

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Integración de tecnología en invernadero de la finca “Joshua”, Jalapa

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
José Carlos Pérez Villatoro
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Mecatrónica

Guatemala
2016

Integración de tecnología en invernadero de la
finca “Joshua”, Jalapa

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería




Integración de tecnología en invernadero de la finca “Joshua”, Jalapa

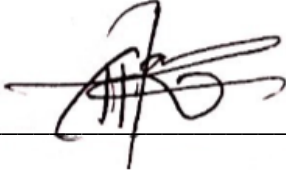
Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
José Carlos Pérez Villatoro
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Mecatrónica

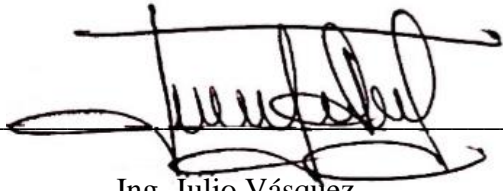
Guatemala
2016

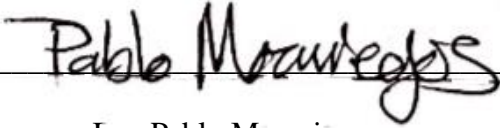
Vo. Bo. :

(f) 
MSc. Carlos Esquit

Tribunal Examinador:

(f) 
MSc. Carlos Esquit

(f) 
Ing. Julio Vásquez

(f) 
Ing. Pablo Mazariegos

Fecha de aprobación: Guatemala 5 de diciembre de 2016

PREFACIO

Una de las oportunidades más grandes en mi vida ha sido trabajar en el campo, poderme empapar de las actividades agrícolas, las cuales han sido el motivo de la subsistencia alimenticia para nuestro país, Guatemala, durante siglos. Mi mayor motivación para realizar esta tesis ha sido incorporar al sector agrícola, en su modalidad de agricultura protegida y de precisión, todas las nuevas tecnologías que existen a nuestro alcance y los conocimientos invaluable que he adquirido en esta magna casa de estudios. Esta travesía inicia en Monjas, municipio de Jalapa, pero mi afán es que algún día la tecnología pueda llegar a todo el país como una herramienta valiosa y no un suplente para las personas que laboran en el campo.

La limitación de presupuesto para el proyecto fue uno de los mayores retos afrontados, pero esto fue reflejo de que con una inversión media se pueden lograr grandes aportes tecnológicos a la agricultura protegida y de precisión.

Agradezco a la *Asociación para el Desarrollo de las Finanzas Rurales (ASODEFIR)*, por brindarme la confianza para la elaboración de este proyecto de graduación en las instalaciones de la finca “Joshua”, específicamente en el invernadero. Al Ing. Agrónomo Edín Barrientos, por mostrarme las infinitas posibilidades dentro de la agricultura como medio de desarrollo del país. A MSc. Carlos Esquit, quien fue guía durante este proceso y quién al impartir el curso de Electrónica del Estado Sólido me devolvió el amor perdido por mi carrera.

De manera especial agradezco a Dios, a mi familia y seres amados: mi padre quien me dio la oportunidad de estudiar y ha sido ejemplo de esfuerzo y convicción; mi madre quien con sus oraciones y especial cuidado ha sido apoyo durante todos mis desvelos y triunfos; mi hermano quien ha sido compañía en los buenos y malos momentos; mis abuelas quienes con su cariño y crianza fueron las que forjaron mi carácter y pensamiento; mi novia quien nunca me ha negado su apoyo.

ÍNDICE

	Página
PREFACIO.....	v
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	2
1. General	2
2. Específicos	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Agricultura protegida	4
B. Invernaderos	4
C. Tipos de invernaderos	5
1. Invernadero tipo parral o almeriense	5
2. Invernadero tipo capilla (a dos aguas).....	6
3. Invernadero en diente de sierra.....	7
4. Invernadero holandés (tipo Venlo).....	7
D. Ventajas y desventajas de los invernaderos.....	8
1. Ventajas.....	8
2. Desventajas.....	8
E. Historia de la hidroponía	8
F. Definición de hidroponía.....	9
G. Sistemas de producción hidropónicos	9
H. Sustrato sólido.....	10
1. Cascarilla de arroz	11
2. Aserrín de maderas (no latifoliadas ni pino)	11
3. Escoria volcánica, arena de río y arena blanca.	11
I. Solución nutritiva	11
J. Preparación de la solución nutritiva	11
K. Calidad de agua para la solución nutritiva	12

L. Conductividad Eléctrica en la solución (CE)	12
M. Oxigenación de la solución nutritiva	13
N. Aplicación de la solución nutritiva	13
O. Riego	13
P. Luz	14
V. ANTECEDENTES	15
A. Monografía de El Salamo, Jalapa	15
1. Aspectos generales	15
2. Antecedentes históricos	15
3. Localización	15
4. Límites y extensión	15
5. Clima	15
6. Vías de acceso	15
7. Servicios públicos	15
8. Aspectos económicos y actividades productivas	15
9. Sectores económicos del departamento de Jalapa	16
B. Proyecto de Invernadero en la finca “Joshua”, en el corredor seco	16
C. Instalaciones del invernadero de la finca “Joshua”, Jalapa	17
VI. DISEÑO	20
A. Movimiento de la pantalla de protección de rayos UV	20
B. Activación de dos dosificadoras según horarios de riego de solución nutritiva	24
C. Riego de agua para fin de semana, previo al riego de solución nutritiva y días que no se encuentre el personal dentro de la finca.	27
D. Activación corta de un soplador cuando se activen las dosificadoras.	29
E. Activación de ventiladores mediante un termostato para reducir la temperatura dentro del invernadero.	31
VII. RESULTADOS	35
A. Movimiento de la pantalla de protección de rayos UV	35
B. Activación automática de dosificadoras para la solución nutritiva	36
C. Riego automático de agua para fin de semana, previo al riego de solución nutritiva y días que no se encuentre el personal dentro de la finca.	37
D. Instalación de un termostato para la activar y desactivar cuatro ventiladores	39
E. Presupuesto aproximado del costo de la tecnología instalada	39

F. Selección de cable para cada instalación	40
G. Diagrama unifilar de la instalación	42
H. Retroalimentación por parte de los trabajadores de la finca	43
VIII. CONCLUSIONES	44
IX. RECOMENDACIONES.....	45
X. BIBLIOGRAFÍA	46
XI. ANEXOS	47
A. Enlaces de video-entrevistas con el personal de la finca “Joshua”.....	47
B. Tablas de selección de conductores.....	48

LISTA DE CUADROS

	Página
1. Cuadro 1. Tiempos de accionamiento manual de la pantalla UV (cifras en minutos).....	35
2. Cuadro 2. Tiempos de accionamiento con motor de la pantalla UV (cifras en minutos).....	35
3. Cuadro 3. Horario de encendido/apagado de Temporizador de dosificadoras de solución nutritiva	36
4. Cuadro 4. Tiempo invertido en los once riegos por día, muestra de ocho riegos en distintas fechas entre lunes-viernes (cifras en horas)	36
5. Cuadro 5. Horario de encendido/apagado de temporizador bomba de agua (Todos los días de la semana).....	38
6. Cuadro 6. Tiempo invertido dentro del invernadero destinado a un solo riego de solución nutritiva y agua (cifras en minutos).....	38
7. Cuadro 7. Temperatura dentro del invernadero entre 12:00 pm y 1:00 pm en distintos días de la semana (cifras grados Centígrados, °C).....	39
8. Cuadro 8. Presupuesto de materiales.....	39
9. Cuadro 9. Cálculos de la sección de conductor y corriente nominal para sistemas monofásicos..	41
10. Cuadro 10. Selección de calibre del cable por criterios de ampacidad y tensión.....	41
11. Cuadro 11. Selección de ducto eléctrico para cableado del motor de la pantalla UV.....	42

LISTA DE FIGURAS

	Página
12. Figura 1. Invernadero tipo almeriense, finca "Joshua".....	6
13. Figura 2. Invernadero tipo capilla.	6
14. Figura 3. Invernadero diente de sierra, ubicado en Puebla, México.....	7
15. Figura 4. Invernadero tipo holandés, ubicado en Dijon, Francia.	8
16. Figura 5. Tipos de sistemas hidropónicos: raíz flotante, sistema recirculante, sustrato sólido.	10
17. Figura 6. Reservorios de la finca "Joshua" para las soluciones A y B respectivamente	12
18. Figura 7. Medición de la conductividad eléctrica de soluciones nutritivas.	13
19. Figura 8. Inicio de construcción de invernadero de la finca "Joshua", Jalapa.....	17
20. Figura 9. Estructura del Invernadero fabricada con tubería galvanizada	18
21. Figura 10. Invernadero de la finca "Joshua" terminado.	18
22. Figura 11. Sistema de riego y fertilización del invernadero.....	19
23. Figura 12. Surcos con los sustratos y las plantas	19
24. Figura 13. Mecanismo polea- cadena para accionar la cortina UV	20
25. Figura 14. Activación manual de cortina UV.....	21
26. Figura 15. Motor marca Leeson de ½ HP para accionar la cortina UV y acople a la caja reductora	22
27. Figura 16. Cortina UV cerrada en 1 minuto y 10 segundos gracias al motor.....	23
28. Figura 17. Stop de emergencia para detener el motor de la cortina UV.....	23
29. Figura 18. Dosificadoras de bombas de pistón para la solución nutritiva A y B.....	24
30. Figura 19. Tablero de accionamiento de bombas y soplante.....	25
31. Figura 20. Accionamiento manual del riego previo a la instalación de tecnología	25
32. Figura 21. Configuración de Temporizador para dosificadoras (izquierda) y Temporizador de la bomba de agua (derecha).....	26
33. Figura 22. Agrónomos y trabajadores verificando taponamiento durante el riego implementando el Temporizador	27
34. Figura 23. Bomba para el riego de agua dentro del Invernadero	28
35. Figura 24. Invernadero en horario de riego automático, día domingo	28
36. Figura 25. Sistema de tubería PVC para inyección de aire de la turbina	29
37. Figura 26. Turbina de 1/2 HP para el soplador	30
38. Figura 27. Interruptor con retardo para la activación del soplador	30
39. Figura 28. Termostato digital utilizado para la activación de ventiladores.....	31
40. Figura 29. Termostato digital instalado dentro del invernadero.....	32
41. Figura 30. Sensor de temperatura del termostato digital	32
42. Figura 31. Temperatura alta de 39.1°C registrada previo a la instalación de ventiladores	33
43. Figura 32. Temperatura de 31.1°C registrada después de la instalación de ventiladores.....	33
44. Figura 33. Invernadero previo a la instalación de ventiladores.....	34
45. Figura 34. Ventiladores instalados a aproximadamente 7.5 metros de altura dentro del invernadero	34
46. Figura 35. Plantas en mal estado debido al descuido de falta de riego de agua	37
47. Figura 36. Plantas saludables gracias a la constante hidratación de la planta	38

48. Figura 37. Diagrama unifilar completo de la instalación de tecnología	42
49. Figura 38. Diagrama unifilar de motor de pantalla UV, bombas dosificadoras y de agua	42
50. Figura 39. Diagrama unifilar de turbina del soplador y los cuatro ventiladores	43

RESUMEN

Mediante la integración de distintas tecnologías al invernadero en la finca “Joshua”, ubicado en Jalapa, se optimizaron labores realizadas dentro del invernadero y se redujo el tiempo invertido dentro del invernadero. La agronomía protegida puede ser una gran herramienta para el desarrollo rural del país, promoviendo trabajo a las personas que vivan cerca. Ejemplo de ello es la implementación de tecnología que facilite y optimice las actividades propias del invernadero.

Las actividades seleccionadas que se facilitaron mediante tecnología fueron: el movimiento de una cortina solar mediante un motor, activación de dos bombas, riego automático para fin de semana, activación de un soplador con temporizadores, activación de ventiladores mediante un sensor térmico.

A través de la aplicación de conocimientos adquiridos durante la carrera, se obtuvieron datos como: tiempo efectivo para realizar una actividad, tiempo invertido dentro del invernadero en horas de máximo calor antes y después de implementar tecnología, cálculo de calibre de cables y protecciones de algunos de los dispositivos que se emplearon.

La tecnología instalada en conjunto permitió eliminar el tiempo invertido en riegos, creó la ventaja de no permanecer dentro del invernadero para esta actividad y permitió el riego automático de agua durante los fines de semana, que eran días donde se necesitaba permanecer dentro de la finca para realizar esta actividad. Previo a la instalación de tecnología se invertían aproximadamente dos horas solamente en los riegos durante el día, pero con la tecnología este tiempo es ahora destinado para otras labores dentro de la finca.

