

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Biosistemas
Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas

Trabajo Final de Graduación

Evaluación de la eficiencia de un sistema de riego para cultivo de fresa (*Fragaria ananassa L*) en condiciones de ambiente protegido en la Finca *Gamaliel, Vara Blanca, Heredia*

Práctica Dirigida de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas

Institución:

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA)

Estudiante

María Fernanda Leal Juárez, B63770
maria.lealjuarez@ucr.ac.cr

Comité Asesor:

Director:

Ing. Juan Benavides Valverde, Dr.
Juan.benavidesvalverde@ucr.ac.cr

Lectores:

Ing. Felipe Calleja Apéstegui, Dr.
Felipe.callejaapestegui@ucr.ac.cr

Ing. Roger García Quirós, Lic.
rgarciaq@cfia.or.cr

San Pedro de Montes de Oca, Junio 2024

Trabajo Final de Graduación sometido a la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas.



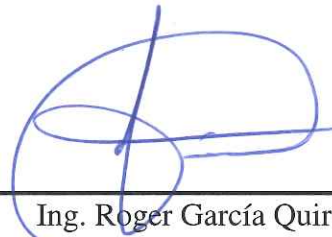
María Fernanda Leal Juárez
Postulante



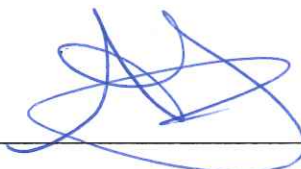
Ing. Juan Benavides Valverde, Dr.
Director, Comité Asesor



Ing. Felipe Calleja Apéstegui, Dr.
Miembro, Comité Asesor



Ing. Roger García Quirós, Lic.
Miembro, Comité Asesor



Ing. Alejandra Rojas González
Directora, Tribunal Examinador

Dedicatoria

*-A Pía y Vicky,
sigo recorriendo
lo bello y olvidado,
lo lejano, lo bendito.*

Agradecimientos

Primeramente, a Dios, no todas las personas son tan afortunadas de llegar a ser formadas por la institución pública y no puedo estar más agradecida porque sé que salgo al mundo como una profesional de calidad. A los dos motores de mi vida, Aquiles Leal y Virginia Vargas. Sé que mi promesa fue entregarles mi título en la mano, pero estoy segura de que desde el cielo me cuidan y saben que les debo toda mi formación como persona y profesional.

A mi papá y a mi hermano, Luis Leal y Fabián Leal, gracias por estar día con día dándome la fortaleza y recordándome de lo que soy capaz. Este logro también es de ustedes. También a mi tío Sergio Leal, porque nunca me faltó nada para poder seguir estudiando y formándome.

A Juan Benavides y Felipe Calleja, no puedo estar más agradecida por todo el apoyo, todo el aprendizaje, por las horas dedicadas, pero principalmente por el compromiso que cumplieron para conmigo. Gracias por impulsarme a terminar, por las correcciones de concepto, por las risas de las tonteras que escribí, por revisar una y otra vez la estadística y muchas cosas más. Salgo tranquila de que sé que el equipo de trabajo que escogí no pudo haber sido de más grande nivel.

A Roger Quirós, agradezco profundamente la oportunidad de haber realizado este estudio en la Finca Gamaliel. El SENARA me abrió los ojos a una de mis pasiones más grandes como persona y profesional, trabajar con las personas productoras, una realidad que muchos no conocen, pero que gracias a usted pude experimentar. Agradezco a su equipo de trabajo por permitirme compartir y escuchar todas sus grandes experiencias como profesionales.

A las familias productoras de la Finca Gamaliel, con las que tuve mayor acercamiento y con las que no tanto. Gracias por dejarme entrar a sus actividades cotidianas, por toda la enseñanza y todo el apoyo que me regalaron. Siempre recordaré con mucho cariño a la finca y sus personas llenas de carismas que día con día son ejemplo de trabajo honrado y dedicación.

A mis compañeros de generación, bueno a la mayoría. No comenzamos juntos quizá, pero me permitieron entrar en sus vidas, compartiendo anécdotas, frustraciones, lagrimas, sufrimientos, pero por sobre todo risas. Siempre les desearé un futuro lleno de muchos éxitos, porque sé la gran calidad de profesionales son, en general y en las áreas en las que se apasionan. Alex Siles, no tengo las palabras para agradecer, todas se me quedan cortas. Siempre llevaré en mi corazón una deuda tan enorme para con su persona.

Finalmente, pero no menos importante, a mi esposo. Gracias por no dejarme a mi misma limitarme, por la constancia, por la confianza y por nunca dejar de impulsarme a ser mejor persona. Gracias por acompañarme desde el día uno en la universidad, este logro es de los dos.



Índice

I.	Índice de Abreviaturas	iv
II.	Índice de Figuras	v
III.	Índice de Tablas	vii
IV.	Capítulo 1	11
1.	Introducción	11
1.1.	<i>Justificación</i>	11
1.2.	<i>Objetivos</i>	14
1.2.1.	Objetivo General	14
1.2.2.	Objetivos Específicos	14
1.3.	<i>Delimitación del Problema</i>	15
V.	Capítulo 2	17
2.	Marco Teórico	17
2.1.	<i>Cultivo de Fresa (Fragaria anannasa L) en Costa Rica</i>	17
2.2.	<i>Ambientes Protegidos</i>	18
2.3.	<i>Sistemas de Riego.</i>	19
2.4.	<i>Variables que influyen en el desempeño de riego</i>	21
2.5.	<i>Indicadores de Eficiencia</i>	21
2.6.	<i>AquaCROP</i>	22
VI.	Capítulo 3	24
3.	Materiales y Métodos	24
3.1.	<i>Caracterización de la zona de estudio</i>	24
3.1.1.	Caracterización de la zona de Vara Blanca, Heredia	24
3.1.3.	Caracterización de la finca Gamaliel	25
3.1.4.	Demanda Hídrica	26
3.2.	<i>Obtención del requerimiento neto de riego (RNR)</i>	27
3.2.1.	Aforo	27
3.2.2.	Caracterización de las condiciones ambientales y edafológicas de los ambientes protegidos 30	
3.2.3.	Caracterización estructural de los ambientes protegidos	32
3.2.4.	Manejo de las producciones	33
3.2.4.1.	Caracterización del cultivo	34

3.3.	<i>Análisis climático de los invernaderos</i>	34
3.3.1.	Análisis estadístico.....	36
3.4.	<i>Cálculo del Suministro Relativo de Riego y la Capacidad de Entrega de Agua</i>	37
3.4.1.1.	Obtención de la ET_0 experimental	37
3.4.2.	Cálculo del Capacidad de Entrega de Agua (CEA)	41
3.4.3.	Validación del modelo AquaCROP	41
3.4.3.1.	Datos Climáticos.....	43
3.4.3.2.	Datos del Cultivo	44
3.4.3.3.	Datos del Manejo	48
3.4.3.4.	Datos del Sustrato	49
3.4.4.	Obtención de la demanda hídrica	51
VII.	Capítulo 4	52
4.	Resultados y Discusión	52
4.1.	<i>Caracterización de la zona de estudio</i>	52
4.1.1.	Temperatura Atmosférica.....	52
4.1.2.	Humedad Relativa	53
4.1.3.	Radiación Solar	54
4.1.4.	Velocidad del Viento.....	55
4.2.	<i>Caracterización climática de los ambientes controlados</i>	56
4.2.1.	Análisis de Temperatura y Radiación Solar	56
4.2.2.	Análisis de Humedad Relativa	60
4.2.3.	Análisis entre Sensores de una misma estructura para la Temperatura.....	62
4.2.4.	Análisis entre Sensores de una misma estructura para la Humedad Relativa	62
4.3.	<i>Caracterización del Sustrato</i>	63
4.3.1.	Retención de Agua	63
4.3.2.	Conductividad Hidráulica (K)	64
4.4.	<i>Caracterización del Aforo y Caudal Consumido</i>	64
4.4.1.	Aforo	64
4.4.2.	Evaluación del Coeficiente de uniformidad de Christiansen	65
4.5.	<i>Análisis Estadístico</i>	66
4.5.1.	Análisis por Tipo de Estructura para la Temperatura.....	66
4.5.2.	Análisis por Tipo de Estructura para la Humedad Relativa	68
4.6.	<i>Modelación en AquaCROP</i>	69

