.agricultura.gob.ec/>

Potter, M. C., Wiggert, D. C., Ramadan, B., Shih, T. I.-P., Romo Muñoz, J. H., & León Cárdenas, J. (2015). *Mecánica de fluidos*.

Rivadeneira Rodríguez, E. M. (2015). Comprensión teórica y proceso metodológico de la investigación cualitativa. *In Crescendo*, 6(2), 169. <https://doi.org/10.21895/incres.2015.v6n2.16>

Romero, M. (2015). Producción de forraje verde hidropónico. Retrieved from forraje hidropónico website: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/produccion-forraje-verde-hidroponico-t32495.htm>

Sampieri R. H, Fernández c, B. P. (2010). *Metodología de la Investigación*.

Vianna, C. D. (2009). *Módulo 7*.

White, F. M. (2004). *mecánica de fluidos*.

16. ANEXOS

DATOS INFORMATIVOS PERSONAL DOCENTE			
Datos Personales			
Apellidos: Hidalgo Oñate			
Nombres: Ángel Guillermo			
Estado Civil: Soltero			
Cedula de ciudadanía: 0503257404			
Numero de cargas Familiares: 0			
Lugar y fecha de nacimiento: Saquisilí, 04 de junio de 1988.			
Dirección domiciliaria: Saquisilí, Barrio Mariscal Sucre Occidental			
Teléfono convencional: 032721576		Teléfono celular: 0998536700	
Email institucional: angel.hidalgo@utc.edu.ec			
Tipo de discapacidad: Ninguna			
# De carnet CONADIS: N/A			
ESTUDIOS REALIZADOS Y TÍTULOS OBTENIDOS			
Nivel título obtenido fecha de registro	Nivel título obtenido fecha de registro	Nivel título obtenido fecha de registro	Nivel título obtenido fecha de registro
Tercer	Ingeniero en Electrónica y Control	2013-09-12	1001-13-1236705
Cuarto	Master of Science in Electrical and Electronic Engineering	2017-02-01	826195058
HISTORIAL PROFESIONAL:			
Unidad administrativa o académica en la que labora: CIYA			
Área del conocimiento en la cual se desempeña: Circuitos Eléctricos, Instrumentación Industrial, Automatismos Eléctricos, PLCs y Electrónica de Potencia.			
Fecha de ingreso a la UTC: 10-04-2017			
 FIRMA			

DATOS PERSONALES		
Apellidos: Quimbiamba Cumbal		
Nombres: Jorge Vinicio		
Estado Civil: Soltero		
Cedula de ciudadanía: 172484457-4		
Edad: 23 años		
Lugar y fecha de nacimiento: La Esperanza, Tabacundo, 18 de Mayo de 1996.		
Dirección domiciliaria: Latacunga, Calle 10 de Agosto y México.		
Teléfono convencional: 032483133		Teléfono celular: 0939319945
Email institucional: jorge.quimbiamba4574@utc.edu.ec		
FORMACIÓN ACADÉMICA		
Nivel	Institución	Periodo Académico
Primaria	Escuela "19 de Noviembre"	2001 - 2008
Secundaria	Unidad Educativa "OTAVALO"	2008 - 2014
Ingles B1	Universidad Técnica de Cotopaxi	2016 - 2018
 FIRMA		

DATOS PERSONALES		
Apellidos: Portero Aponte		
Nombres: Flavio Joel		
Estado Civil: Soltero		
Cedula de ciudadanía: 180538468-0		
Edad: 23 años		
Lugar y fecha de nacimiento: Chibuleo San Pedro, Juan Benigno Vela, Ambato, 17 de febrero de 1996.		
Dirección domiciliaria: Latacunga, Calle 10 de Agosto y México.		
Teléfono convencional: 032483133		Teléfono celular: 0980639260
Email institucional: Flavio.portero4680@utc.edu.ec		
FORMACIÓN ACADÉMICA		
Nivel	Institución	Periodo Académico
Primaria	Escuela "Cnel. Jorge Gortaire"	2000 - 2007
Secundaria	Colegio técnico "Reinaldo Miño Altamirano"	2007 - 2013
Ingles B1	Universidad Técnica de Cotopaxi	2016 - 2018
 FIRMA		