I. INTRODUCCIÓN

La agronomía en Guatemala representa una de las actividades de mayor importancia en el área rural del país. La tecnología puede ser una gran herramienta para el sector agrícola, proporcionando alternativas como mejor uso del agua, mejores frutos, mayor control de plagas, entre otras.

La integración de tecnología a la finca “Joshua”, en el departamento de Jalapa busca ser un modelo de como la tecnología puede ayudar a optimizar las labores dentro del invernadero, así como mejorar las condiciones de trabajo para el equipo de campesinos, agrónomos e ingenieros que forman parte de la finca.

La finca al encontrarse en el área del denominado corredor seco del país, tiene problemas para contar con agua en la mayoría de fincas y terrenos. Por lo tanto, un mejor control en cuanto a los tiempos de riego para optimizar el uso del agua es necesario y que mejor manera que utilizando tecnología que permita precisión para realizar esta actividad de manera automática.

Se detectaron ciertas actividades dentro de la finca que podrían ser optimizadas con la integración de tecnología. Estas actividades fueron analizadas y se documentó el tiempo necesario para realizar cada una de ellas. Entre las actividades más destacadas se detectó que el accionamiento de una cortina de protección solar requería un tiempo promedio de accionamiento de trece minutos de manera manual, además de que se perdían al día aproximadamente dos horas dedicadas al riego de las plantas.

Con los conocimientos adquiridos durante la carrera se integró tecnología que pudo mejorar y optimizar las actividades del invernadero. Después de la integración de tecnología solamente se necesitó un minuto aproximadamente para el accionamiento de la cortina solar. Además, la tecnología instalada permitió a los trabajadores no dedicar tiempo al riego, ahora este se realiza de manera automática y pueden dedicar este tiempo a otras actividades mejorando sus condiciones de trabajo.

La retroalimentación por parte del equipo de trabajo de la finca respecto a la tecnología instalada fue buena, demostrando que la tecnología puede ser una herramienta valiosa para el desarrollo del área rural.

II. OBJETIVOS

1. GENERAL

Optimizar, mediante la integración de tecnología, labores que requieren invertir tiempo dentro del invernadero y mostrar a los trabajadores de la finca “Joshua” que la tecnología es una herramienta valiosa para realizar labores dentro del invernadero.

2. ESPECÍFICOS

- a. Facilitar mediante un motor eléctrico el movimiento manual de una cortina solar.
- b. Activación de dos dosificadoras según horarios de riego para evitar que los trabajadores inviertan tiempo dentro del invernadero.
- c. Implementar riego automático de agua para fin de semana y días que no se encuentre el personal dentro de la finca.
- d. Activación corta de un soplador cuando se activen las dosificadoras.
- e. Activación de ventiladores mediante un sensor térmico para reducir la temperatura dentro del invernadero.
- f. Comparar el tiempo efectivo dentro del invernadero durante las actividades realizadas antes y después de la implementación de tecnología
- g. Entrevistas con el personal para determinar la aceptación por parte del personal (algunos de los trabajadores no saben leer por lo tanto una encuesta escrita no podrá realizarse)

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente uno de los principales retos en la ingeniería es la aceptación por parte de la cultura en Guatemala. Vemos como algunas personas se rehúsan adoptar la tecnología como una manera más eficaz de realizar su trabajo. Esto con la idea de que la máquina llegará a suplir algún día su trabajo.

Esta idea no es del todo errónea debido a que la tecnología puede hacer tareas que en algunos casos pueden ser riesgosas, complejas o precisas para un humano.

El invernadero de la finca “Joshua” es una iniciativa por parte de la Asociación para el Desarrollo de las Finanzas Rurales (ASODEFIR), con el afán de promover la agricultura protegida de precisión dentro de las comunidades del corredor seco del departamento de Jalapa en la República de Guatemala.

Los retos fueron que se contaba con un presupuesto limitado, esto requería una sabia decisión de los materiales a comprar, tomando en cuenta que algunos de los materiales utilizados fueron los inventariados por la finca.

Las deficiencias de la finca eran ciertas actividades que requerían mucho tiempo para realizarse, demasiado esfuerzo físico, como una cortina de rayos UV que requería jalar una cadena en una polea durante quince minutos para cerrarla o abrirla, o demasiado tiempo dentro del invernadero, como era el caso de la activación de bombas y dosificadoras estando atento al reloj para accionarlas de forma manual.

Uno de los retos más complejos fue la integración de tecnología para ser una ayuda y no suplir al trabajador, este trabajo de graduación busca la manera de mostrar a los trabajadores del invernadero de la finca “Joshua”, ubicada en El Salamo, cómo la tecnología puede ser una herramienta efectiva que puede facilitar su trabajo en la agricultura protegida (invernaderos).

IV. MARCO TEÓRICO

A. Agricultura protegida

Se define a la agricultura protegida como una serie de técnicas o sistemas de producción que permiten modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar un crecimiento vegetal óptimo y, con ello, un alto rendimiento, o bien obtener cosechas en fechas en las que con los cultivos conducidos tradicionalmente no pueden obtenerse si no es con un alto riesgo.

El invernadero representa la herramienta clave de la agricultura protegida y puntualiza dos aspectos importantes, el primero es la eficiencia e idoneidad para condicionar algunos de los principales elementos del clima dentro de límites determinados de acuerdo con las exigencias fisiológicas del cultivo; y la segunda es la funcionalidad, definida como el conjunto de requisitos que permiten la mejor utilización del invernadero, tanto desde el punto técnico como económico. [7]

B. Invernaderos

Son lugares cerrados, estático y accesible a pie, que se destina a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico. Esto permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas.

Aprovecha el efecto producido por la radiación solar que, al atravesar un vidrio u otro material traslúcido, calienta los objetos que hay adentro.

El cristal o plástico, usado para un invernadero, trabaja como medio selectivo de la transmisión para diversas frecuencias espectrales. Su efecto es atrapar energía dentro del invernadero, que calienta el ambiente interior. También sirve para evitar la pérdida de calor por convección. Esto puede ser demostrada abriendo una ventana pequeña cerca de la azotea de un invernadero: la temperatura cae considerablemente.

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de mejor calidad y mayores rendimientos en cualquier momento del año. Esto a la vez permite alargar el ciclo de cultivo, produciendo en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios. Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero.

Las estructuras de los invernaderos deben reunir las condiciones siguientes:

- Deben ser ligeras y resistentes
- De material económico y de fácil conservación
- Susceptibles de poder ser ampliadas
- Que ocupen poca superficie
- Adaptables y modificables a los materiales de cubierta

La estructura del invernadero es uno de los elementos constructivos que mejor se debe estudiar, desde el punto de vista de la solidez y de la economía, a la hora de definirse por un determinado tipo de invernadero.

Los materiales más utilizados en la construcción de las estructuras de los invernaderos son madera, hierro, aluminio, alambre galvanizado y hormigón armado. Es difícil encontrar un tipo de estructura que utilice solamente una clase de material, lo común es emplear distintos materiales.

En las estructuras de los invernaderos que se construyen en la actualidad se combinan los materiales siguientes: madera y alambre; madera, hierro y alambre; hierro y madera; hierro, alambre y madera; hormigón y madera; hormigón y hierro; hormigón, hierro, alambre y madera.

El diseño de los invernaderos se divide en dos grandes áreas, una es el diseño agronómico, la otra es el diseño estructural. El primero se basa en las necesidades ambientales del cultivo y el segundo se centra más en las cuestiones técnicas que requieran cálculos.

Uno de los aspectos más importantes a considerar cuando se habla de diseño estructural de invernaderos son los elementos que los componen. Es necesario conocer su función principal para considerarlos como factores que de una u otra manera condicionarán el diseño de la estructura.

Los principales elementos de un invernadero son:

- La estructura
- La cubierta
- El área de crecimiento de cultivos
- El sistema de riego y drenaje
- El sistema de ventilación
- El sistema de calentamiento y enfriamiento
- El sistema de iluminación
- Los sistemas mecánicos y de automatización

Es importante que cuando se plantee el diseño estructural de un invernadero se tengan en consideración todos los puntos mencionados; de lo contrario es muy probable que después se tengan que hacer adecuaciones que impliquen un gasto extra de recursos materiales y humanos. [2]

C. Tipos de invernaderos

Existe una gran variedad de invernaderos que se pueden clasificar según ciertos criterios como: materiales para la construcción, tipo de material para la cobertura característica, el tipo del techo, las dimensiones, entre otros. [2]

El tipo de invernadero que se encuentra en la finca “Joshua”, Jalapa, el Invernadero tipo almeriense.

A continuación, se mencionan algunos tipos de invernaderos, los cuales son comunes dentro del territorio guatemalteco.

1. **Invernadero tipo parral o almeriense.** El invernadero tipo parral se desarrolló a partir de unas estructuras del mismo nombre que servían de soporte al cultivo de la uva de mesa de la zona de Almería. Estas estructuras están conformadas a base de postes de madera y un tejido o malla de alambre, a unos dos metros de altura, sobre los cuales se guían los sarmientos de la parra, colgando los racimos de uva bajo su sombra, libres de follaje, lo que facilita su tratamiento y recolección. La amplia tradición en la construcción artesanal de parrales propició en su día, junto al desarrollo en la aplicación de los plásticos en la agricultura, un amplio desarrollo de este tipo de invernaderos. [4]

Son invernaderos originados en la provincia de Almería (España), de palos y alambres, denominados parral por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre empleados en los parrales para uva de mesa. Actualmente existe una versión moderna a los originales, que se construyen con caños galvanizados como sostenes interiores, permaneciendo el uso de postes para los laterales de tensión o aún, siendo reemplazados también por muertos enterrados, para sujeción de los vientos constituidos por doble alambre del 8.

Estos invernaderos suelen tener una altura en la cumbre de 3,0 a 3,5 m, la anchura variable, pudiendo oscilar en 20 metros o más por largo variable. La pendiente es casi inexistente, o bien (en zonas con pluviometría de riesgo) suele darse 10° - 15° , lo que represente altura de los laterales del orden de 2,0-2,3 m. Se ventila solamente a través de las aberturas laterales. En la techumbre solo se utiliza un doble entramado de alambre, por entre el cual se coloca la lámina de polietileno, sino otra sujeción. [2]

Figura 1. Invernadero tipo almeriense, finca "Joshua".



2. **Invernadero tipo capilla (a dos aguas).** Se trata de una de las estructuras más antiguas, empleadas en el forzado de cultivos. La pendiente del techo (cabio) es variable según la radiación y pluviometría (variando normalmente entre 15° y 35°). Las dimensiones del ancho, varían entre 6 y 12 m (incluso mayores), por largo variable. La altura de los laterales varía entre 2,0-2,5 m y la de cumbre 3,0-3,5 m (también se construyen más bajos que los señalados, pero no son recomendables).

La ventilación de estos invernaderos en unidades sueltas, no ofrece dificultades; tornándose más dificultosa cuando varios de estos invernaderos se agrupan formando baterías. [2]

Figura 2. Invernadero tipo capilla. [9]



3. **Invernadero en diente de sierra.** Una variación de los invernaderos tipo capilla, que se comenzó a utilizar en zonas con muy baja precipitación y altos niveles de radiación, fueron los invernaderos a una vertiente.

Estos invernaderos, contaban con una techumbre única inclinada en ángulos que variaban entre 5° y 15° (orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del Sol - norte para el hemisferio sur-). El acoplamiento lateral de este tipo de invernaderos dio origen a los conocidos como dientes de sierra. La necesidad de evacuar el agua de precipitación, determinó una inclinación en las zonas de recogida desde la mitad hacia ambos extremos. [2]

Figura 3. Invernadero diente de sierra, ubicado en Puebla, México. [10]



4. **Invernadero holandés (tipo Venlo).** Son invernaderos de vidrio, los paneles descansan sobre los canales de recogida del agua pluvial. La anchura de cada módulo es de 3,2 m y la 15

La separación entre postes en el sentido longitudinal es de 3 m. Estos invernaderos carecen de ventanas laterales (puede ser debido a que en Holanda no existen demasiadas exigencias en cuanto a ventilación). En vez, tiene ventanas cenitales, alternadas en su apertura (una hacia un lado y la siguiente hacia el otro) cuyas dimensiones son de 1,5 m de largo por 0,8 m de ancho. [2]

Figura 4. Invernadero tipo holandés, ubicado en Dijon, Francia. [5]



D. Ventajas y desventajas de los invernaderos

1. Ventajas

- Precocidad en los frutos
- Aumento de la calidad y del rendimiento
- Producción fuera de época
- Ahorro de agua y fertilizantes
- Mejora del control de insectos y enfermedades
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año

2. Desventajas

- Alta inversión inicial.
- Alto costo de operación.
- Requiere personal especializado, de experiencia práctica y conocimientos teóricos. [2]

E. Historia de la hidroponía

La hidroponía es catalogada como una ciencia que estudia los cultivos, donde no es utilizado como medio de cultivo el suelo. Los pioneros de la hidroponía, trataban de identificar aquellos elementos que el suelo pudiera proveer a las plantas, para lograrlo sumergían las plantas en bañeras, con lo cual disolvían de esta forma los elementos químicos artificiales.