4.7.	<i>Entrevista Semiestructurada sobre el consumo del recurso hídrico y el manejo agronómico.</i>	72
4.7.1.	Sobre el Productor y la Parcela	73
4.7.2.	Sobre el Producto <i>Fragaria ananassa L</i>	75
4.7.3.	Sobre el Sistema de Riego.....	76
4.7.4.	Sobre la Sociedad de Usuarios de Agua de la Finca Gamaliel.....	80
4.7.5.	Sobre las Labores Culturales.....	82
4.8.	<i>Cálculo Suministro Relativo de Riego</i>	83
4.9.	<i>Cálculo de la Capacidad de Entrega de Agua</i>	87
	VIII. Capítulo 5	88
	5. Conclusiones y Recomendaciones	88
5.1.	<i>Conclusiones</i>	88
5.2.	<i>Recomendaciones</i>	89
	Referencias	91
	Anexos	101
	<i>Anexo I. Tabla de velocidad del viento y dirección establecida por el IMN</i>	101
	<i>Anexo II: Nomenclatura establecida por código para cada sensor.</i>	102
	<i>Anexo III: Comprobación de normalidad y homostaceidad para temperatura y humedad</i>	103
	<i>Anexo IV: Datos para el cálculo de la ecuación de Evapotranspiración Potencial.....</i>	108
	<i>Anexo V: Entrevista Semiestructurada.</i>	109
	<i>Anexo VI: Valores para las variables empleadas en la ecuación Benavides</i>	114
	<i>Anexo VII: Resultados obtenidos del Programa AquaCROP para las naves estudiadas.....</i>	114

I. Índice de Abreviaturas

CEA	<i>Capacidad de Entrega de Agua</i>
SRR	<i>Suministro Relativo de Riego</i>
RNR	<i>Requerimiento Neto de Riego</i>
C_u	<i>Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en Sistema de Goteo</i>
ET₀	<i>Evapotranspiración de Referencia</i>
GDA	<i>Grados Días Acumulados</i>
CV	<i>Coeficiente de Variación</i>
PMP	<i>Punto de Marchitez Permanente</i>
CC	<i>Capacidad de Campo</i>
FC	<i>Factor de Campo</i>
NC	<i>Número de Curva</i>
SAT	<i>Saturación de Campo</i>
ENOS	<i>Niño-Oscilación del Sur</i>
SUA	<i>Sociedad de Usuarios de Agua</i>
FEF	<i>Finca Experimental Fraijanes</i>
UCR	<i>Universidad de Costa Rica</i>
SENARA	<i>Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento</i>
INDER	<i>Instituto de Desarrollo Rural</i>
MAG	<i>Ministerio de Agricultura y Ganadería</i>
MINAE	<i>Ministerio de Ambiente y Energía</i>
IMN	<i>Instituto Meteorológico Nacional</i>
IICA	<i>Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura</i>
FAO	<i>Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura</i>

II. Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo para obtener los datos requeridos por el programa AquaCROP.....	24
Figura 2. Zona de estudio Finca Gamaliel.....	26
Figura 3. Sistema de siembra de fresa hidropónico en camas con fibra de coco utilizado en la Finca Gamaliel.....	28
Figura 4. Esquema representativo de los puntos de muestreo en ambientes protegidos para determinación de caudal promedio en sistema de riego por goteo.....	28
Figura 5. Recipientes empleados para la elaboración de la prueba de Christiansen.....	29
Figura 6. Permeámetro marca Karon Warner del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas.....	31
Figura 7. Curva de liberación de agua y aire de un sustrato de fibra de coco.....	32
Figura 8. Estructura del ambiente protegido y camas sobre las que se realiza la producción hidropónica de fresa en la Finca Gamaliel.....	33
Figura 9. Colocación de los sensores HOBO en la estructura de la nave.....	35
Figura 10. Ubicación de los sensores HOBO a la altura de las plantas.....	35
Figura 11. Diagrama de flujo para análisis estadístico.....	37
Figura 12. Representación de la liberación de vapor de agua de un estoma.....	38
Figura 13. Ingreso de datos climáticos en el programa AquaCROP.....	44
Figura 14. Desarrollo del dosel en crecimiento en GDDay en el Programa AquaCROP.....	45
Figura 15. Desarrollo del cultivo en parámetros de estrés, condiciones iniciales del cultivo.....	46
Figura 16. Desarrollo del cultivo en parámetros de estrés, en condiciones de desarrollo vegetativo.....	47
Figura 17. Calendario adecuado a los parámetros ingresados tomando marzo como el mes de trasplante.....	48
Figura 18. Determinación del Requerimiento Hídrico Neto en el programa AquaCROP.....	49
Figura 19. Producción de Biomasa establecida para el programa AquaCROP.....	49
Figura 20. Características del suelo establecidas para la fibra de coco en el programa AquaCROP.....	50
Figura 21. Características de la superficie del suelo para la fibra de coco en el programa AquaCROP.....	50
Figura 22. Elevación capilar del nivel freático establecido para el programa AquaCROP.....	51
Figura 23. Registro de temperatura ambiental en la zona de Vara Blanca del año 2018 al 2023(cruz roja muestra el valor más alto y la azul es más bajo).....	53
Figura 24. Registro de la humedad relativa ambiental en la zona de Vara Blanca del año 2018 al 2023 (cruz roja muestra el valor más alto y la azul es más bajo).....	54
Figura 25. Registro de radiación solar global total del 2018 al 2023 (cruz roja muestra el valor más alto y la azul es más bajo).....	55
Figura 26. Registro de los valores de velocidad del viento y su dirección del 2018 al 2023 (cruz roja muestra el valor más alto y la azul es más bajo).....	56
Figura 27. Temperatura registrada de acuerdo con el tipo de nave (Azul, sin cobertura de pared y rojo con cobertura).....	57
Figura 28. Comportamiento del registro de datos por sensor, ambiente controlado del productor Marcelino Morán.....	58
Figura 29. Distribución de temperaturas el día 3 de mayo para cada productor (coloraciones rojas para naves con paredes y azules para las sin paredes).....	58
Figura 30. Ejemplo de las condiciones de la cobertura plástica en los techos de los ambientes protegidos.....	59
Figura 31. Radiación Global Total el tres de mayo de 2023.....	60
Figura 32. Humedad Relativa registrada por los sensores por tipo de condición (azul, estructura sin pared, rojo, estructura con pared).....	61
Figura 33. Comportamiento de la Humedad Relativa mensual por tipo productor.....	61

<i>Figura 34. Distribución de la humedad relativa el día 3 de mayo (coloraciones rojas para naves con pared y azul para las que no poseen pared).</i>	62
<i>Figura 35. Resultados de la prueba de Mood para la temperatura en función del tipo de ambiente controlado.</i>	68
<i>Figura 36. Resultados de la prueba de Mood para la humedad relativa en función del tipo de ambiente controlado.</i>	69
<i>Figura 37. Comparación del requerimiento neto de riego entre tipo de estructura (rojo representa los ambientes protegidos con pared y azul a los que no poseen pared).</i>	71
<i>Figura 38. Requerimiento hídrico neto diario en el ciclo fenológico por productor.</i>	72
<i>Figura 39. Producción anual de acuerdo con el área asignada a cada productor.</i>	73
<i>Figura 40. Experiencia de las personas productoras en producción de fresa.</i>	74
<i>Figura 41. Tipo de estructura de los invernaderos.</i>	74
<i>Figura 42. Procedencia del tipo de semilla utilizado.</i>	75
<i>Figura 43. Meses de mayor producción.</i>	76
<i>Figura 44. Detalles del uso del sistema de riego para las aplicaciones</i>	77
<i>Figura 45. Horarios definidos por los productores para realizar las aplicaciones de riego.</i>	78
<i>Figura 46. Estado de los sistemas de riego.</i>	79
<i>Figura 47. Elaboración de lavados a las cintas y boquillas del sistema de riego.</i>	79
<i>Figura 48. Mención de existencia de un cronograma de riego definido por la SUA de la Finca Gamaliel.</i>	80
<i>Figura 49. Calidad del servicio de transporte hídrico.</i>	81
<i>Figura 50. Modalidad de siembra.</i>	81
<i>Figura 51. Categoría de personal que tiene acceso al cultivo.</i>	83
<i>Figura 52. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura abierta en la época seca.</i>	103
<i>Figura 54. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura cerrada en la época seca.</i>	104
<i>Figura 53. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura cerrada en la época lluviosa.</i>	104
<i>Figura 55. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura abierta en la época lluviosa.</i>	105
<i>Figura 56. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura abierta en la época seca.</i>	105
<i>Figura 57. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura cerrada en la época seca.</i>	106
<i>Figura 58. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura abierta en la época lluviosa.</i>	107
<i>Figura 59. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura cerrada en la época lluviosa.</i>	107
<i>Figura 60. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 33.</i>	115
<i>Figura 61. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 34.</i>	115
<i>Figura 62. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 28.</i>	116
<i>Figura 63. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 11.</i>	116
<i>Figura 64. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 30.</i>	117
<i>Figura 65. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 24.</i>	117

III. Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Pruebas Estadísticas para evaluar normalidad realizadas.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2. Evapotranspiración Potencial en cada uno de los ambientes protegidos.</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 3. Parámetros de mayor interés en la calibración del modelo AquaCROP.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4. Lámina aplicada por ciclo en las unidades productivas evaluados.</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 5. Lámina por parcela en un ciclo productivo.</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 6. Resultados de la prueba de Uniformidad de Christiansen.</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 7. Código del sensor seleccionado para análisis estadístico general por unidad productiva.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 8. Resultados de la modelación con el programa AquaCROP para cada uno de los ambientes controlados. .</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 9. Resultados del Suministro Relativo de Riego.</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 10. Nomenclatura establecida para la identificación de dirección del viento de manera numérica.</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 11. Sensores instalados en los ambientes controlados.</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 12. Coeficientes y error estándar para el ANCOVA generado.</i>	<i>114</i>

RESUMEN

*El cultivo de fresa (*Fragraria ananassa L*) ha supuesto un aumento tanto en consumo como en producción en los últimos años. Este en países de primer mundo ha sido tecnificado evolucionando así a producciones hidropónicas empleando fibras como sustratos para la producción. Los países de España, México y Estados Unidos, en la actualidad, son los que reportan mayor exportación a nivel mundial*

En Costa Rica, las instituciones nacionales públicas (SENARA, MAG, INDER, entre otros) han establecido oportunidades a las familias dedicadas a la actividad productiva de fresa para que esta posea una competitividad de alto nivel.

Si bien es cierto, la fresa no es un producto oriundo del país, las tecnologías y estructuras han permitido su desarrollo. Un ejemplo de esto es el uso de ambientes protegidos que garantizan condiciones internas requeridas por la producción.

La Finca Gamaliel ubicada en Vara Blanca de Heredia, es un área perteneciente al INDER en donde en la actualidad 24 familias se ven beneficiadas mediante actividades agrícolas freseras en ambiente protegido y en su 90% en metodología hidropónica. Éstas se mantienen en constante apoyo económico y técnico con el fin de garantizar un producto de calidad a sus consumidores, siendo ejemplo para que, en otros sectores del país con condiciones climáticas similares, se amplíe el mercado.

En este estudio se expone una investigación que tenía como fin identificar y analizar el desempeño del riego mediante el análisis de indicadores, cuyo parámetro diferencial es el factor estructura (con laterales y sin laterales), considerando los factores de las temperaturas, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento que modifican la demanda hídrica del cultivo de fresa en La Finca Gamaliel, en vara Blanca de Heredia. Para esto se utilizaron sensores de medición en un lapso de ocho meses, abarcando la temporada seca y la lluviosa del país. Estas fueron comparadas y validadas mediante datos obtenidos por la estación meteorológica más cercana gestionada por el Instituto Meteorológico Nacional. Los datos fueron analizados mediante una metodología estadística no paramétrica mediante pruebas de Mood que permitieron identificar que los parámetros estudiados no presentan diferencias estadísticas en el consumo hídrico. A su vez, expone los resultados obtenidos mediante una entrevista semiestructurada a los productores de la finca, en la que se identificó que las labores de riego no son las más óptimas y que son un factor influyente en el consumo de agua.

Las demandas hídricas obtenidos mediante el Software AquaCROP de la FAO mostraron que los indicadores de desempeño evaluados arrojaron valores de 4,57 y 4,83 para los ambientes protegidos abiertos y cerrados respectivamente para el Suministro Relativo de Riego (SRR). Mientras que para el caso de la evaluación de la Capacidad de Entrega de Agua (CEA) se obtuvo un resultado de 1,13. Estos valores en los indicadores y el análisis de las respuestas en las entrevistas semiestructuradas permiten determinar que la demanda hídrica puede ser satisfecha mediante un estricto calendario de distribución de agua. Este plan debe organizar los riegos de todos los usuarios a lo largo del día, permitiendo realizar al menos tres aplicaciones diarias para cada uno. Además, se muestra que la capacidad hidráulica de la tubería principal

muestra una alta susceptibilidad ante cualquier cambio que pueda ser realizado ya sea con aumento de unidades en funcionamiento o aumento del área productiva.

ABSTRACT

*The strawberries crop (*Fragaria × ananassa L*) has seen an increase in both consumption and production in recent years. In first-world countries, this has become more technical, evolving into hydroponic productions using fibers as substrates for cultivation. Spain, Mexico, and the United States are currently the countries reporting the highest levels of export worldwide.*

In Costa Rica, national public institutions (SENARA, MAG, INDER, among others) have established opportunities for families dedicated to strawberry farming to ensure high-level competitiveness. Although strawberries are not native to the country, technologies and structures have enabled their development. An example of this is the use of protected environments that ensure the internal conditions required for production.

Finca Gamaliel, located in Vara Blanca de Heredia, is an area owned by INDER where currently 24 families benefit from strawberry agricultural activities in a protected environment, with 90% using hydroponic methods. These families receive constant economic and technical support to guarantee a quality product for their consumers, serving as an example for expanding the market in other sectors of the country with similar climatic conditions.

This study presents research aimed at identifying and analyzing the performance of irrigation through the analysis of indicators, with the differential parameter being the structural factor (with and without sidewalls), considering factors such as temperature, relative humidity, solar radiation, and wind speed that modify the water demand of the strawberry crop at Finca Gamaliel in Vara Blanca de Heredia. Sensors were used over eight months, covering the country's dry and rainy seasons. These were compared and validated with data obtained from the nearest meteorological station managed by the National Meteorological Institute. The data were analyzed using a non-parametric statistical methodology with Mood tests, which indicated that the studied parameters do not show statistical differences in water consumption. Additionally, the study presents results from a semi-structured interview with the farm's producers, which identified that irrigation practices are not optimal and are a significant factor in water consumption.

The water demands obtained using FAO's AquaCROP software showed that the performance indicators evaluated yielded values of 4.57 and 4.83 for open and closed protected environments, respectively, for the Relative Irrigation Supply (RIS). Meanwhile, the evaluation of the Water Delivery Capacity (WDC) resulted in a value of 1.13. These values in the indicators and the analysis of the responses from the semi-structured interviews indicate that water demand can be met through a strict water distribution schedule. This plan should organize irrigation for all users throughout the day, allowing at least three applications daily for each. Furthermore, it shows that the hydraulic capacity of the main pipeline is highly susceptible to any changes, such as increasing operational units or the productive area.

IV. Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Justificación

La fresa (*Fragraria ananassa L*) es uno de los productos agrícolas con mayor aumento (en Kg producidos por año) en su producción a nivel internacional, de acuerdo con el *Ministerio de Agricultura de Chile (Ministerio de Agricultura de Chile [MINAGRICL], 2014, p. 1)*. A nivel mundial, se estima que el consumo ronda los 1,5 millones de toneladas por año. Además, el mercado en general busca poder ofertar tanto el producto fresco como procesado para la elaboración de jaleas, mermeladas y otros derivados (*MINAGRICL, 2014, p. 1*). No obstante, para año 2021, el *Ministerio de Agricultura de Colombia*, estimó un consumo de 4,8 millones de toneladas a nivel mundial (*Ministerio de Agricultura de Colombia [MINAGRICULTURA], 2021, p. 2*).

El origen de la fresa en la actualidad es desconocido, debido a que se ha encontrado en varias regiones del mundo (*Terrones-Rodríguez et al, 2022*). A pesar de esto, se cree que el producto fue trasladado de *Estados Unidos* a *Europa*. Sin embargo, por su preferencia a los climas templados, se localiza con mayor frecuencia en los países que conforman el hemisferio norte de América (*Valdéz-Tapia, C. 2012*). No obstante, en países con climas tropicales se ha fomentado el desarrollo de la actividad fresera.

El índice de ventaja relativa de exportación (VRE) es una medida que evalúa la competitividad de un país en términos de sus exportaciones. Se basa en la relación entre la participación de un producto específico en las exportaciones de un país y la participación de ese mismo producto en las exportaciones mundiales. De acuerdo con *Ramírez-Padrón et al. (2021)*, la fresa representó un 9,4% del índice de ventaja relativa de exportación para España, el mayor exportador del mundo para el año 2016.