Tabla 42. Hoja de control y registro de crecimiento del follaje hidropónico

		Universidad Técnica de Cotopaxi			
Hoja de control y registro de crecimiento del cultivo hidropónico (avena)					
Fecha:				Lote:	
Componentes a usar:					
Procedimiento realizado:					
Datos		Unidades		Observaciones	
Cantidad de agua					
Tiempo de riego					
Altura del follaje					
Tiempo de sembrío					
Peso del follaje					

Elaborado por: Autores

Tabla 43. Hoja de control de lotes de producción

	Universidad Técnica de Cotopaxi		
LOTE DE PRODUCCIÓN DE FOLLAJE HODROPÓNICO			
Fecha de inicio		Fecha de culminación	
Cantidad		Número de lote	
EXISTENCIA DE FALLAS			
Proceso:	Limpieza		Observaciones:
	Pre germinado		
	Germinado		
	Crecimiento		
EXISTENCIA DE PLAGA O MOHOSIDAD			
Proceso:	Limpieza		Observaciones:
	Pre germinado		
	Germinado		
	Crecimiento		
Medidas a tomarse:			

Elaborado por: Autores

Tabla 44. Hoja de control y registro de animales

		Universidad Técnica de Cotopaxi									
HOJA DE CONTROL ANIMALES											
Conejo #											
Peso al ingreso											
Fecha de ingreso											
Peso de aumento											
CONSUMO DE ALIMENTO EN Kg											
Fecha	L	M	M	J	V	S	D	Follaje diario [kg]	Consumo promedio Conejo [kg]	Desperdicio Alimentos [kg]	Observaciones
FORRAJE											
OBSERVACIONES											

Elaborado por: Autores

16.1 Registro del proceso productivo del follaje hidropónico en hojas técnicas.

		Universidad Técnica de Cotopaxi			
Hoja de control y registro de crecimiento del cultivo hidropónico (avena)					
Fecha:	11/11/2019	Lote:	001		
Componentes a usar: Se utiliza componente químico Vitabax para la limpieza de la semilla.					
Procedimiento realizado: <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza, pre-germinado • Se realizó la colocación de la semilla en bandejas para, su desarrollo. • Se sembraron un total de 20 bandejas. 					
Datos		Unidades		Observaciones	
Cantidad de agua	-	L			
Tiempo de riego	-	min			
Altura del follaje	-	cm			
Tiempo de sembrío	-	Día			
Peso del follaje	0,31	kg			

		Universidad Técnica de Cotopaxi			
Hoja de control y registro de crecimiento del cultivo hidropónico (avena)					
Fecha:	13/11/2019	Lote:	001		
Componentes a usar: Ninguno					
Procedimiento realizado: <ul style="list-style-type: none"> Revisión que no existe algún agente que impida el crecimiento normal de la semilla. 					
Datos		Unidades	Observaciones		
Cantidad de agua	18	L	Al día se riega 18 L, 0,9 por cada bandeja		
Tiempo de riego	2	min	Se riega 3 veces al día		
Altura del follaje	1	cm	Brotes de raíz		
Tiempo de sembrío	2	Día	Brotes de raíz		
Peso del follaje	0,353	kg	Peso inicial se semilla sembrada		

		Universidad Técnica de Cotopaxi		
Hoja de control y registro de crecimiento del cultivo hidropónico (avena)				
Fecha:	15/11/2019	Lote:	001	
Componentes a usar: Ninguno				
Procedimiento realizado: <ul style="list-style-type: none"> Revisión que no existe algún agente que impida el crecimiento normal de la semilla 				
Datos		Unidades	Observaciones	
Cantidad de agua	18	L	Al día se riega 18 L, 0,9 por cada bandeja	
Tiempo de riego	2	min	Se riega 3 veces al día	
Altura del follaje	4	cm	Brotes de follaje	
Tiempo de sembrío	5	Día		
Peso del follaje	0,385	kg	Peso inicial se semilla sembrada	