En el año 1600 se divulgó la primera nota científica escrita, próxima al descubrimiento de los constituyentes de las plantas por el belga Jan Van Helmont, donde mostró que las plantas obtienen sustancias a partir del agua.

La hidroponía no es una técnica moderna, sino más bien una técnica ancestral; en la época antigua hubo cultura y civilizaciones que la emplearon como una forma de subsistencia. Se puede poner como ejemplo, que es poco conocido que los aztecas edificaron una ciudad en el lago de Texcoco y cultivaban el maíz sobre barcasas con un entramado de pajas, y de ahí se abastecían.

Existen muchos ejemplos como éste; en Babilonia los Jardines Colgantes fueron hidropónicos, debido a que los mismos se alimentaban de agua que fluía por canales. Dicha técnica existía en la antigua India, China, Egipto, así como era utilizada por la gran cultura Maya, en la

actualidad se tiene como referencia a una tribu asentada en el lago Titicaca y es empleada comercialmente, utilizándola por países donde los recursos tanto suelo y agua tienden a ser una limitante.

Por otra parte, para alimentar a los astronautas la NASA ha recurrido a los sistemas hidropónicos desde hace aproximadamente 30 años. Hoy en día resulta más preciso el cultivar bajo este sistema hidropónico en sustratos inertes, con lo cual se facilite el absorber de una mejor manera los nutrientes diluidos en el agua, que contiene todos aquellos elementos indispensables para el normal desarrollo y crecimiento de las plantas.

Dentro de los materiales empleados se pueden mencionar: arena de río, cascarilla de arroz, aserrín y algunos más. En lo que respecta a la América Latina, la hidroponía ha sido orientada para ayudar a solucionar los problemas de disponibilidad y a la vez de acceso de alimentos frescos y sanos, para ello va enfocada a la hidroponía Popular con lo cual se realizan adaptaciones tecnológicas que puedan permitir el empleo de materiales locales o de aquellos que se puedan reciclar. En algunos países como Chile, Costa Rica, Colombia, Nicaragua y El Salvador, se han ejecutado proyectos de esta naturaleza con lo cual se ha contribuido a una mejora en la calidad de vida de las personas, siendo en su mayoría mujeres de aquellas comunidades beneficiadas, ya que por medio de las micro-empresas hidropónicas son auto-sostenibles, y sus productos obtenidos son de mejor calidad que aquellos cultivados en el sistema convencional.

En Guatemala se han tenido buenas experiencias trabajando con niños, personas de la tercera edad y mujeres tanto en el área urbana como en el área rural. Los resultados obtenidos de estas experiencias, han demostrado que, al utilizar la técnica para la hidroponía Popular, la misma puede ser implementada como un proyecto productivo en aquellas zonas donde tanto los recursos suelo como agua tienden a ser una limitante. [8]

F. Definición de hidroponía

La hidroponía es traducida literalmente como trabajo del agua y se dice que es una técnica de producción de cultivos sin suelo. El suelo es reemplazado por el agua con los nutrientes minerales esenciales disueltos en ella o por materiales inertes como arena, cascarilla de arroz, grava, *etc.*, llamados sustratos. La producción sin suelo permite obtener hortalizas de excelente calidad y asegurar un uso más eficiente del agua y fertilizantes. Los rendimientos por unidad de área son altos, por la mayor densidad y elevada producción por planta, lográndose mayores cosechas por año.

Consideran la hidroponía hoy en día como una rama establecida de la Agronomía, que bajo ciertas circunstancias y para algunos cultivos presenta muchas ventajas tanto técnicas, como económicas con aquellos normales en suelo. Por otra parte, la hidroponía ha demostrado en otros países su rentabilidad para producir alimentos frescos, flores, semillas, aceites esenciales, *etc.*

Por otra parte, no se pretende indicar que la hidroponía tienda a sustituir la agricultura normal en suelo, sino que a la vez la complementa donde ésta es difícil o imposible. [8]

G. Sistemas de producción hidropónicos

Al hablar de sustrato, se entiende que son aquellos materiales sobre los cuales les dan sostén y se desarrollan las raíces de las plantas; los mismos pueden ser tanto sólidos como líquidos. Por lo general, los sistemas de producción de cultivos hidropónicos, se pueden dividir en dos grupos, esto va a depender del tipo de sustrato que se emplee a saber:

- A. Sistemas hidropónicos con sustrato líquido.
- B. Sistemas hidropónicos con sustrato sólido.

Cada uno de estos dos tipos de sistemas hidropónicos, poseen una serie de variantes, que van a depender básicamente de la manera en que se dispone el sustrato y el recipiente o contenedor utilizado para ello.

Por ejemplo, en los sistemas hidropónicos en el cual se emplea como sustrato el agua, podemos encontrar el sistema de raíz flotante y el sistema recirculante; para los sistemas hidropónicos que emplean sustrato sólido, se cuenta con el sistema de canales, sistema de cajueta y el sistema de mangas colgantes. [8]

Figura 5. Tipos de sistemas hidropónicos: raíz flotante, sistema recirculante, sustrato sólido. [3]



En el invernadero de la finca “Joshua”, Jalapa, se emplea el sistema de producción hidropónico de sustrato sólido. Utilizando cascarilla de arroz como sustrato, en sistema de canales.

H. Sustrato sólido

Se puede argumentar que los sustratos sólidos son todos aquellos materiales en donde se desarrollan las raíces de las plantas y le sirven para su sostén. Al utilizar sustratos sólidos combinados, resulta mejor que emplearlos individualmente, ya que se aprovechan las características como producto de la mezcla de cada uno de ellos. [8]

En la agricultura se utilizan vastos materiales para los sustratos, en algunos casos se pueden mezclar los materiales, pero no es aconsejable mezclarlos si no se saben los porcentajes adecuados de cada material para el crecimiento de la planta que se desea cultivar. Esto es debido a que cada material aporta una composición distinta para la absorción y retención de nutrientes que la planta podría necesitar.

A continuación, se mencionan algunos de los materiales utilizados para los sustratos sólidos.

1. **Cascarilla de arroz.** El uso de la cascarilla de arroz, cuando es utilizada se debe de dejar en remojo por lo menos 8 días; luego se bota el agua y se le agrega más hasta que salga limpia. Se debe de realizar este proceso antes de sembrar o trasplantar.

2. **Aserrín de maderas (no latifoliadas¹ ni pino).** Cuando se emplea aserrín, éste debe de poseer un 20%, como máximo, de la mezcla del sustrato, sin embargo, si se emplean cantidades muy grandes, tienden a ser nocivas para el desarrollo de algunas plantas. Se debe emplear aserrín de maderas finas como palo blanco, cedro o caoba.

3. **Escoria volcánica, arena de río y arena blanca.** Al utilizar algún tipo de arena, ésta se debe de lavar adecuadamente para eliminar impurezas que las mismas contengan.

I. Solución nutritiva

La solución nutritiva es el conjunto de macro y micro nutrientes requeridos por las plantas que se encuentran disueltos en agua. En un sistema hidropónico, con excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados por medio de la solución nutritiva y en forma asimilable por las raíces de las plantas, por lo tanto, se considera que debe ser un requisito fundamental la solubilidad de los iones esenciales en él.

El nitrógeno, el potasio, el fósforo, el calcio, el azufre y el magnesio, denominados macro nutrientes, se agregan al agua a partir casi siempre de fertilizantes comerciales. Los micro nutrientes por lo general se encuentran incluidos como impurezas en el agua y en los fertilizantes que proporcionan los macro elementos y a excepción del hierro (que debe añadirse regularmente en la solución), solo se añade cuando existe necesidad.

No existe una solución teórica ideal para un determinado cultivo, debido a que la concentración ideal de elementos nutritivos para una especie vegetal en particular, estará dada por la parte de la planta que se va a cosechar, la calidad del agua, el estado de desarrollo de la planta, el clima y la estación del año.

Cuando se prepara la solución nutritiva es preferible utilizar fertilizantes denominados de calidad o grado de invernadero. Una calidad pobre del fertilizante contendrá siempre gran cantidad de impurezas (arcilla, arena y partículas de limo), las cuales pueden formar una capa sobre la zona radicular; dicha capa no solamente puede impedir alcanzar esta zona a algunos nutrientes, sino que también obstruirá o taponará las líneas de alimentación de agua en sistemas hidropónicos automatizados. La solución puede renovarse periódicamente o bien reutilizarse por un tiempo indefinido. [8]

J. Preparación de la solución nutritiva

Por lo regular se propone en forma general para todos los casos la preparación de dos soluciones madres, la solución A, en la cual se incluyen todos los macro nutrientes y la solución B, en la cual se incluyen los micro nutrientes. Estas soluciones madres fueron creadas por la Organización Mundial de la Alimentación y se encuentran a disposición en el Instituto de Nutrición para Centro América y Panamá (INCAP). Los agricultores que se dedican a los cultivos hidropónicos, únicamente necesitan mezclar ambas soluciones en agua, según lo que recomiende las etiquetas de los envases. Sin embargo, las materias primas que se emplean en la preparación de ambas soluciones son factibles de conseguir en el medio agrícola. [8]

¹Latifoliadas: árboles frondosos que pueden tener hojas anchas o algunas especies pueden tener hojas alargadas y angostas. Por ejemplo, laurel, roble, avellano, arce, abedul, entre otros.

Figura 6. Reservorios de la finca “Joshua” para las soluciones A y B respectivamente



K. Calidad de agua para la solución nutritiva

Es de suma importancia el conocer la composición química del agua para decidir si es factible su uso para producir cultivos hidropónicos. Hoy en día existen laboratorios donde se pueden enviar muestras de agua donde le realicen un análisis químico. En la preparación de la solución nutritiva se debe tener presente la concentración de macro y micro nutrientes en el agua.

Por lo general el agua contiene elementos como magnesio, azufre, calcio y boro, de ahí que se deben de tomar en cuenta al momento de formular la solución nutritiva. En algunas fuentes de agua se presentan contenidos de sodio y cloruros, en altas concentraciones, con lo cual aumenta la salinidad de la solución nutritiva y puede ocasionar toxicidad a las plantas. Por lo expuesto anteriormente, no es aconsejable emplear fertilizantes con contenidos de sodio y cloruros como materias primas en la preparación de la solución nutritiva. En conclusión, el agua utilizada en hidroponía debe de ser potable de buena calidad y con bajos contenidos de cloro y sodio. Mediante el agua, se proporciona a las plantas la solución nutritiva. [8]

L. Conductividad Eléctrica en la solución (CE)

Es de suma importancia conocer la conductividad eléctrica, debido a que la misma nos indica la concentración de sales que contiene una solución de agua y esto impide el flujo de agua hacia las raíces, a la vez disminuye la absorción de agua, fertilizantes, *etc.* Por ejemplo, al aumentar la CE, la planta deja de crecer o se aletarga y por el contrario si la CE, baja la planta muestra deficiencias. Esta se expresa en *miliSemens (mS/cm)* o en *deciSemens (dS/cm)*.

El rango óptimo de conductividad eléctrica para un adecuado crecimiento del cultivo se establece entre 1.5 a 2.5 *mS/cm*. Por lo general, se recomienda realizar dicha evaluación por lo menos una vez por semana. Cuando la solución nutritiva sobrepasa el límite del rango óptimo de conductividad eléctrica, se procede a agregar agua o en caso contrario si se encuentra por debajo del rango óptimo, deberá renovarse totalmente.

Para realizar la medición de este parámetro, se recurre a un medidor portátil denominado conductímetro, mismo que debe calibrarse según las indicaciones de su proveedor, para evitar errores en el manejo de la solución. [8]

Figura 7. Medición de la conductividad eléctrica de soluciones nutritivas. [3]



M. Oxigenación de la solución nutritiva

Cuando no se da una buena oxigenación, se produce la fermentación de la solución y como resultado la pudrición de la raíz, originada por la aparición de microorganismos. Una raíz sana y bien oxigenada debe ser blanquecina, de lo contrario ésta se torna oscura, debido a muerte del tejido radicular. La oxigenación puede ser manual (agitando la solución manualmente por algunos segundos, por lo menos dos veces al día. Cuando las temperaturas son altas, se requiere mayor oxigenación); o mecánica, mediante una compresora, inyectando aire durante todo el día.