Cabe destacar, que entre los años 1994 y 2016, la fresa aumentó su producción en un 167%, llegando a una totalidad de cinco millones de toneladas cosechadas en un año a nivel global. Lo anterior ha establecido a la fresa como actividad altamente rentable, generándole grandes ingresos a los países dedicados a la actividad productiva.

En el año 2021 la fresa representó un 0,00018% del total de las exportaciones mundiales. Esto representó \$ 3,77 mil millones para la economía internacional. Aunado a esto, se reportó un aumento de la producción de un 26,0%. Este mismo año, en términos de producción México superó a España, quien ocupó el puesto del país con más producción y exportación durante muchos años, con un total de 902 millones en exportaciones. Para el caso de la fresa, el país con mayor reporte de compra es Estados Unidos (*The Observatory of Economic Complexity, 2021*).

La rentabilidad en términos de producción de consumo de la fresa es alta, tanto a nivel mundial como nacional. En Costa Rica, en el año 2020, el índice de producción del *Producto Interno Bruto (PIB)* de la fresa fue de un 86,74% (*Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019*). Para el mismo año, el PIB reportado a nivel

mundial para el producto fue estimado en un 111,25%. Sin embargo, a la fecha no existen datos generados por las instituciones nacionales encargadas que validen los datos anteriores referidos al país, generando un vacío de información importante (FAO, 2019).

En Costa Rica, el *Censo Nacional Agropecuario 2014* identificó alrededor de 335 fincas dedicadas al cultivo de fresa. Adicionalmente, identificó a las provincias de *Heredia, Cartago y San José* como las que acogen a la mayoría de las personas que se dedican a la actividad fresera. Dentro del territorio nacional, la fresa se produce con alturas de entre los 1 200 – 1 300 msnm con una temperatura idónea para su producción de 14°C (Cormier, J. et al 2020). A nivel nacional, el crecimiento de la actividad ha demostrado a las autoridades encargadas la necesidad de que la producción reluzca, no solo por su atractivo económico, sino también por sus bajos periodos de retorno para los inversores (Casto, J. 2016).

En la actualidad pequeños grupos de productores de fresa conforman asociaciones tales como la *Sociedad de Usuarios de Agua* (SUA). Estas asociaciones se conforman con la finalidad de acceder a una concesión y dotar de agua a las parcelas bajo producción de sus afiliados. Lo anterior ha llamado la atención de las instituciones públicas tales como el *Ministerio de Agricultura y Ganadería* (MAG), el *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura* (IICA), el *Instituto de Desarrollo Rural* (INDER) y el *Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento* (SENARA). Esto ha permitido que se genere un trabajo interinstitucional facilitando herramientas mediante las cuales las personas productoras optimizan y tecnifican sus cultivos de manera más autónoma, no dependiendo tanto de la intervención técnica continua (Casto, J. 2016).

Esta cooperación de las instituciones ha permitido que la inversión pública haya representado 3 949 millones de colones en recursos e infraestructura agrícola para la producción de fresa de acuerdo con los *Informes de la Gestión del Sector Agropecuario Rural*, para el período 2018 – 2024. Además, se han generado oportunidades de aprendizaje, mejor toma de decisión y una economía familiar estable en diversas zonas del país. Por esta razón, en la actualidad, se pueden observar frutos de mejor calidad, mayor tamaño y de mayor precio comercial (*Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria [SEPSA], 2018*).

Para los grupos de productores que disponen del servicio de abastecimiento de agua para riego en las zonas rurales, la implementación de las buenas prácticas agrícolas y la generación de información ha permitido mejorar, no solo los rendimientos de la producción, sino también el uso más eficiente del recurso hídrico. Esto a su vez, permite generar información para que la persona productora logre prepararse de manera resiliente ante las afectaciones causadas por el cambio climático. No obstante, cabe destacar la importancia de la protección económica y social de las personas productoras, ya que permite un salvaguardo a la pequeña fracción de producciones independientes y familiares que aún existen (Chazovachii, B, 2012).

Gracias a este trabajo de acompañamiento técnico y crecimiento de la agroindustria en conjunto con la incursión de nuevas tecnologías productivas, las personas dedicadas a la actividad han migrado de las producciones en suelo a los sistemas hidropónicos. Sin embargo, un factor que uniformiza ambos tipos de producción es la necesidad de incorporación de sistemas de

riego que fomenten la aplicación adecuada del agua riego y el fertirriego, pero aún más importante una mejor gestión del recurso hídrico (*Casto, J, 2016*).

Para el caso del cultivo de fresa, el riego por goteo existe casi en la totalidad de las producciones. Existen variaciones de eficiencia y aplicación entre los dos sistemas (suelo e hidropónico). Debido a que el suelo podría ser catalogado como un “Buffer”, en los sistemas hidropónicos la conductividad eléctrica presente en el sustrato debe de monitorearse para que no supere los 5 mS/cm. En caso contrario, puede perjudicar el sistema radicular, haciendo necesario en estos sistemas el uso de conductímetros (*Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2017*)

Si bien el riego permite un mejor uso del recurso hídrico, se deben de emplear indicadores que logren validar que el sistema cumple con las condiciones esperadas, tanto en funcionalidad como también en la capacidad de la fuente de abastecer el área de producción. Existen una serie de indicadores que cumplen con esta tarea y que permiten tomar decisiones y actuar de modo en que se maximice el sistema en función de la producción. Es aquí donde entran los conceptos de eficiencia y competitividad en términos hidráulicos. Dos de los más destacables son la *Capacidad de Entrega de Agua (CEA)* y el *Suministro Relativo de Riego (SRR)* (*Olmedo-Vázquez. V. et al. 2016*).

En este estudio, se realizará una evaluación de la eficiencia del sistema de riego en el cultivo de fresa de la *Finca Gamaliel* en *Vara Blanca* de *Heredia* en condiciones de ambiente protegido en dos escenarios distintos de producción. En ambos casos, se analizarán sistemas hidropónicos, empleando como sustrato fibra de coco.

Se pretende con este estudio generar información que le facilite a los productores mejorar las técnicas de aplicación de agua de riego y con ello la eficiencia de aplicación garantizando o mejorando la productividad.

1.2. *Objetivos*

1.2.1. Objetivo General

Determinar la eficiencia del sistema de riego mediante dos indicadores de desempeño de riego, en dos escenarios de cultivo de fresa en condiciones de ambiente protegido en la *Finca Gamaliel*, ubicada en *Vara Blanca* de *Heredia*, con el fin de identificar el escenario crítico de demanda de agua.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar las condiciones ambientales y edafológicas en términos de temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, retención de agua y conductividad hidráulica para el cultivo de *Fragaria ananassa L.*, en dos escenarios estructurales de ambiente protegido en sistemas hidropónicos, para determinar la demanda hídrica que posee el Finca Gamaliel mediante el programa AquaCROP.
2. Caracterizar, mediante encuestas semiestructurada a productores y aforo de fuentes, el manejo agronómico del riego en *La Finca Gamaliel*, para determinar el consumo real del recurso hídrico.
3. Realizar un análisis estadístico utilizando variables ambientales, con el fin de discernir posibles diferencias entre invernaderos con pared y sin pared para toma de decisiones en el cálculo de la eficiencia del suministro relativo de riego hídrico en la finca *Gamaliel*.
4. Determinar la eficiencia del suministro hídrico para el escenario más crítico mediante los indicadores de *Suministro Relativo de Riego (SRR)* y la *Capacidad de Entrega de Agua (CEA)* de la *Finca Gamaliel*.

1.3. Delimitación del Problema

La optimización, en términos del uso de recurso hídrico, involucra a distintas áreas de estudio, entre las que destacan la ingeniería agrícola, la hidrología, la meteorología, entre otras. La constante competencia por la disponibilidad del agua para las distintas actividades de la sociedad aumenta la preocupación debido a sus necesidades estrictas para el desarrollo de la vida. Dentro de estas, se destaca el conglomerado de actividades mediante las cuales se desenvuelve la producción agrícola. Acorde con esto, los requerimientos hídricos para la producción agrícola se han adaptado y optimizado, mediante mejoramiento genético, mejores marcos de siembra y mejoras sustanciales en emisores de agua, debido a las presiones existentes por el elevado aumento de la población y cambios en los patrones del clima.

El riego, siendo una de las principales herramientas diseñadas por el hombre para producir sus alimentos, ha experimentado a través del tiempo cambios que le han permitido acortar el distanciamiento tecnológico. Estos diseños permiten realizar el movimiento del agua desde una fuente definida, hasta la producción. Además, se logra una reducción del desperdicio crucial del recurso hídrico. Por lo tanto, zonas productivas que se encuentran en lugares alejados, han desarrollado capacidad de producir y distribuir la cantidad de agua que un grupo de productores requiere para tecnificar las plantaciones.