		Universidad Técnica de Cotopaxi			
Hoja de control y registro de crecimiento del cultivo hidropónico (avena)					
Fecha:	18/11/2019	Lote:	001		
Componentes a usar: Ninguno					
Procedimiento realizado: <ul style="list-style-type: none"> Revisión que no existe algún agente que impida el crecimiento normal de la semilla 					
Datos		Unidades		Observaciones	
Cantidad de agua	18	L	Al día se riega 18 L, 0,9 por cada bandeja		
Tiempo de riego	2	min	Se riega 3 veces al día		
Altura del follaje	10	cm	Follaje		
Tiempo de sembrío	8	Día			
Peso del follaje	0,658	kg	Peso inicial se semilla sembrada		

		Universidad Técnica de Cotopaxi		
Hoja de control y registro de crecimiento del cultivo hidropónico (avena)				
Fecha:	20/11/2019	Lote:	001	
Componentes a usar: Ninguno				
Procedimiento realizado: <ul style="list-style-type: none"> Revisión que no existe algún agente que impida el crecimiento normal de la semilla 				
Datos		Unidades	Observaciones	
Cantidad de agua	18	L	Al día se riega 18 L, 0,9 por cada bandeja	
Tiempo de riego	2	min	Se riega 3 veces al día	
Altura del follaje	13	cm	Follaje	
Tiempo de sembrío	10	Día		
Peso del follaje	0,970	kg	Peso inicial se semilla sembrada	

		Universidad Técnica de Cotopaxi		
Hoja de control y registro de crecimiento del cultivo hidropónico (avena)				
Fecha:	22/11/2019	Lote:	001	
Componentes a usar: Ninguno				
Procedimiento realizado: <ul style="list-style-type: none"> Revisión que no existe algún agente que impida el crecimiento normal de la semilla 				
Datos		Unidades	Observaciones	
Cantidad de agua	18	L	Al día se riega 18 L, 0,9 por cada bandeja	
Tiempo de riego	2	min	Se riega 3 veces al día	
Altura del follaje	16	cm	Follaje	
Tiempo de sembrío	12	Día		
Peso del follaje	1,279	kg	Peso inicial se semilla sembrada	

		Universidad Técnica de Cotopaxi		
Hoja de control y registro de crecimiento del cultivo hidropónico (avena)				
Fecha:	25/11/2019	Lote:	001	
Componentes a usar: Ninguno				
Procedimiento realizado: <ul style="list-style-type: none"> Revisión que no existe algún agente que impida el crecimiento normal de la semilla 				
Datos		Unidades	Observaciones	
Cantidad de agua	18	L	Al día se riega 18 L, 0,9 por cada bandeja	
Tiempo de riego	2	min	Se riega 3 veces al día	
Altura del follaje	19	cm	Follaje	
Tiempo de sembrío	15	Día		
Peso del follaje	1,58	kg	Peso inicial se semilla sembrada	

16.2 Registro de lotes de producción de follaje hidropónico

		Universidad Técnica de Cotopaxi			
LOTE DE PRODUCCIÓN DE FOLLAJE HODROPÓNICO					
Fecha de inicio	11/11/2019		Fecha de culminación	25/11/2019	
Cantidad	20 bandejas		Número de lote	001	
EXISTENCIA DE FALLAS					
Proceso:	Limpieza	x	Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> • Excesiva cantidad de basura en las semillas. • Falta de pre-germinación. 		
	Pre germinado	x			
	Germinado				
	Crecimiento				
EXISTENCIA DE PLAGA O MOHOSIDAD					
Proceso:	Limpieza		Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> • En todo el proceso no se encontró existencia de plagas. • No excedes el límite de tiempo de vida del follaje ya que se empieza a marchitar y genera la descomposición de las semillas 		
	Pre germinado				
	Germinado				
	Crecimiento	x			
Medidas a tomarse: <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar químico limpiador (Vitabax) • Pre-germinación de un día 					