Dependiendo de la coloración de la raíz o por la presencia de algas, el agua se cambia totalmente cada tres semanas. La aireación se realiza por lo menos dos veces al día, preferiblemente por la mañana y en la tarde. [8]

N. Aplicación de la solución nutritiva

En hidroponía, cuando se trabaja en sustrato sólido, la adición de la solución nutritiva debe de realizarse todos los días. La aplicación de la solución nutritiva puede realizarse manualmente por medio de regaderas plásticas, se debe de evitar el uso de aquellas que son elaboradas de metal, debido a que las mismas tienden a desestabilizar los nutrientes que contienen las soluciones madres.

También la solución nutritiva se puede aplicar con sistemas controladores automáticos de dosificación de nutrientes, pH y programador de aplicación. Cuando se aplica la solución se debe de aplicar en las primeras horas del día y si es necesario en días muy calurosos, se deberá regar también en las horas de la tarde. [8]

O. Riego

Un sistema de riego para suplementar las necesidades de agua de las plantas y a la vez incorporarles los elementos nutritivos que son necesarios, en los cultivos hidropónicos es fundamental. El riego puede aplicarse desde un sistema manual, utilizando para ello una regada elaborada con galones de aceite de plástico, hasta uno más avanzado donde se emplean controladores automáticos de dosificación de nutrientes *pH* y programador de riego. [8]

P. Luz

En los cultivos hidropónicos, el factor luz es de suma importancia, para el desarrollo de las plantas, pero no todas necesitan la misma cantidad de luz. Durante el invierno es indispensable que los cultivos reciban la mayor cantidad posible de luz, debido a que durante esta estación del año los días pasan nublados por la alta nubosidad presente en el ambiente. [8]

En algunos invernaderos existen pantallas con filtro UV para mitigar los rayos del Sol, reducir la temperatura interna del invernadero y proteger los contenedores con las soluciones nutritivas. Cabe resaltar que existen especies de plantas que se dan mejor con sombra.

V. ANTECEDENTES

A. Monografía de El Salamo, Jalapa

1. **Aspectos generales.** El municipio de Monjas se ubica al sur del departamento de Jalapa. Cuenta con 12 aldeas entre las cuales está El Salamo. A continuación, se describe la monografía de esta aldea. [11]

2. **Antecedentes históricos.** En 1911, la aldea El Salamo perteneciente al Municipio de San Pedro Pinula Jalapa, pasó a ser parte del municipio de Monjas con el nombre de San Juan Salamo, el cual cambió su nombre el 4 de enero de 1960 a El Salamo. Cuenta con los caseríos Juan Cano y Los Cerritos.

Se cree que el poblado nació a partir de la ocupación de los rancheros: José Luis Villanueva, Manuel Méndez, Martín Ávila, Pablo Aguirre, Simeón Pérez y el Lic. Daniel Menéndez, quien posteriormente se convirtió en el dueño de la finca San Juan Salamo, luego de los terremotos de esta finca fueron donados durante la Revolución de 194, para la creación de la Aldea. [11]

La feria es realizada el 24 de junio en honor de su patrón San Juan.

3. **Localización.** La aldea El Salamo se encuentra ubicada a 12 km al norte de la cabecera del municipio de Monjas pasando por la aldea San Antonio. [11]

4. **Límites y extensión.** La aldea El Salamo está limitada de la siguiente manera: al norte con el municipio San Pedro Pinula, al sur con el municipio de Monas, al este con el municipio de San Manuel Chaparrón y al oeste con la aldea Mojarritas. Su extensión comprende nueve kilómetros cuadrados.

5. **Clima.** El clima de la aldea El Salamo es caluroso, se mantiene entre los 30 y 35 grados centígrados, tanto en el verano como en el invierno, no es propenso a lluvias muy fuertes.

La estación meteorológica más cercana es La Ceibita PHC, de la cuenca Ostua-Güijja, departamento de Jalapa, municipio de Monjas, con elevación de 961, latitud 142907 longitud 895310

6. **Vías de acceso.** Para acceder a la aldea El Salamo, por la Carretera Nacional 19 en el kilómetro 8, en el desvío hacia San Manuel Caparrón, pasando por la aldea San Antonio, se recorren 5 kilómetros para llegar a dicha aldea.

7. **Servicios Públicos.** La población de la aldea El Salamo cuenta con energía eléctrica, agua potable, alumbrado público, iglesia centro de salud, escuela, cancha deportiva y telefonía celular. El servicio de transporte hacia la cabecera municipal es a través de vehículos, motocicletas y transporte extraurbano.

8. **Aspectos económicos y actividades productivas.** La economía de El Salamo, está orientada principalmente a la agricultura y al ganado lechero, utilizado para venta y consumo familiar. Además, la mayoría de jóvenes de la aldea residen en los Estados Unidos brindando apoyo económico a sus familiares. [11]

Cabe resaltar la gran cantidad de invernaderos que se encuentran a lo largo de la carretera que conecta las aldeas de San Antonio y el Salamo. Se pueden observar alrededor de 9 invernaderos y vastos invernaderos de pequeña escala (macro túneles) en los terrenos al lado de la carretera.

9. Sectores económicos del departamento de Jalapa

1. Primario. Conformado por las actividades agrícolas y pecuarias; constituyen el principal medio de subsistencia y explotación.
 - a. Agrícola: se identifican como principales productos, el maíz, frijol, papa, tomate, café y melocotón, los cuales son los más representativos en la economía.
 - b. Pecuario: se caracteriza por la crianza y engorde de ganado lechero, porcino y aviar, dentro de los cuales los primeros utilizan grandes extensiones de tierra para la producción. Los segundos y terceros son menos significativos y tienen producción de traspatio.
2. Secundario. Está representado por las actividades de artesanías, industria y agroindustria;
 - a. Artesanías: las carpinterías, herrerías, sastrerías y alfarería, integran los principales productos en esta rama y únicamente cubren el mercado local.
 - b. Industria: se localiza a una fábrica de refrescos y agua pura, pastelería, blockera, aserradero y panadería por la tecnología utilizada, así como la cantidad de producción que se procesa.
 - c. Agroindustria: utiliza materia prima proveniente de la agricultura y está identificada, por la producción y empaque de elote dulce y melocotones en almíbar.
3. Terciario. Se representa por servicios estatales, municipales y privados, así como por los comercios, que se encuentran en grandes cantidades y generan fuentes de ingresos considerables. [6]

B. Proyecto de invernadero en la finca “Joshua”, en el corredor seco

La iniciativa del invernadero de la finca “Joshua” surge durante el año 2008, cuando la República de Guatemala, sufrió uno de los efectos más grandes provocado por una sequía prolongada, que afectó 16 de 22 departamentos del país, los pequeños productores de granos básicos (estimados 200 mil productores y sus familias 1.2 millones de guatemaltecos), no tuvieron cosechas para suplir sus necesidades alimentarias, esta área geográfica ha sido designada como el corredor seco de Guatemala.

Bajo esa circunstancia en visita realizada por la señora Vicerrectora de Internacionalización de la Universidad de Almería, se comentó sobre la posibilidad de recibir asistencia de parte del Gobierno del Reino de España, a lo cual ella accedió, y se sometieron varias propuestas a la Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y a la Agencia Andaluza Para el Desarrollo Internacional (AADI), siendo AADI que generosamente autorizó el proyecto para la Red de Centros de Agricultura Sostenible de Alta Eficiencia y Fomento del Cooperativismo para Países Latinoamericanos en Guatemala y Bolivia.

El Proyecto fue gestionado bajo el convenio de Cooperación entre la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) y la Universidad de Almería, España (UAL), con la participación de la Asociación para el Desarrollo de las Finanzas Rurales (ASODEFIR), la Federación de Cooperativas Agrícolas de Guatemala (FEDECOAG), la Federación de Cooperativas de las

Verapaces (FEDECOVERA), El Banco de Desarrollo Rural (BANRURAL) y la Facultad de Agronomía de USAC (FAUSAC). [1]

A diciembre de 2014 ya se tenían invernaderos construidos en Zacapa, Jutiapa, Jalapa y Chiquimula, departamentos donde se ubica el 80% del corredor seco y de las familias bajo riesgo por los efectos de sequías, capacitaciones sobre cultivos hidropónicos en el interior del país a personas del sector de pequeños agricultores además de haber capacitado a 30 técnicos para el desarrollo de sistemas de producción bajo invernaderos de diseño propio y con uso de agua de presión para uso doméstico.

No es sino a mediados del 2016 que toma la iniciativa de implementar tecnología para facilitar las actividades diarias dentro del invernadero de la finca “Joshua” ubicado en el departamento de Jalapa.

C. Instalaciones del Invernadero de la finca “Joshua”, Jalapa

El Invernadero de la finca “Joshua” posee las siguientes dimensiones: 50 metros de largo, 10 metros de ancho y 9 metros de altura. Está construido con tubería galvanizada, nylon para invernadero 6M y antiáfido.

Figura 8. Inicio de construcción de Invernadero de la finca “Joshua”, Jalapa



Figura 9. Estructura del invernadero fabricada con tubería galvanizada



Figura 10. Invernadero de la finca “Joshua” terminado.



En su interior el invernadero está separado en dos naves principales, en las cuales se hacen los surcos destinados para colocar los sustratos donde se crecerán las plantas. Al centro del invernadero se encuentran dos reservorios que contienen las soluciones nutritivas, dos dosificadores que son dos bombas de pistón, un tablero eléctrico donde se acciona de manera manual las bombas dosificadoras, una bomba que extrae agua del pozo destinada para el riego y un termómetro que además mide la humedad dentro del invernadero.

Figura 11. Sistema de riego y fertilización del invernadero



Figura 12. Surcos con los sustratos y las plantas



VI. DISEÑO

A continuación, se presentan las actividades dentro del invernadero que se optimizaron por medio de implementación de tecnología.

A. Movimiento de la pantalla de protección de rayos UV

Para la protección contra los rayos del Sol, el invernadero cuenta con una cortina ubicada a 4 metros del suelo aproximadamente. La cortina es una pantalla protectora UV corrediza que cubre las dos naves principales del invernadero. Esta pantalla se mueve mediante un mecanismo de polea y cadena.

La dificultad de esta actividad es que lleva alrededor de quince minutos para poder abrir o cerrar la cortina. Se detectó que la cortina se cierra alrededor de medio día, hora cuando se concentra más radiación solar y existe un aumento de temperatura dentro del invernadero, pudiendo alcanzar hasta los 38°C. La cortina se vuelve a abrir alrededor de las tres de la tarde, momento en que la temperatura baja y se necesita una mayor incidencia de los rayos solares en las plantas.

La deficiencia de este proceso, además del tiempo, es el esfuerzo que se necesita hacer para jalar la cadena, además, se debe ser cuidadoso de no jalar con mucha fuerza para evitar que la cadena se salga de la guía de la polea, lo cual es un proceso tedioso y agotador.

Se detectó que en algunos casos los trabajadores preferían dejar la cortina cerrada, para evitar las altas temperaturas y el esfuerzo que requiere para accionarla. Esto afecta directamente en el crecimiento de las plantas. El Sol incita a las plantas a dar frutos y fomenta la precocidad en ellas. Así que al no seguir el procedimiento requerido de cerrar o abrir las cortinas en las condiciones necesarias afecta el crecimiento y la producción de las plantas dentro el invernadero.

Figura 13. Mecanismo polea- cadena para accionar la cortina UV



Figura 14. Activación manual de cortina UV



Para solucionar esto se tenían a la mano dos motores eléctricos, uno de $\frac{1}{4}$ HP y otro de $\frac{1}{2}$ HP, ambos de la marca Leeson. Ambos motores poseían las mismas dimensiones y una pequeña variación en el peso. Se seleccionó el motor de $\frac{1}{2}$ HP debido a que se requería una potencia mayor para sacar la pantalla del reposo. Se solicitó al Sr. Luis Hernández, coordinador del área de Infraestructura y Mantenimiento de la finca, que diseñara y fabricara un acople y una base para el motor de $\frac{1}{2}$ HP para accionar la caja diferencial de la cortina. Una vez instalado el motor se procedió a la configuración de instalación del mismo. El motor podía girar en ambos sentidos y poseía dos modos de funcionamiento, alta y baja revolución.