En el caso específico de Costa Rica, en términos de acceso, el agua abunda de tal manera que en los meses más lluviosos (de septiembre a octubre) se presentan fenómenos de inundaciones en algunas zonas del país. Esto permite que los cultivos se suplan de agua y en algunos casos sufran por excesos de agua. Principalmente, son los cultivos bajo condiciones de ambiente protegido requieren un sistema de riego.

Sin embargo, la necesidad de sistemas de irrigación es más que todo en la época seca cuando escasean las precipitaciones y el acceso al agua. El país no ha logrado avanzar en materia tecnológica, encontrándose con un área productiva donde sus gremios poseen conocimientos escasos y baja inversión en tecnología agrícola evidenciado en la *Política Pública Para el Sector Agropecuario Costarricense 2023-2032* (2023). (Ordaz, J. et al. 2010)

La producción de fresa (*Fragraria ananassa L.*), por sus necesidades y manejo, en su mayoría se ha desarrollado bajo condiciones de ambiente protegido. Por lo tanto, es una producción en la cual se ha gestado, en las personas dedicadas a la actividad fresera, una necesidad de inserción de equipos y herramientas que les permitan potencializar sus cultivos y aumentar el rendimiento de estos, sin la necesidad de desperdicio tanto del recurso hídrico como de fertilizantes, fungicidas y pesticidas.

Con esto último, debido a varias problemáticas mundiales, la oferta en insumos de producción ha disminuido, trayendo consigo un aumento de los precios para el consumidor. Para el país ha llegado a sumar un obstáculo más para el pequeño y mediano productor. Por lo tanto, los sistemas de irrigación óptimos permiten disminuir los gastos, optimizando así, las fórmulas de aplicación en fertirriego, así como también el tiempo y el capital de producción.

La evaluación del rendimiento de riego y por tanto del fertirriego, en investigaciones similares, se ha realizado contemplando dos temporadas productivas manteniendo los valores de *Capacidad de Campo* (CC) y el *Punto de Marchitez Permanente* (PMP) en constante monitoreo, así como también las variables ambientales. Una vez que se han obtenido los valores para dichos rendimientos, se procede a modelar el riego óptimo en diversos programas. (Ariza, M. et al. 2021)

El caudal de agua disponible para atender las necesidades hídricas del cultivo de fresa en la Finca Gamaliel es de 15,79 L/s (*Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento [SENARA], 2021*). La fuente de la cual proviene el recurso proviene de la quebrada Piedras Negras. Este caudal se respalda en concesión de agua asignada por la Dirección de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía [*MINAE*].

La *Finca Gamaliel*, inició con el sistema productivo convencional en suelo. La finca está compuesta actualmente por 24 parcelas asignadas por el INDER a grupos familiares. El área de cada parcela en promedio es de 7 000 m² y cada una dispone de infraestructura con ambiente protegido. Actualmente, casi la totalidad de los productores han migrado al sistema hidropónico empleando como sustrato de siembra fibra de coco. Es importante considerar que en la actualidad un 90% de los invernaderos presentan este sistema y el 10% restante está con miras al cambio de suelo a sistema hidropónico. Todo el distrito se encuentra bajo el sistema de ambiente protegido.

Sin embargo, existe un malestar respecto a la escasez del agua para el riego por parte de las personas productoras, ya que las mediciones realizadas con aforo al caudal que entra a la finca provienen de otras fuentes y que es realmente menor al estimado por el SENARA para 15,79 L/s para atender las necesidades de la finca y por lo tanto es urgente contar con la implementación de la infraestructura para conducirla desde la quebrada Piedras Negras hasta la finca Gamaliel.

Existen dos modalidades de estructuras para el ambiente protegido; uno que posee cobertura de plástico en la totalidad del perímetro de la estructura, y otro que solamente contempla la cobertura del techo. Por esta razón, la finalidad de la investigación se centra en abordar el problema de desconocimiento de la demanda real del cultivo y el *Suministro Relativo de Riego y la Capacidad de Entregas de Agua* mediante el uso de indicadores ya determinados, el *Suministro Relativo de Riego y la Capacidad de Entrega de Agua*.

El Trabajo Final de Graduación, pretende brindar información con respecto al desempeño del sistema de riego presente en la *Finca Gamaliel* y a las variables que influyen en los indicadores utilizados para otorgar información fundamental a la administración de la SUA para que esta pueda tomar decisiones respecto al correcto suministro del recurso hídrico para todos los usuarios de la *Finca Gamaliel*. Por lo tanto, una vez que se obtengan los datos, se realizaría una reunión con las instancias encargadas y los productores para exponer los resultados finales y realizar recomendaciones técnicas.

V. Capítulo 2

2. Marco Teórico

2.1. Cultivo de Fresa (*Fragaria ananassa* L) en Costa Rica

La *Fragaria ananassa* L., perteneciente al grupo de plantas estoloníferas mejor conocidas como rastreras, posee un fruto comestible con gran demanda de mercado. Debido a los gustos de los consumidores, en los últimos años solamente se ha reducido a la producción de variedades de frutos más grandes y con un sabor mucho más dulce. Entre los factores más llamativos para los consumidores se encuentra su fuerte coloración rojiza que aparenta la frescura y dulzor. Por ende, se ha convertido en un cultivo altamente industrializado que prácticamente extinguió a sus variantes antecesoras (Linarez-Castillo, L. y Melo-Rojas, L. 2015).

En cuanto a su estructura, la *Fragaria ananassa* L. posee un sistema radicular fasciculado. Tiene dos tipos de raíz, las más gruesas o primarias, que realizan la función de sostén de la planta; mientras que las raíces secundarias con menores diámetros absorben el agua y los minerales necesarios. Ambos tipos de raíces tienen un límite de profundidad de alrededor de 40 cm (IICA, 2017), sin embargo, en muchos casos, la profundidad de las raíces está limitada por la estrategia de siembra, que consiste en bolsas largas con sustratos. Sus hojas, poseen una formación longitudinal con la prevista de peciolo y un limbo dividido. Cada una de las hojas, posee alrededor de 400 mm² (Lauricella, 2021) de estomas. Por lo tanto, este tipo de planta tiene la limitante de poseer transpiraciones considerables, por lo que aumenta las pérdidas de agua del cultivo (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2007).

La fresa, se caracteriza como de alta demanda hídrica. Por lo tanto, la composición de sus raíces las hace muy susceptibles a las condiciones en donde carece el agua. En algunos estudios, se ha determinado que menos del 30% de la estructura de la planta es de agua acumulada para realizar su proceso fotosintético. En cultivos que mantienen el suelo en capacidad de campo, tiene 80% menos de probabilidad de tener pérdidas, considerando estas como “perfectamente despreciables” (Cormier, J., 2020).

La fresa requiere para desarrollarse estar cultivada una elevación de 2 000 msnm. Tal como se mencionó anteriormente en este escrito, se adapta muy bien en zonas templadas, aunque en el trópico ha demostrado buen rendimiento ya que requiere una lámina de agua de aproximadamente es de 600 mm. Finalmente, la humedad relativa debe de rondar entre el 69 – 80% (MAG, 2007). La producción de fresa en la zona de *Vara Blanca*, la siembra se realiza en dos fechas distintas. La primera en el mes de junio y la segunda en el mes de agosto con una duración de 150 días, para obtención del fruto.

El coeficiente de cultivo (Kc) varía de entre los 0,4 en su etapa de crecimiento, a los 0,85 en su desarrollo y floración y 0,75 en su etapa de senescencia (FAO, 2006). El cultivo presenta una profundidad de raíz de 40 cm (IICA, 2017) y se recomienda un agotamiento del agua disponible del 20%.

En cuanto a la reproducción, sus flores cuentan con ambos órganos (femenino y masculino), lo que la hace hermafrodita. Sin embargo, también hace uso de polinizadores como por ejemplo las abejas, que se ven atraídas por el aroma dulce que se desprende. Esto, debido a que sus frutos son achenios (fruto simple, seco y dehiscente), lo que le permite a la flor ser mucho más llamativa y atractiva. La coloración de sus flores es blanca, sin embargo, en ocasiones sufren cambios a tonalidades rosas o moradas que indican un limitante o alto contenido de algún mineral (Román-Arguedas, Y., 2022).