16.3 Registro de pesos iniciales y consumo del follaje hidropónico

Semana 1

		Universidad Técnica de Cotopaxi										
HOJA DE CONTROL ANIMALES												
Conejo #		1										
Peso al ingreso		1,04 kg										
Fecha de ingreso		Lunes 25 de Noviembre del 2019										
Peso de aumento		0.11 kg										
												
CONSUMO DE ALIMENTO EN Kg												
Fecha	L	M	M	J	V	S	D	Follaje diario [kg]	Consumo promedio Conejo [kg]	Desperdicio Alimentos [kg]	Observaciones	
25 de Nov. 2019								0,5	0,4	0,1	Poca aceptación del follaje	
26 de Nov. 2019								0,5	0,29	0,21		
27 de Nov. 2019								0,5	0,35	0,15		
28 de Nov. 2019								0,5	0,38	0,12		
29 d de Nov. 2019								0,5	0,42	0,08		
30 de Nov. 2019								0,5	0,4	0,1		
1 de Dic. 2019								0,5	0,38	0,12		
TOTALES								3,5	2,62	0,88		
FORRAJE												
OBSERVACIONES												

		Universidad Técnica de Cotopaxi									
HOJA DE CONTROL ANIMALES											
Conejo #		2									
Peso al ingreso		1,15 kg									
Fecha de ingreso		Lunes 25 de Noviembre del 2019									
Peso de aumento		0,08 kg									
CONSUMO DE ALIMENTO EN Kg											
Fecha	L	M	M	J	V	S	D	Follaje diario [kg]	Consumo promedio Conejo [kg]	Desperdicio Alimentos [kg]	Observaciones
25 de Nov. 2019								0,5	0,42	0,28	Poca aceptación del follaje
26 de Nov. 2019								0,5	0,27	0,23	
27 de Nov. 2019								0,5	0,38	0,12	
28 de Nov. 2019								0,5	0,45	0,05	
29 d de Nov. 2019								0,5	0,42	0,08	
30 de Nov. 2019								0,5	0,47	0,10	
1 de Dic. 2019								0,5	0,4	0,1	
TOTALES								3,5	2,44	1,06	
FORRAJE											
OBSERVACIONES											

		Universidad Técnica de Cotopaxi									
HOJA DE CONTROL ANIMALES											
Conejo #		3									
Peso al ingreso		1,04 kg									
Fecha de ingreso		Lunes 25 de Noviembre del 2019									
Peso de aumento		0,10 kg									
CONSUMO DE ALIMENTO EN Kg											
Fecha	L	M	M	J	V	S	D	Follaje diario [kg]	Consumo promedio Conejo [kg]	Desperdicio Alimentos [kg]	Observaciones
25 de Nov. 2019								0,5	0,22	0,28	Media aceptación del follaje
26 de Nov. 2019								0,5	0,27	0,23	
27 de Nov. 2019								0,5	0,36	0,14	
28 de Nov. 2019								0,5	0,4	0,1	
29 d de Nov. 2019								0,5	0,45	0,05	
30 de Nov. 2019								0,5	0,48	0,02	
1 de Dic. 2019								0,5	0,43	0,07	
TOTALES								3,5	2,61	0,83	
FORRAJE											
OBSERVACIONES											

Semana 1

	Universidad Técnica de Cotopaxi	
HOJA DE CONTROL ANIMALES		
Conejo #	4	
Peso al ingreso	0,9 kg	
Fecha de ingreso	Lunes 25 de Noviembre del 2019	
Peso de aumento	0,05 kg	
CONSUMO DE ALIMENTO EN Kg		
<ul style="list-style-type: none"> • Suministro de yerba (alfalfa) • No se le suministra follaje hidropónico. 		
OBSERVACIONES		