Se configuró en alta revolución por la relación de la caja reductora al motor que era por cada 68:1. Se colocó un botón de paro de emergencia además de colocar el cableado en ducto eléctrico. El cable seleccionado fue *TFF* 16 AWG.

Para el cambio de giro se utilizó un selector de tres posiciones, el cual activaba uno de dos contactores en los cuales se intercambiaba los cables T5 con T8.

Figura 15. Motor marca Leeson de $\frac{1}{2}$ HP para accionar la cortina UV y acople a la caja reductora



Figura 16. Cortina UV cerrada en 1 minuto y 10 segundos gracias al motor



Figura 17. Stop de emergencia para detener el motor de la cortina UV



B. Activación de dos dosificadoras según horarios de riego de solución nutritiva

Para el riego era necesario, además de activar por un tiempo la bomba de agua y de llenar los reservorios con las soluciones nutritivas A y B, estar presente durante todo el tiempo del riego de fertilización. Revisando constantemente el tiempo para accionar de manera manual un interruptor. Este interruptor encendía las dosificadoras, que eran bombas de pistón, las cuales se accionaban de lunes a viernes en horarios de cinco minutos cada hora iniciando desde las siete de la mañana para finalizar a las cinco de la tarde.

Todo este tiempo era necesario que el encargado del invernadero dejara a un lado la actividad que estuviera realizando (corte de frutos, poda de plantas, fumigación, verificación de taponamiento, entre otras actividades relacionadas con el invernadero) para movilizarse al tablero eléctrico y accionar el interruptor de las dosificadoras.

Esta labor era más pesada durante las horas de mayor calor, entre las 11 am y 2 pm. Se dio el caso donde uno de los agrónomos sufrió de un shock térmico debido a las altas temperaturas dentro del invernadero durante el riego de la solución nutritiva.

Además, se debía de activar antes del riego de solución nutritiva una turbina que inyecta aire a la solución B para agitarla y oxigenarla, y la bomba de agua durante unos minutos para que la planta estuviera preparada para recibir la solución nutritiva, lo cual prolongaba el tiempo dedicado al riego y el tiempo invertido dentro del invernadero.

A pesar de que había dos interruptores para cada una de las dosificadoras, por el tipo de soluciones nutritivas que se estaban utilizando era necesario bombear ambas simultáneamente. Por lo cual, una de las peculiaridades que se encontró en el sistema de riego era que un solo interruptor (el denominado BOMBA ABONO 1) era el que activaba ambas dosificadoras.

Figura 18. Dosificadoras de bombas de pistón para la solución nutritiva A y B



Figura 19. Tablero de accionamiento de bombas y soplante



Figura 20. Accionamiento manual del riego previo a la instalación de tecnología



Se propuso como solución la implementación de un temporizador electrónico, de marca *Shneider*, de encendido y apagado. Este temporizador activaba y desactivaba ambos contactores de las dosificadoras. El cronograma de riego fue programado dentro del temporizador digital para que

se activara por cinco minutos cada hora, iniciando a las 7 de la mañana y terminando su ciclo de riego a las cinco de la tarde. El cable elegido fue el *TFF 16 AWG*.

El reflejo de esta implementación se vio en la eficiencia de los trabajadores cuando necesitaban podar las plantas. Previo a los temporizadores, los trabajadores terminaban de podar a diario efectivamente después de cinco horas, debido a que tenían que interrumpir cada hora sus labores para el riego.

Después de la instalación de temporizadores los trabajadores, además de invertir menor tiempo dentro del invernadero durante los riegos, terminaban de podar en aproximadamente entre dos horas o dos horas y media. Además, mientras se realiza el riego de solución nutritiva da la pauta de poder revisar el taponamiento de las mangueras que van en cada uno de los sustratos sin tener la preocupación de estar pendiente de la bomba y el tiempo de riego.

Figura 21. Configuración de Temporizador para dosificadoras (izquierda) y Temporizador de la bomba de agua (derecha)

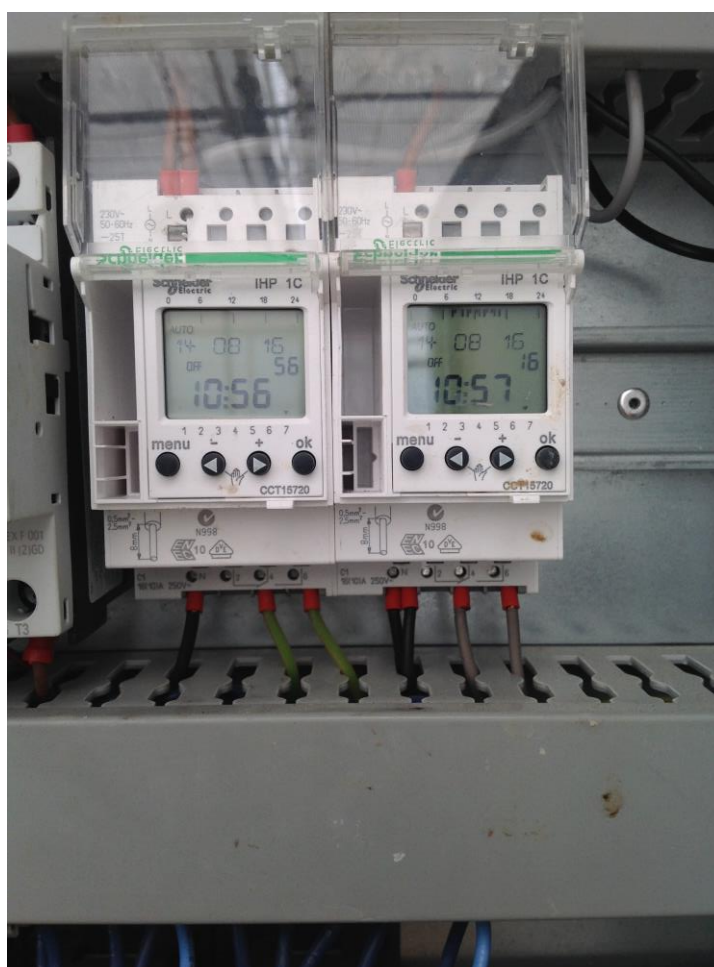


Figura 22. Agrónomos y trabajadores verificando taponamiento durante el riego implementando el Temporizador



C. Riego de agua para fin de semana, previo al riego de solución nutritiva y días que no se encuentre el personal dentro de la finca.

Es de suma importancia el riego de agua en los sustratos. Esto promueve la retención de minerales, aliviar el estrés en la planta debido al calor y permite limpiar a la planta de cualquier residuo indeseado de la solución nutritiva. El riego con agua se realiza los fines de semana, esto con el objetivo de dar a la planta un descanso después de la aplicación durante la semana de la solución nutritiva.

El problema es que no siempre se encuentra el personal dentro de las instalaciones del invernadero (el mismo permanece bajo llave y solamente los agrónomos tienen acceso y cierto personal autorizado) y esto perjudica a la planta debido a que no hay quien active la bomba de agua en ciertos ciclos durante las horas de mayor calor. Es perjudicial dejar la bomba de agua activada todo el día, no solamente por los altos costos de electricidad sino por el desperdicio de agua que es escasa en el corredor seco.

Es importante además aliviar el estrés de la planta entre riegos, por lo cual es necesario activar la bomba de agua no solo los fines de semana sino entre riegos. Por eso, es importante también la activación de la bomba de agua entre semana.

Figura 23. Bomba para el riego de agua dentro del Invernadero



Se implementó un Temporizador Shneider (ver Ilustración 19), el cual se activaba 1 minuto antes del riego de solución nutritiva del lunes a viernes, esto con el fin de preparar la bolsa del sustrato con agua para que pueda captar de mejor manera los nutrientes de la solución. También se activa 1 minuto durante los fines de semana para mantener hidratada la planta y que se alivie su estrés por la solución nutritiva. Para la instalación se empleó cable *TFF 16 AWG*

La mayor ventaja de esta instalación fue que el horario de riego de fin de semana se realizaba de manera automática, de esta forma los Agrónomos podían disponer de su tiempo de mejor manera los días sábado y domingo.

Figura 24. Invernadero en horario de riego automático, día domingo



D. Activación corta de un soplador cuando se activen las dosificadoras.

La oxigenación de las soluciones nutritivas es importante para evitar la sedimentación y fomentar la homogeneidad en la misma. Por ello se activaba un soplador que consiste en una turbina de $\frac{1}{2}$ HP que inyecta aire a un sistema de tubos PVC en el fondo de la solución B. La activación de la turbina tenía que ser corta debido a que si se inyecta demasiado oxígeno la solución se oxida perdiendo sus valores químicos nutritivos. Por ello era recomendable agitarla por 30 segundos previo a cada riego.

La limitante de los Temporizadores que se tenían a la mano era que su activación solo podía ser por 1 minuto como mínimo. Esto se solucionó utilizando un “*switch ON delay*” o interruptor con retardo de activación. Se utilizó la señal del Temporizador de la bomba de agua, la cual se activa previo al riego de solución nutritiva, para activar el interruptor con retardo. El retardo consistió en 30 segundos, para activar así el soplador durante 30 segundos y tener una oxigenación buena de la solución B.

Se ahorraron costos en buscar un Temporizador con activación más precisa menor a 1 minuto y colocando el interruptor con retardo en el contactor de la turbina del soplador. Se utilizó cable *TFF 16 AWG*. Para la instalación no hubo complicaciones, debido a que, al ser del mismo fabricante, el interruptor con retardo al encendido se podía acoplar frente al contactor de la turbina, ahorrando espacio y cableando solamente la señal de activación al interruptor y no al contactor directamente.

La mayor ventaja fue, además de ahorrar dinero en otro temporizador, la posibilidad de agitar la solución B los fines de semana para evitar sedimentación y que estuviera en óptimas condiciones para ser aplicada el día lunes.

Figura 25. Sistema de tubería PVC para inyección de aire de la turbina



Figura 26. Turbina de 1/2 HP para el soplador



Figura 27. Interruptor con retardo para la activación del soplador

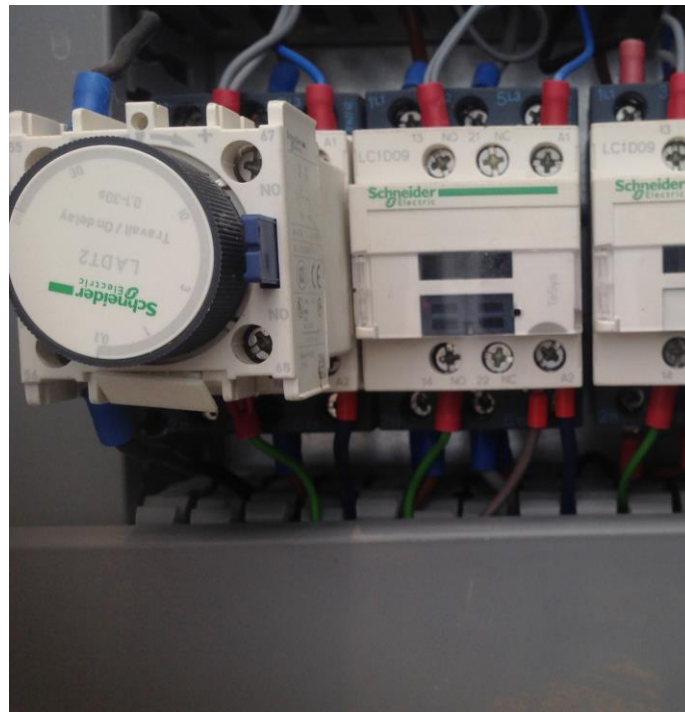


Figura 29. Termostato digital instalado dentro del invernadero



Figura 30. Sensor de temperatura del termostato digital



La temperatura ideal del invernadero varía entre los 25°C y 40°C , aunque cerca de 40°C ya es considerada alta y es necesario tomar medidas para reducir la temperatura (como extender la cortina UV, riego de agua o ventilación). Este fue el umbral programado en el termostato digital, y los ventiladores hacían circular hacia fuera la masa de aire caliente de la parte superior del invernadero. A mayor altura desde el suelo, mayor es la temperatura. La temperatura del invernadero gracias a los ventiladores podía bajar entre 2°C a 3°C de la registrada en los días más calurosos.