De acuerdo con Román-Arguedas, (2022), en el 2019 había 55 productores de fresa en el área de Poás, Poasito, Fraijanes y Vara Blanca. El estudio, realizado por el MAG entre 2018 y 2019 también determinó que cada productor en promedio cuenta con una hectárea dedicada a la actividad. La producción inicia su siembra en los meses de mayo y junio, lo que establece que un 60% de la cosecha total se dé principalmente en el mes de diciembre. Su cosecha se realiza de manera manual y es muy susceptible a daño mecánico.

El ciclo fenológico de la *Fragraria ananassa* L. en el país posee una duración de 150 días (Instituto Tecnológico Superior de Coacmalán, 2018), donde infieren las condiciones climáticas. Según Rodríguez-Salazar (2017), la temperatura y la radiación, son las variables que deben de ser controladas para evitar que el cultivo se vea perjudicado. Por lo tanto, la duración de horas luz es uno de los factores que permiten una varianza en cuanto al proceso fotosintético máximo. Es por esta razón, que, de acuerdo con la variedad, el cultivo en combinación con el ambiente se puede expresar en tres tipos de cultivares; cortos, largos y neutros. En el país, la longitud de día es de aproximadamente 12 horas, lo que le permite tener una inducción floral competitiva, permitiendo que, a la fecha, la variedad “Oso grande” sea la que mayoritariamente se produce a lo interno (Rodríguez-Salazar, 2017).

Las producciones nacionales se pueden caracterizar como hidropónicas y controladas. Esto debido a que se están empleando sustratos tipo “Grow Bag”, que consiste una bolsa sellada con fibra de coco en su interior con alto potencial absorbente que otorga a la planta un crecimiento radicular mucho mayor. Esto permite que la producción reduzca el consumo de agroquímicos ya que reduce el desperdicio. Este tipo de producciones también mantienen un drenaje justo para el tipo de cultivo de la fresa. Actualmente, la mayor parte de las producciones de fresa cuentan con sistemas de riego presurizado, donde predomina el goteo. Ambos factores han permitido que las producciones sean mucho más productivas y controladas principalmente con el uso del agua (Chiqui-Chiqui, F y Lema-Cumbe, M, 2010).

2.2. Ambientes Protegidos

De acuerdo con Achicano-Lara y Ojeda-Santana (2022), los ambientes protegidos, popularmente conocidos como invernaderos, son estructuras que permiten el control del ambiente en el cual se desarrollan las producciones agrícolas. Dicha estructura, por lo general, está diseñada en función de suplir con las necesidades del cultivo de interés y permiten, de esta forma, mejorar el rendimiento de las producciones y mantener la producción continua con miras de satisfacer la demanda del público.

En cuestión productiva, permiten un manejo mucho más accesible para las personas productoras. Por lo tanto, dependiendo de su función, puede minimizar o erradicar la presencia de plagas en los cultivos o permitir que los manejos de estos sean más eficaces. En el caso de las etapas de cosecha, el hecho de que el área esté delimitada por parte de la estructura también permite que se logre aumentar la densidad de siembra, mejorando los rendimientos de la producción y maximizando el espacio disponible para la actividad agrícola.

Dentro de las ventajas que otorga el trabajo contemplando estos sistemas, además de las ya mencionadas, cabe destacar que también disminuye las probabilidades de riesgo por cambios drásticos del clima. Este último es fundamental, dado que, debido a los efectos de los cambios en el clima, las producciones son más propensas a pérdidas. Por lo tanto, al mantenerlas bajo condiciones de ambiente protegido se disminuye el riesgo de manera considerable de pérdida de la producción (*Achicanoy-Lara, O. y Ojeda-Santana, M., 2022*).

Cabe destacar, que, en cuanto a manejo de agroquímicos, se disminuye el desperdicio de insumos, permitiendo aplicaciones mucho más controladas y específicas. Si bien es cierto las plantaciones requieren de condiciones óptimas para su correcto desarrollo y rendimientos de producción, el control del espacio logra aumentar o disminuir la temperatura generando un diferencial con la del exterior, que otorga mejores rendimientos de producción. Por tanto, económicamente las producciones serán distintas a las de cielo abierto (*Rodríguez-Salazar, 2017*).

En lo que respecta a la construcción de este tipo de estructuras, en términos más industrializados se emplean materiales con alto valor económico como metales y materiales especializados, lo que eleva los costos. En casos más artesanales, se cuentan con estructuras creadas a partir de madera. En cuanto a la cobertura, existen dos tipos generales, las mallas o plásticos. Las mallas, como ejemplo las antiofídicas, son eficaces en limitar los espacios por los cuales puedan incurrir plagas en las producciones, sin embargo, permiten en algunos casos el paso del aire y partículas pequeñas que este pueda acarrear. No obstante, si bien el plástico es un sistema mucho más protector, aumenta las temperaturas internas, donde existen épocas del año en las que se dificulta el acceso de personal (*Rojas-Rishor, 2015*).

Sin embargo, sin importar cual sea el material para emplear, ambos cuentan con mucha facilidad de rotura, principalmente el plástico dependiendo de su grosor. La malla, ante circunstancias secas o húmedas tiende a llegar a un estado de podredumbre lo cual requiere que se realicen cambios periódicos del material. Es importante destacar que también dichas afectaciones dependerán de los cuidados de las personas encargadas y del material, desde su instalación hasta su etapa de cambio (*Blanco, I. et al, 2022*).

2.3.Sistemas de Riego.

Se puede definir un sistema de riego, como el conjunto de elementos que permiten aportar agua u otros fluidos a los cultivos, con el fin de satisfacer sus necesidades hídricas. El sistema puede ser automatizado, contemplando diversos equipos y mecanismos o realizarse de forma manual. El riego se divide en dos categorías: por gravedad y presurizado (*Consejería de*

Agricultura y Pesca, 2010). Los sistemas de irrigación presurizada cuentan con infraestructura para un transporte de agua hasta la planta de manera precisa. Este grupo lo conforman el riego por goteo, por aspersión y por microaspersión.

Para el caso del riego por goteo, se recurre a conducir el agua directamente al área radial superficial que abarcan las raíces. Es el sistema actual más eficiente y, por ende, de los más utilizados para las producciones agrícolas. El diseño de este tipo de sistemas recurre a la colocación de líneas de riego, en las cuales se introducen los goteros. Este sistema permite que el proceso se realice de una forma más controlada y eficiente (*Franco-Ortega, V., 2018*).

La selección del sistema de riego debe de basarse en las necesidades y cualidades del cultivo. Además, se deben de considerar las condiciones de la fuente de agua, las dimensiones del cultivo y el presupuesto con que se dispone. El análisis previo a la selección es fundamental, ya que, de no realizarse, las pérdidas económicas podrían ser considerables. Son, por tanto, tres preguntas a las cuales se debe de responder al momento de iniciar el proceso de análisis de selección: ¿cómo se va a realizar el riego?, ¿en qué momento se debe irrigar?, y finalmente, ¿cuánta agua va a ser requerida?

Iniciando con la determinación de cuánta agua se debe de agregar, deben de considerarse tres variables principales. Estas se definen de la siguiente manera (*Cely-Reyes, 2010*):

- Variables ambientales: son definidas por el entorno en el cual se va a desarrollar la plantación. Ejemplo de esto son la zona y las condiciones atmosféricas, temperatura, humedad relativa, entre otras.
- Variables dependientes del sustrato: hacen referencia al sistema en el cual se vaya a desarrollar la producción, sea en suelo o de manera hidropónica. En cuanto a estos se deben de considerar el tipo de suelo, la porosidad, su composición, la conductividad eléctrica, el pH, la infiltración, la capacidad de almacenamiento, su composición, la capacidad de drenaje y textura.
- Variables definidas por el cultivo: el propósito o aprovechamiento para el cual se destina el producto, la fenología y las necesidades durante cada una de las etapas del crecimiento y desarrollo, y el *Coefficiente del Cultivo*, conocida esta como Kc.

El Kc se entiende como la relación entre la variable de *Evapotranspiración Real* (ET_r), específica para cada cultivo y las condiciones de *Evapotranspiración de Referencia* (ET_o), en el mismo microclima. Su importancia deriva de la necesidad de conocer las pérdidas de agua por transpiración. Aunado a la ET_o, se obtiene, por tanto, la *Evapotranspiración del Cultivo* (ET_c). Esta variable, en conjunto con la eficiencia del sistema, determina todas aquellas pérdidas de agua que se presenten (*Aqilah-Tukimat, N., 2012*).