Figura 31. Temperatura alta de 39.1°C registrada previo a la instalación de ventiladores



Figura 32. Temperatura de 31.1°C registrada después de la instalación de ventiladores

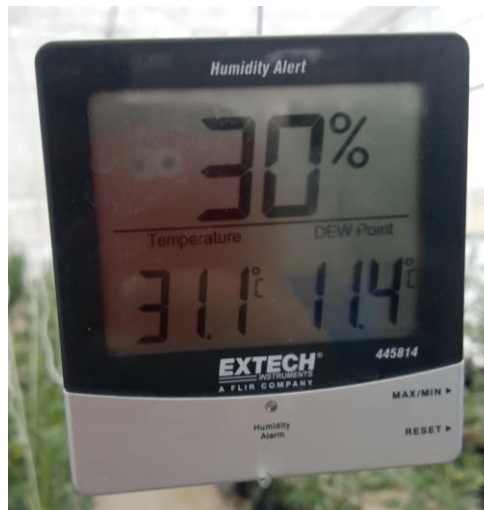


Figura 33. Invernadero previo a la instalación de ventiladores



Figura 34. Ventiladores instalados a aproximadamente 7.5 metros de altura dentro del invernadero



VII. RESULTADOS

A. Movimiento de la pantalla de protección de rayos UV

La pantalla de protección de rayos UV era sin duda la mayor actividad física dentro de la finca. El esfuerzo físico requerido para accionarla durante los períodos de mayor temperatura dentro del invernadero provocó en algunos casos que los trabajadores sufrieran un shock térmico poniendo en riesgo su vida.

Usualmente preferían dejar la pantalla extendida para evitar ese esfuerzo. Esto ocasionaba que la planta no recibiera el tiempo de Sol necesario para producir frutos. Si bien la estaba dentro del invernadero era más amena porque la temperatura disminuía, la planta no estaba en las mejores condiciones.

El tiempo para contraer la pantalla era menor debido a que era más fácil de jalar la cadena y la pantalla extendida presentaba menos resistencia para moverse.

Caso contrario a cuando era necesario extender la cortina, la resistencia era mayor debido a que cada una de las secciones que forman la pantalla se encontraban juntas. El tiempo de extendido promedio de la pantalla era de 13 minutos con 48 segundos y el esfuerzo inicial para accionarla era mayor.

Cuadro 1. Tiempos de accionamiento manual de la pantalla UV (cifras en minutos)

	Contraer	Extendido
	12:40	13:05
	12:38	13:27
	12:56	14:02
	13:02	14:39
Promedio	12:49	13:48

Una vez instalado el motor, el tiempo se redujo. No implicaba ningún esfuerzo físico accionar la pantalla. Esto permitió que se llevara una buena práctica de cultivo al proporcionar el tiempo requerido de Sol a la planta y evitar las quemaduras en el follaje debido al exceso de rayos solares.

El tiempo promedio para contraer la cortina fue de 58 segundos. A comparación con el tiempo requerido antes de la tecnología, de 12 minutos con 49 segundos, se puede observar un gran cambio.

Además, se puede observar que el motor también necesitó de más tiempo para extender la cortina que para contraerla. El tiempo de extendido fue de 1 minuto con 11 segundos, y para contraerla fue de 58 segundos.

Cuadro 2. Tiempos de accionamiento con motor de la pantalla UV (cifras en minutos)

	Contraer	Extendido
	0:54	1:10
	0:56	1:16
	0:59	1:09
	1:04	1:10
Promedio	0:58	1:11

B. Activación automática de dosificadoras para la solución nutritiva

Los horarios de activación de las dosificadoras requerían que el trabajador de la finca estuviera pendiente cada hora para realizar el riego de solución nutritiva. Esto implicaba dejar a un lado sus labores dentro de la finca (como podar, cortar frutos, tutoreo de planta², fumigación, *etc.*) e invertir de 6 a 7 minutos por riego. Se necesitaban hacer durante el transcurso del día once riegos. Esto significaba que el trabajador de la finca desperdiciaba aproximadamente dos horas al día dedicándose al riego de solución nutritiva.

Cuadro 3. Horario de encendido/apagado de Temporizador de dosificadoras de solución nutritiva (lunes a viernes)

Encendido	Apagado
7:00:00 a. m.	7:05:00 a. m.
8:00:00 a. m.	8:05:00 a. m.
9:00:00 a. m.	9:05:00 a. m.
10:00:00 a. m.	10:05:00 a. m.
11:00:00 a. m.	11:05:00 a. m.
12:00:00 p. m.	12:05:00 p. m.
1:00:00 p. m.	1:05:00 p. m.
2:00:00 p. m.	2:05:00 p. m.
3:00:00 p. m.	3:05:00 p. m.
4:00:00 p. m.	4:05:00 p. m.
5:00:00 p. m.	5:05:00 p. m.

Cuadro 4. Tiempo invertido en los 11 riegos por día, muestra de 8 riegos en distintas fechas entre lunes-viernes (cifras en horas)

	Sin temporizador	Con temporizador
	2:08	0
	2:09	0
	2:07	0
	1:41	0
	1:31	0
	1:48	0
	1:57	0
	2:02	0
Promedio	1:55	0

Una vez instalada la tecnología el trabajador solamente tenía que invertir tiempo al llenar los tanques con las soluciones nutritivas. Esto se hacía una vez por semana lo cual requería 2 minutos los días lunes para llenar ambos tanques. Este tiempo no fue tomado en cuenta dentro de los datos, debido a que la solución requería ser medida por un ingeniero agrónomo para determinar la conductividad de la solución, las cantidades nutricionales especiales dependiendo la condición de la planta y no podía ser realizada por personal no capacitado o una máquina.

² Tutoreo de planta consiste en hacer guías con cuerdas para que la planta crezca hacia arriba y no sea vencida por su propio peso

El trabajador de la finca, gracias a la tecnología, ya no tenía que invertir tiempo en los riegos de solución nutritiva. En vez de eso podía dedicar tiempo a sus actividades lo cual reducía el tiempo de trabajo debido a que su paga es por metas y no por día. Al realizar las metas más rápido su horario de trabajo se redujo lo cual era motivo de regocijo para él y era motivado a trabajar mejor.

El reflejo de la optimización de tiempo se observaba en la mejor condición de la planta. Al ser precisos los riegos la planta no recibía exceso ni carencia de solución nutritiva. Así como riegos prolongados debido a olvidos de apagar las dosificadoras, lo cual genera un estrés en la planta.

C. Riego automático de agua para fin de semana, previo al riego de solución nutritiva y días que no se encuentre el personal dentro de la finca.

La aplicación exacta del agua es una necesidad para la planta. El exceso de agua puede lavar los nutrientes dentro del sustrato. La carencia de agua provoca que la planta no reciba de manera correcta las soluciones nutritivas, así como quemar la raíz de la planta.

Sucedió en algunos casos que los trabajadores olvidaban encender la bomba de agua. Esto en su momento generó pérdidas en las plantas, muchas murieron. Los trabajadores en una ocasión no llegaron a un acuerdo en quién sería el encargado de llegar el fin de semana para el riego de agua dentro del invernadero. Esta actividad de fin de semana no era remunerada y usualmente los ingenieros agrónomos debían asumir esta actividad. La falta de agua mató alrededor de veinticinco plantas.

Con la integración de temporizadores se logró que la planta siempre estuviera en óptimas condiciones para recibir la solución nutritiva. La planta durante la semana se mantiene siempre hidratada, lo cual hace que los frutos producidos sean de mayor tamaño debido a que la recepción de nutrientes es óptima. Además, se puede ver que el follaje es más verde y no se ve caído, como si estuviese marchito.

Figura 35. Plantas en mal estado debido al descuido de falta de riego de agua



Figura 36. Plantas saludables gracias a la constante hidratación de la planta



Cuadro 5. Horario de encendido/apagado de temporizador bomba de agua (Todos los días de la semana)

Encendido	Apagado
6:59:00 a. m.	7:00:00 a. m.
7:59:00 a. m.	8:00:00 a. m.
8:59:00 a. m.	9:00:00 a. m.
9:59:00 a. m.	10:00:00 a. m.
10:59:00 a. m.	11:00:00 a. m.
11:59:00 a. m.	12:00:00 p. m.
12:59:00 p. m.	1:00:00 p. m.
1:59:00 p. m.	2:00:00 p. m.
2:59:00 p. m.	3:00:00 p. m.
3:59:00 p. m.	4:00:00 p. m.
4:59:00 p. m.	5:00:00 p. m.

Cuadro 6. Tiempo invertido dentro del invernadero destinado a un solo riego de solución nutritiva y agua (cifras en minutos)

Sin temporizador (minutos)	Con Temporizador
7:10	0
6:54	0
7:26	0
6:46	0
7:12	0
7:35	0
7:09	0
6:48	0
Promedio	7:07

La mayor ventaja de esta instalación fue brindar a los señores agrónomos la posibilidad de no estar presentes los fines de semana dentro de la finca. Esta labor para ellos era tediosa y representaba tener que sacrificar su día de descanso para hidratar a la planta.

D. Instalación de un termostato para la activar y desactivar cuatro ventiladores

La temperatura del invernadero al medio día podía alcanzar hasta 44°C en los días más calurosos, lo cual hacía que la planta produjera frutos más grandes, pero tenía que consumir solución nutritiva de distintas proporciones químicas, lo cual significaba tener que cambiar completamente las soluciones ya colocadas en los recipientes A y B, hacer un nuevo estudio controlado de las plantas y crear un cambio drástico en la alimentación de las demás plantas que no estuvieran del mismo tamaño. Esto podría crear un estrés por alimentación a las plantas provocando cambios en el follaje y quemando la raíz.

Para esto se controla la temperatura dentro del invernadero con la pantalla protectora de rayos UV y con la ventilación natural del invernadero. Pero en algunos casos estos métodos no siempre son efectivos de manera rápida. Por lo tanto, los ventiladores significan una gran ayuda para hacer circular la masa de aire caliente que se encierra dentro del invernadero.

Los ventiladores tardaban entre 2 a 5 minutos en reducir la temperatura dentro del invernadero. El termostato instalado tenía la ventaja de poder crear un umbral de temperatura de trabajo para activar o desactivar los ventiladores.

Se decidió tomar las mediciones de temperatura dentro del invernadero en las horas de mayor calor durante el día. La temperatura promedio dentro del invernadero sin tecnología sobrepasaba los 40°C, lo cual hacía casi insostenible la estadía prolongada dentro del invernadero. Con los ventiladores la temperatura en las horas máximas de calor podía reducirse en promedio hasta los 34.3°C.

Cuadro 7. Temperatura dentro del invernadero entre 12:00 pm y 1:00 pm en distintos días de la semana (cifras grados Centígrados, °C)

	Sin tecnología	Con tecnología
	42.2	35.1
	40	31.5
	42	36.7
	39.1	38.2
	41.5	35.2
	43.9	31.1
	43.2	32.3
Promedio	41.7 °C	34.3 °C

E. Presupuesto aproximado del costo de la tecnología instalada

A continuación, se muestra un presupuesto aproximado de la inversión necesaria para llevar a cabo el proyecto. Cabe resaltar que muchos de los elementos como motores, cable, tubería PVC, contactores ya estaban inventariados por ASODEFIR, lo cual significó para ellos un gran ahorro. Se incluyeron los precios en el mercado de alguno de estos materiales para tener un panorama del precio requerido para replicar lo instalado en otro invernadero con las mismas características.

La inversión más grande fue la de los extractores o ventiladores industriales que fueron comprados por ASODEFIR bajo el consentimiento del Encargado de infraestructura y mantenimiento. Él tomó en cuenta factores como peso, dimensiones y precio para la decisión de comprar los ventiladores.

Cuadro 8. Presupuesto de materiales

Descripción	Precio	Cantidad	Total
Motor ½ Hp	Q 1,800.00	1	Q1,800.00
Cable TSJ 4 X16	Q 7.11	16	Q113.76
Cable TFFN	Q 1.73	20	Q34.60
Temporizador	Q 530.00	2	Q1,060.00
Botón	Q 63.58	1	Q63.58
Selector 3 pos	Q 94.36	1	Q94.36
Guardamotor	Q 276.95	4	Q1,107.80
Relés de sobrecarga	Q 305.00	4	Q1,220.00
Caja eléctrica	Q 550.00	1	Q550.00
Tubo ducto PVC	Q 4.59	1	Q4.59
Conectores para tubo PVC	Q 1.15	1	Q1.15
Vuelta de tubo PVC	Q 0.51	2	Q1.02
Cinta de aislar galvanizada	Q 33.93	1	Q33.93
Ventiladores industriales	Q 2,000.00	4	Q8,000.00
Termostato	Q 600.00	1	Q600.00
Contactores	Q 265.00	4	Q1,060.00
Temporizador para contactor con retardo	Q 509.00	1	Q509.00
Total:			Q16,253.79

F. Selección de cable para cada instalación

$$S_{(mm^2)} = \frac{2(I_{nom})(L)Cos\phi}{K(V_{nom})(\Delta V)} \quad [12]$$

$$I_{nom} = \frac{P}{(V_{nom})Cos\phi} = \frac{S}{V_{nom}} \quad [12]$$

Donde S: sección del conductor en mm²

Inom: corriente nominal requerida

L: longitud del circuito en metros

Cosφ: factor de potencia

Vnom: voltaje nominal del circuito

ΔV: porcentaje de caída de tensión

K: 56, constante del cobre

Se aplicó el factor por temperatura de 0.96 por temperatura ambiente de 30°C del invernadero

Cuadro 9. Cálculos de la sección de conductor y corriente nominal para sistemas monofásicos

	Potencia		Voltaje	Fases			
Descripción	HP	KW	Volt	Mono	Longitud	S	I
Motor de la pantalla UV	0.5	0.4	120	1	3	0.092472718	3.270614035
Ventilador	0.5	0.4	120	1	25	0.770605985	3.270614035
Bombas de pistón (Dosificadoras)	0.25	0.2	120	1	2	0.030824239	1.635307018
Bomba de agua	0.5	0.4	120	1	2	0.046236359	3.270614035

Este estudio se hizo para dar un ejemplo de la manera para la selección de conductores en la instalación. Se desconoce qué criterio utilizó la persona que realizó la instalación eléctrica desde el trafo hasta la caja eléctrica del invernadero. La instalación que se encontró al llegar a la finca tenía en su mayoría cable THHN calibre 16 y 18 para las conexiones entre bombas, contactores, interruptores, *etc.*

Para la instalación de la tecnología nueva se utilizó cable 16 AWG, en ducto eléctrico para el cableado del motor de la pantalla UV y TSJ de 4 conductores para la instalación de los ventiladores. Para las conexiones entre temporizadores, interruptores se utilizó cable 18 AWG THHN, este cable estaba a disposición en la finca dentro del inventario de materiales de ASODEFIR.

Los materiales fueron seleccionados con el ánimo de utilizar los recursos disponibles de la finca además de pensar en futuras expansiones e instalaciones de nueva tecnología dentro del invernadero

Cuadro 10. Selección de calibre del cable por criterios de ampacidad y tensión

Descripción	Tensión	Ampacidad
Motor de la pantalla UV	18	18
Ventilador	16	18
Bombas de pistón (Dosificadoras)	18	18
Bomba de agua	18	18

Para la selección del ducto eléctrico para el cableado del motor de la pantalla UV se utilizó la siguiente fórmula para determinar el diámetro ideal de la tubería sin el olvidar el porcentaje requerido de aire dentro del tubo PVC (60%).

$$D = \sqrt{\frac{10 \sum_i A_i}{\pi}} \quad [12]$$

Donde D: diámetro de la tubería en mm
 $\sum A_i$: sumatoria de las áreas de conductores

Cuadro 11. Selección de ducto eléctrico para cableado del motor de la pantalla UV

Cable AWG	Área mm ²	No. Conductores	Diámetro tubería mm	Tubería seleccionada
16	1.307	5	4.560871744	1/2 pulgada (1720mm)

Donde los cinco conductores ocupan un 35.9% dentro de la tubería.

G. Diagrama unifilar de la instalación

Figura 37. Diagrama unifilar completo de la instalación de tecnología

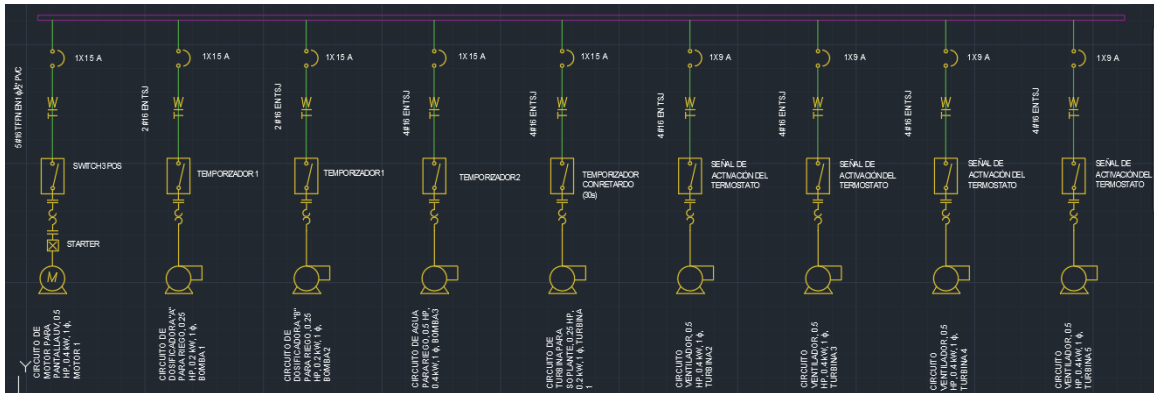


Figura 38. Diagrama unifilar de motor de pantalla UV, bombas dosificadoras y de agua

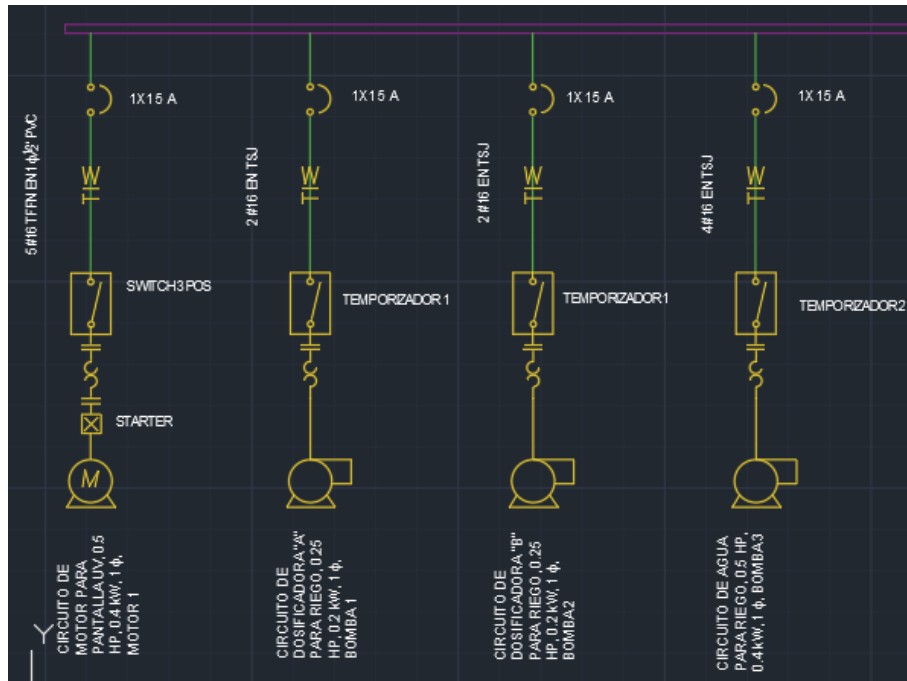
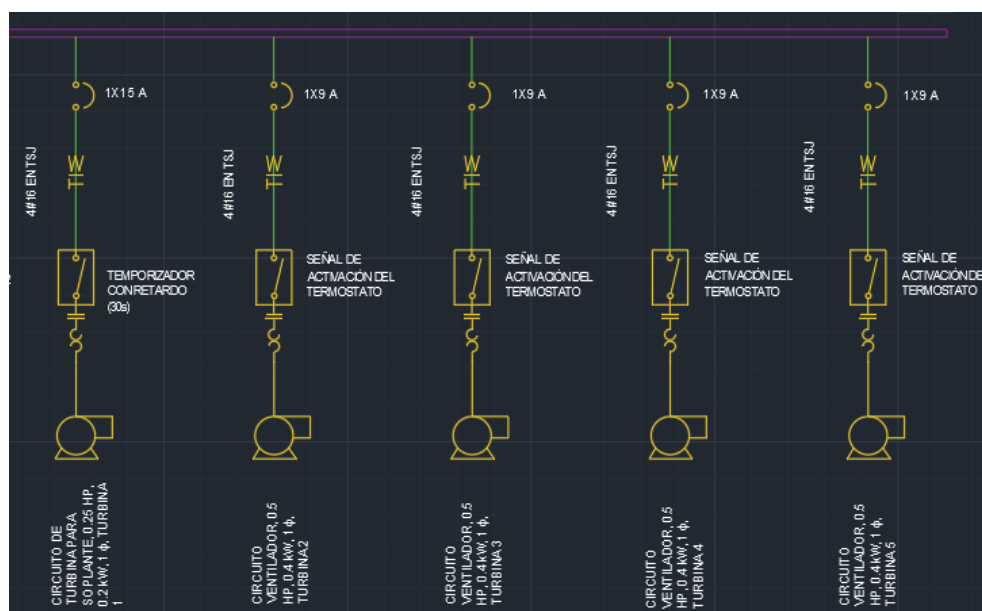


Figura 39. Diagrama unifilar de turbina del soplador y los cuatro ventiladores



H. Retroalimentación por parte de los trabajadores de la finca

La recepción de la tecnología por parte de los trabajadores fue buena. Se tuvieron un poco de dificultades al principio debido a que para la mayoría era desconocido lo que se estaba instalando. Incluso en un momento pensaron que su trabajo sería sustituido por la tecnología y los dejaría sin ingresos para sus familias. Pero con paciencia y perseverancia se logró mostrar que la tecnología instalada era de gran ayuda para su trabajo.

La mayoría estuvo de acuerdo que lo mejor de la tecnología era evitar la estadía prolongada dentro del invernadero, debido a que era muy tedioso y dañino para la salud estar mucho tiempo dentro durante las horas de mayor temperatura. Además, el esfuerzo físico que requería el accionamiento de la pantalla protectora UV fue sustituido por el accionamiento de un interruptor de tres posiciones. Toda esta tecnología instalada logró mejorar las condiciones de trabajo de la finca “Joshua”.

Los trabajadores se regocijaron al saber que ya no era necesario estar presente durante los riegos de agua, solución nutritiva y oxigenación de las fórmulas, y aún más durante los fines de semana, que son días que dedican a sus familias y a descansar. El comentario del Ing. Joslier Barrera acerca de la eficiencia de los riegos hace evidente que la tecnología es una herramienta útil para aprovechar de mejor manera los recursos que existen en la finca.

El comentario que más llama la atención fue el del señor Orbin Vides, encargado de podar y tutorear a la planta, quien expuso que este acercamiento con la tecnología no solo beneficiaba a la finca económicamente, sino a la comunidad al tener un acercamiento con las nuevas tecnologías que existen y que en algunos casos por estar retirados de la capital no son tan comunes en el área rural.

Adjunto en la sección de Anexos se encuentran los enlaces a las video-entrevistas realizadas al Ing. Joslier Barrera, al Sr. Orbin Vides y al Sr. Odilfer Yanes, trabajadores de la finca “Joshua”.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se optimizó el tiempo invertido dentro del invernadero durante los riegos mediante la instalación de varios Temporizadores. Esto se ve reflejado en el tiempo promedio ahorrado por día de 1 hora y 55 minutos. Tiempo que ahora es invertido en el cuidado de la planta, aumentando calidad y salud.
2. Se optimizó el tiempo de accionamiento de la cortina solar mediante la instalación de un motor de $\frac{1}{2}$ HP. El tiempo promedio de accionamiento para contraer de 12 minutos y 49 segundos y ha sido mejorado gracias al motor instalado a 58 segundos. Para extender la cortina el tiempo promedio era de 13 minutos con 48 segundos, se mejoró a 1 minuto y 11 segundos.
3. Se optimizó la ventilación dentro del invernadero con ventiladores, reduciendo la temperatura promedio durante el mediodía (horas de mayor temperatura dentro del invernadero) de $41.7^{\circ}C$ a una temperatura promedio de $34^{\circ}C$, manteniendo la temperatura en los umbrales óptimos para el buen desarrollo de la planta.
4. El personal de la finca vio el reflejo de la tecnología en la mejora en sus labores cotidianas como evitar estadías prolongadas dentro del invernadero, ningún esfuerzo físico para accionar la cortina solar, evitar asistir a la finca los fines de semana para el riego de agua y mejorar las condiciones de trabajo dentro del invernadero
5. La tecnología mostró ser una herramienta valiosa para los trabajadores de la finca “Joshua” para realizar sus labores cotidianas, con el ánimo de buscar el desarrollo del área rural.