El análisis del momento en que se debe de realizar el riego se basa en las condiciones previamente mencionadas. De manera más puntual, se debe contemplar la existencia de precipitaciones y el flujo del aire. Por otra parte, evaluar si se requiere realizar Fertirriego (mezcla de fertilizantes y agua), el tipo del sistema que se seleccione y la fenología del cultivo. Además, es importante considerar la tasa de entrega del sistema y el tipo de suelo, así como también, la capacidad de almacenar agua que este posea (*Franco-Ortega, V., 2018*).

El "cómo" se va a realizar el riego considera aspectos más técnicos e hidráulicos. Estos son la estructura y eficiencia del sistema seleccionado, los tipos de tubería e implementos que se vayan a utilizar, principalmente el estado, el tipo de gotero; sea este autocompensado o no, y la fuente de agua (Benavidez-Valverde, J., 2020). Para el caudal de entrada, se partirá de varios criterios. El tipo de fuente, que pueden ser de reservorio o pozo. Dependerá también, del área a irrigar, la cantidad de bombas que doten al cultivo, la presión y los caballos de fuerza (IICA, 2017).

2.4. Variables que influyen en el desempeño de riego

En la actualidad, es de suma importancia que todo sistema de riego se acople a la gestión integrada del recurso hídrico. Por lo que velar porque el sistema a diseñar no comprometa los recursos, favorece a la futura producción. Sin embargo, existen una serie de factores que afectan el correcto rendimiento del riego. Estos se dividen en dos grupos, las propias del sistema y las que son generados por mal manejo. Estos grandes grupos se componen de la siguiente manera (Schilardi, C, 2010):

- Variables del sistema: son todas aquellas que tienen afectación directamente con las necesidades de la planta. Comprenden todo aquel valor necesario para determinar la demanda hídrica que el cultivo posea. Dentro de este grupo se encuentran las variables agronómicas, como la lámina de agua requerida, las cualidades de la planta, otras variables del suelo como la capacidad de infiltración, así como también su composición y topografía.
- Variables de manejo: son las variables que se ven inmersas en el diseño hidráulico del sistema siendo estas los tipos de caudal, el material de la tubería y la fricción que soporte.

2.5. Indicadores de Eficiencia

Una vez que se determina el riego, se debe recurrir a evaluar su factibilidad. Este proceso se hace mediante el uso de indicadores de riego. Dos de los indicadores que determinan la eficiencia son el *Desempeño de Suministro Relativo de Riego* (SRR) y la *Capacidad de Entrega de Agua* (CEA). El primero, determina la relación entre la cantidad de agua que entra al sistema y el agua que realmente necesita el cultivo para estar sano. Por otra parte, el segundo indicador mencionado, es la máxima cantidad de agua que el sistema es capaz de irrigar. Por lo tanto, estos indicadores permiten determinar si el sistema suple las necesidades hídricas máximas del cultivo.

Sin embargo, se debe de comprender que los *Indicadores de Eficiencia* son valores cuantitativos que se obtienen de un sistema, que permiten identificar la eficacia o eficiencia que posee el mismo con respecto a una línea base u óptima. Para el riego, estos permiten realizar un uso eficiente y óptimo del recurso hídrico, permitiendo que el sistema no realice gastos innecesarios de recursos (Olmedo-Vázquez, V. et al, 2016).

En el caso del SRR, este realiza una vinculación entre la *Lámina Neta de Riego* que es aplicada por el sistema y el agua total que es necesaria para el desarrollo de la planta. Este indicador, parte de datos sencillos que deben de ser tratados para la obtención de la necesidad

hídrica real de las plantas o *Requerimiento Neto Hídrico del Cultivo* (RNHC). Estos son el manejo, las condiciones de clima, información del sustrato y del cultivo, para así llegar al valor esperado.

Por otra parte, en el caso del CEA, la obtención requiere de información propiamente del sistema; cuanto puede aportar el sistema y cuál es la demanda máxima de agua del cultivo, misma que se deberá evaluar en las condiciones más extremas de carencia de recurso, tal como lo son las épocas de verano (*Benavides-Valverde, J. 2020*).

Cabe destacar que los resultados que se obtienen de ambos indicadores responden a valores que van de cero en adelante y determinan la eficiencia del sistema de riego. Por tanto, un valor de 0 a uno indicaría que el sistema no sufre las condiciones del cultivo. Un escenario perfecto sería un resultado de uno y valores superiores, indicarían que la entrega de agua del sistema es superior a las necesidades del cultivo.

2.6. AquaCROP

En cuanto a los datos del RNHC, en la actualidad, existen varios programas de modelado que se pueden idealizar los escenarios que se planteen. Dos de los más utilizados son AquaCROP y CropWAT. En el caso de AquaCROP, diseñado y validado por la FAO, permite, además, analizar el crecimiento de un cultivo logrando así definir una óptima gestión agrícola e hídrica.

El programa AquaCROP permite que el usuario ingrese información de variables ambientales: temperatura, viento, radiación, humedad relativa, todos en sus unidades del *Sistema Internacional de Unidades* (SI); y datos propios del cultivo: suelo y manejo. Esto con el fin de obtener los rendimientos hídricos y de biomasa generada de los cultivos, cuando éstos están sometidos a riego. Cabe destacar que el programa tiene como fin crear escenarios en condiciones de escasez de agua, con el fin de mejorar la toma de decisiones sobre el cultivo (*Vanuytrecht, E., et al. 2014*).

En cuanto lo que corresponde a la validación del modelo, *Vanuytrecht, E., et al. (2014)*, determinó que las respuestas del cultivo si se consideraba la información otorgada por el programa concuerda con el estado del cultivo. No obstante, también recalca que solamente los tubérculos mantienen una varianza significativa. Por lo tanto, AquaCROP otorga confiabilidad de los resultados que propone.

Es importante destacar, que este programa ha dado resultados funcionales para cultivos de índole herbácea. De acuerdo con *Cleves-L, J. y Martínez-B, L, 2016*, la FAO definió ese sistema con el fin de que de alguna manera se pudiesen crear distintos escenarios previos a la actividad agrícola, o para identificar si el manejo está siendo idóneo. Parte importante es que AquaCROP basa todo su análisis un balance hídrico de acuerdo con los datos que se le suministre.

Sin embargo, previo a la inclusión de los datos en el software, es importante realizar un análisis estadístico, que permita, no solo obtener información del comportamiento de las variables y sus relaciones. Esto porque el programa no permite la evaluación de bases de datos amplias, si no de valores del “escenario” que se desee simular sino también, determinar de

cuáles variables se pueden tomar las decisiones más asequibles para el productor en cuanto al manejo del recurso hídrica. Esto dependerá del análisis que se desea realizar.

VI. Capítulo 3

3. Materiales y Métodos

La metodología desarrollada para el análisis del presente proyecto se centra en lo concreto, cuantitativo y cualitativo, por lo que el análisis de las variables incluidas en el mismo tiene repercusión en el proceso del estudio y deben de ser comprendidas. Así mismo, se identifica como crítica, esto por el énfasis que se le da a la investigación y los alcances que esta posee con respecto a diseño y puesta en marcha de la elaboración de las propuestas de mejora para la optimización del recurso hídrico en la finca Gamaliel. Finalmente, se identifica como hermenéutica debido a que se pretende realizar un análisis de todo el proceso de toma de datos y análisis de resultados de la elaboración que permitan concluir de manera adecuada respecto a los objetivos planteados. Para esto, se describe el diagrama mostrado en la Figura 1.

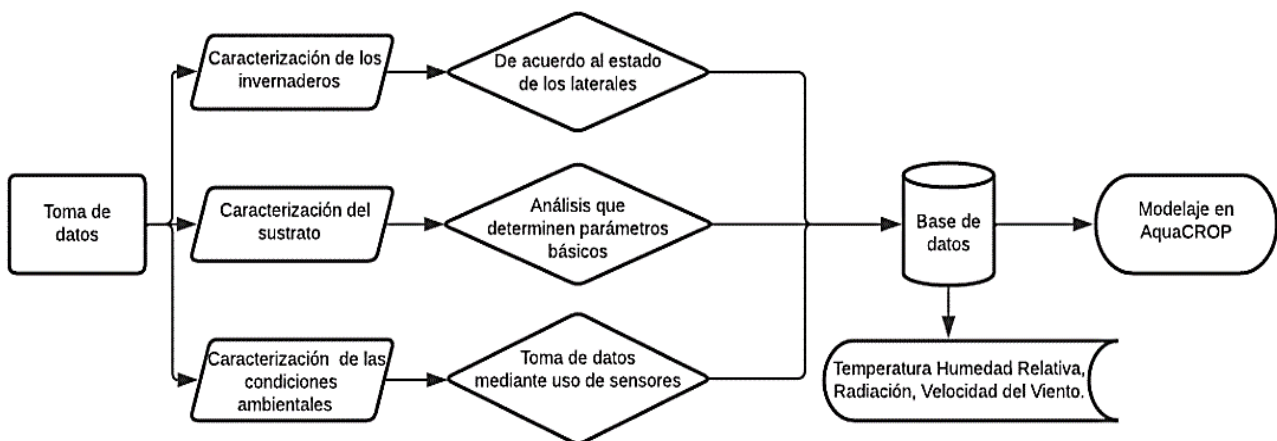


Figura 1. Diagrama de flujo para obtener los datos requeridos por el programa AquaCROP.