IX. RECOMENDACIONES

1. Para sustituir los Temporizadores se podría implementar un PLC con una estación de mando remota mediante buses de comunicación.
2. Una mejor documentación en cuanto a la instalación eléctrica encontrada por parte de la finca hubiera permitido un acercamiento más detallado para la instalación de tecnología.
3. Para un mejor control dentro del invernadero existen hoy en día sensores de energía consumida por las plantas. Entre más energía consumen las plantas mayor hidratación necesita. Con estos sensores se podría activar riegos de emergencia cuando la planta más lo necesite.
4. Un espacio mayor descubierto en la parte alta del invernadero podría reducir el tiempo que tarda en reducir la temperatura los ventiladores.
5. La instalación de tecnología solar podría ser una alternativa para reducir los costos en la factura eléctrica de la finca debido a que por encontrarse en el corredor seco del país la radiación solar durante el día es más prolongada debido a la poca cantidad de nubes de lluvia.

X. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Barrientos, E. (2015). *Red de centros de referencia de agricultura sostenible de alta eficiencia y fomento. Memoria técnica*, (págs. 1-16). Guatemala.
- [2] Canel, J. (2016). *Viabilidad para el desarrollo sostenible a través del diseño de invernaderos en el occidente de Guatemala.*. Guatemala: Trabajo de graduación facultad de Ingeniería Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- [3] COMERCIALIZADORA HYDRO ENVIRONMENT S.A. DE C.V. (2008). Guía: *¿Qué es una solución nutritiva?*
www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=33 [5 de Agosto de 2016]
- [4] De León, W. (2009). *Evaluación ambiental del cultivo de tomate, bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, España, mediante la utilización de la metodología de análisis del ciclo de la vida (ACV) 2007-2009* Barcelona, España: Tesis doctoral Departamento de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Barcelona.
- [5] Deforche Construct. (2013). *Invernaderos Industriales y Profesionales.*
<http://www.deforche.es/wp-content/uploads/INRA-Dijon.jpg> [26 de Julio de 2016]
- [6] Gonzáles, S. (2004). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión, Municipio de Jalapa Departamento de Jalapa.* Guatemala: Trabajo de graduación facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- [7] Muñoz, J. N. (2012). *Automatización de invernadero en clima templado.* Cali, Colombia: Trabajo de graduación facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad San Buenaventura.
- [8] Sazo, J. (2005). *Experiencias en la introducción de huertos hidropónicos, como una alternativa de seguridad alimentaria en las comunidades de: Matazano y Guaraquiche, Municipio de Jocotán, del Departamento de Chiquimula.*. Guatemala: Facultad de Agronomía, Instituto de investigaciones agronómicas, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- [9] Técnica Internacional. (2013). *División de Manejo de Aguas-Técnica Internacional.*
<http://tecnicainternational.com/manejodeaguas/wp-content/uploads/2013/04/026.jpg> [16 de Julio de 2016]
- [10] TecnoCampo. (2016). *Tecnocampo Invernaderos S de RL de CV.*
<http://www.tecnocampo.com.mx/images/dientes1.jpg> [20 de Julio de 2016]
- [11] Valdés Rojas, A. (2009). *Diseño del sistema de alcantarillado para la aldea El Salamo y Ampliación del sistema de abastecimiento de agua potable de la aldea Plan de la Cruz, Municipio de Monjas, Departamento de Jalapa.* Guatemala: Trabajo de graduación facultad de Ingeniería, Univeridad de San Carlos de Guatemala.
- [12] Villa, M. (2008). *Manual del código eléctrico colombiano (NTC 2050) métodos y materiales de las instalaciones secciones (300-324).* Risaralda, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

XI. ANEXOS

A. Enlaces de video-entrevistas con el personal de la finca “Joshua”

1. Entrevista al Sr. Odilfer Yanes: <https://youtu.be/T0Azn2V1pJ0>
2. Entrevista al Ing. Joslier Barrera: <https://youtu.be/GvdUGljJOcA>
3. Entrevista al Sr. Orbin Vides: <https://youtu.be/LhirNhR0pxI>

B. Tablas de selección de conductores

Lunes 13 de marzo de 2006 Norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-2005 CETis No. 109

..... Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 200v nominales y 60°C a 90°C. No más de 3 conductores activos en una canalización cable o directamente enterrados para 30°C

TAMAÑO NOMINAL	Temperatura nominal del conductor (véase tabla 310-13)						TAMAÑO NOMINAL
	60°	75°	90°	60°	75°	90°	
AWG Kcmil	TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	mm2
	TW* TWD* CCE TWD-UV	RHW*, THHW* THW-LS, THWN*, XHHW*, TT	RHH* RHW-2 THHN*, THHW*, THHW-LS, THW-2* XHHW*, XHHW-2	UF*	RHW*, XHHW*, BM-AL	RHW-2, XHHW, XHHW-2, DRS	
	cobre			Aluminio			
18	-----	-----	14	-----	-----	-----	0,8235
16	-----	-----	18	-----	-----	-----	1,307
14	20*	20*	25*	-----	-----	-----	2,082
12	25*	25*	30*	-----	-----	-----	3,307
10	30	35*	40*	-----	-----	-----	5,26
8	40	50	55	-----	-----	-----	8,367
6	55	65	75	40	50	60	13,3
4	70	85	95	55	65	75	21,15
3	85	100	100	65	75	85	26,67
2	95	115	130	75	90	100	33,62
1	110	130	150	85	100	115	42,41
1/0	125	150	170	100	120	135	53,48
2/0	145	175	195	115	135	150	67,43
3/0	165	200	225	130	155	175	85,01
4/0	195	230	260	150	180	205	107,2

Factores de corrección para temperaturas ambientes distintas a 30°

Temp. Ambiente en °C	Multiplicar la anterior capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes:						Temp. Ambiente En °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60	-----	0,58	0,71	-----	0,58	0,71	56-60
61-70	-----	0,33	0,58	-----	0,33	0,58	61-70
71-80	-----	-----	0,41	-----	-----	0,41	71-80

A menos que permita otra cosa específicamente en otro lugar de esta NOM, la protección contra sobrecorriente de los conductores marcados con un (), no debe superar 15 A para 2,082 mm² (14 AWG); 20 A para 3,307 mm² (12 AWG) y 30 A para 5,26 mm² (10 AWG) todos de cobre.

Factores de corrección por agrupamiento

Para cables o canalizaciones que lleven más de 3 conductores que lleven corriente. Cuando el núm. De conductores que llevan corriente en un cable o en una canalización exceda de 3 la capacidad de corriente obtenida de las tablas y ya corregida por temperatura debe ser reducida multiplicando por los factores de corrección por agrupamiento de la tabla siguiente:

Número de conductores que llevan corriente	Factores de corrección por agrupamiento.
4 a 6	0.80
7 a 9	0.70
10 a 20	0.50
21.30	0.45
31.40	0.40
41 y mas	0.35

Conductor Properties

Size (AWG or kcmil)	Conductors										Direct-Current Resistance at 75°C (167°F)					
	Area			Stranding		Overall				Copper						
	Circular		Quantity	Diameter		Diameter		Area		Uncoated		Coated		Aluminum		
	mm ²	kcmil		mm	in.	mm	in.	mm ²	in. ²	ohm/ km	ohm/ kFT	ohm/ km	ohm/ kFT	ohm/ km	ohm/ kFT	
18	0.823	1620	1	—	—	1.02	0.040	0.823	0.001	25.5	7.77	26.5	8.08	42.0	12.8	
18	0.823	1620	7	0.39	0.015	1.16	0.046	1.06	0.002	26.1	7.95	27.7	8.45	42.8	13.1	
16	1.31	2580	1	—	—	1.29	0.051	1.31	0.002	16.0	4.89	16.7	5.08	26.4	8.05	
16	1.31	2580	7	0.49	0.019	1.46	0.058	1.68	0.003	16.4	4.99	17.3	5.29	26.9	8.21	
14	2.08	4110	1	—	—	1.63	0.064	2.08	0.003	10.1	3.07	10.4	3.19	16.6	5.06	
14	2.08	4110	7	0.62	0.024	1.85	0.073	2.68	0.004	10.3	3.14	10.7	3.26	16.9	5.17	
12	3.31	6530	1	—	—	2.05	0.081	3.31	0.005	6.34	1.93	6.57	2.01	10.45	3.18	
12	3.31	6530	7	0.78	0.030	2.32	0.092	4.25	0.006	6.50	1.98	6.73	2.05	10.69	3.25	
10	5.261	10380	1	—	—	2.588	0.102	5.26	0.008	3.984	1.21	4.148	1.26	6.561	2.00	
10	5.261	10380	7	0.98	0.038	2.95	0.116	6.76	0.011	4.070	1.24	4.226	1.29	6.679	2.04	
8	8.367	16510	1	—	—	3.264	0.128	8.37	0.013	2.506	0.764	2.579	0.786	4.125	1.26	
8	8.367	16510	7	1.23	0.049	3.71	0.146	10.76	0.017	2.551	0.778	2.653	0.809	4.204	1.28	
6	13.30	26240	7	1.56	0.061	4.67	0.184	17.09	0.027	1.608	0.491	1.671	0.510	2.652	0.808	
4	21.15	41740	7	1.96	0.077	5.89	0.232	27.19	0.042	1.010	0.308	1.053	0.321	1.666	0.508	
3	26.67	52620	7	2.20	0.087	6.60	0.260	34.28	0.053	0.802	0.245	0.833	0.254	1.320	0.403	
2	33.62	66360	7	2.47	0.097	7.42	0.292	43.23	0.067	0.634	0.194	0.661	0.201	1.045	0.319	
1	42.41	83690	19	1.69	0.066	8.43	0.332	55.80	0.087	0.505	0.154	0.524	0.160	0.829	0.253	
1/0	53.49	105600	19	1.89	0.074	9.45	0.372	70.41	0.109	0.399	0.122	0.415	0.127	0.660	0.201	
2/0	67.43	133100	19	2.13	0.084	10.62	0.418	88.74	0.137	0.3170	0.0967	0.329	0.101	0.523	0.159	
3/0	85.01	167800	19	2.39	0.094	11.94	0.470	111.9	0.173	0.2512	0.0766	0.2610	0.0797	0.413	0.126	
4/0	107.2	211600	19	2.68	0.106	13.41	0.528	141.1	0.219	0.1996	0.0608	0.2050	0.0626	0.328	0.100	
250	127	—	37	2.09	0.082	14.61	0.575	168	0.260	0.1687	0.0515	0.1753	0.0535	0.2778	0.0847	
300	152	—	37	2.29	0.090	16.00	0.630	201	0.312	0.1409	0.0429	0.1463	0.0446	0.2318	0.0707	
350	177	—	37	2.47	0.097	17.30	0.681	235	0.364	0.1205	0.0367	0.1252	0.0382	0.1984	0.0605	
400	203	—	37	2.64	0.104	18.49	0.728	268	0.416	0.1053	0.0321	0.1084	0.0331	0.1737	0.0529	
500	253	—	37	2.95	0.116	20.65	0.813	336	0.519	0.0845	0.0258	0.0869	0.0265	0.1391	0.0424	
600	304	—	61	2.52	0.099	22.68	0.893	404	0.626	0.0704	0.0214	0.0732	0.0223	0.1159	0.0353	
700	355	—	61	2.72	0.107	24.49	0.964	471	0.730	0.0603	0.0184	0.0622	0.0189	0.0994	0.0303	
750	380	—	61	2.82	0.111	25.35	0.998	505	0.782	0.0563	0.0171	0.0579	0.0176	0.0927	0.0282	
800	405	—	61	2.91	0.114	26.16	1.030	538	0.834	0.0528	0.0161	0.0544	0.0166	0.0868	0.0265	
900	456	—	61	3.09	0.122	27.79	1.094	606	0.940	0.0470	0.0143	0.0481	0.0147	0.0770	0.0235	
1000	507	—	61	3.25	0.128	29.26	1.152	673	1.042	0.0423	0.0129	0.0434	0.0132	0.0695	0.0212	
1250	633	—	91	2.98	0.117	32.74	1.289	842	1.305	0.0338	0.0103	0.0347	0.0106	0.0554	0.0169	
1500	760	—	91	3.26	0.128	35.86	1.412	1011	1.566	0.02814	0.00858	0.02814	0.00883	0.0464	0.0141	
1750	887	—	127	2.98	0.117	38.76	1.526	1180	1.829	0.02410	0.00735	0.02410	0.00756	0.0397	0.0121	
2000	1013	—	127	3.19	0.126	41.45	1.632	1349	2.092	0.02109	0.00643	0.02109	0.00662	0.0348	0.0106	