3.1. Caracterización de la zona de estudio

3.1.1. Caracterización de la zona de Vara Blanca, Heredia

De acuerdo con el *Informe de Caracterización Básica Territorio Barva-Santa Bárbara-San Isidro-San Rafael-Santo Domingo-Vara Blanca*, del año 2016, *Vara Blanca* se ubica en el sector norte de la provincia de *Heredia*. El clima se identifica como templado con temperaturas que oscilan los 16 °C, una altitud de 1 500 – 2 000 msnm, y una precipitación anual promedio de 3390 mm (*Instituto de Desarrollo Rural [INDER], 2016*) (*IMN, 2023*).

3.1.2. Caracterización Climática de la Zona de Vara Blanca, Heredia

Para el análisis estadístico, se empleó una base de datos de la estación meteorológica La Laguna, en Fraijanes ubicada aproximadamente a 10 km sur-oeste del proyecto Gamaliel. Dicha estación pertenece a la Universidad de Costa Rica en la Finca Experimental Fraijanes (FEF). La FEF (10°05', 84°16') se ubica en la provincia de Alajuela, mantiene condiciones de relieve similares a la finca Gamaliel y a una elevación de 1500 msnm. Dicha información, fue otorgada por el Instituto Meteorológico Nacional, mediante el oficio IMN-DIM-CM-192-2023. En esta se compartieron las mediciones de temperaturas máximas, mínimas y promedio (°C), radiación (MJ/m²), humedad relativa máxima, mínima y promedio (%) y la velocidad del viento (m/s); todos los parámetros de forma diaria en un periodo de cinco años (2018-2023).

A raíz del comportamiento de estos parámetros, se logró identificar comportamientos atípicos a lo largo de los años, los cuales se pudieron asociar mediante la investigación a fenómenos naturales que afectaron las condiciones ambientales en los periodos específicos. Así mismo, la radiación global total registrada en ese periodo por el IMN, permitirá realizar una comparación entre los datos de luminosidad tomados por tres de los sensores instalados en los ambientes controlados, esto considerando el área (m²) de cada ambiente controlado.

3.1.3. Caracterización de la finca Gamaliel

El ensayo se realizó en la finca Gamaliel, ubicada en la zona de Vara Blanca, Heredia, dedicada a la producción de fresa (*Fragaria ananassa L*). La finca, otorgada por el INDER a un grupo de 24 productores, cuenta con colaboración técnica y financiera por parte de las instancias del MAG y el SENARA presentes en la Región Central Occidental y Sur. En el año 2021, se realizó el informe técnico SENARA-INDEP-RCOC-0038-2021, en el cual se establece la división de la finca en 24 parcelas, con un área aproximada de 0,7 hectáreas cada una. La finca se encuentra localizada en las coordenadas geográficas absoluta que se rige como 10°10'45.30".

La producción se realiza totalmente en condiciones de ambiente protegido y con sistema de riego por goteo. La mayoría de los productores han migrado la actividad a sistemas hidropónicos y los que aún se encuentran produciendo en suelo, están en miras de traslado ([SENARA], 2021). La finca presenta caminos en lastre y el terreno tiene una topografía quebrada, ver Figura 2. Cuenta con una entrada principal y dos secundarias. El suministro de agua a la finca es administrada por la *Sociedad de Usuarios de Agua Gamaliel*, debidamente inscrita como persona jurídica en el *Registro de la Sociedad de Usuarios de Agua del MINAE* mediante la cédula 3-

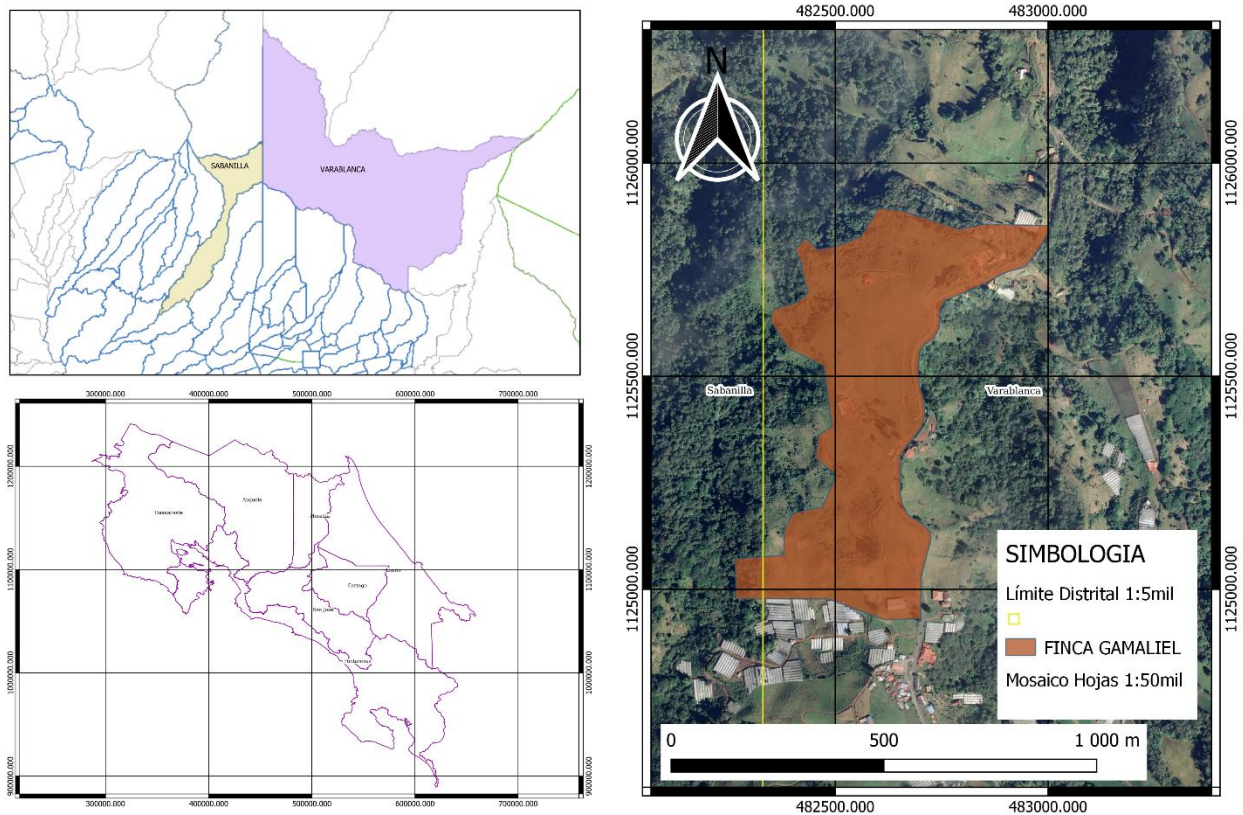


Figura 2. Zona de estudio Finca Gamaliel.

107-741350.

3.1.4. Demanda Hídrica

Para gestionar la concesión de agua y atender la demanda hídrica de la Finca Gamaliel el SENARA estimó un caudal de 15,79 L/s. La fuente de agua es la quebrada Piedras Negras ubicada al noroeste de la finca a una distancia aproximada de tres kilómetros. Este caudal aún no está siendo aprovechado pues la infraestructura para su captación, depuración, transporte y distribución, a la fecha de elaboración de este estudio, aún no se ha construido dicha infraestructura debido al proceso de gestión de asignación de contenido presupuestario y la

tramitología requerida para cumplir con los procesos de desarrollo de proyectos de inversión pública establecidos por la legislación nacional.

En la actualidad, el agua utilizada para satisfacer la demanda de la Finca Gamaliel es captada de una fuente no oficial, para lo que se dispone de un sistema de captación y conducción cuyas condiciones apenas satisfacen los requerimientos técnicos. El agua captada y conducida, estimada en un caudal de 15,79 L/s es transportada mediante una tubería de PVC de dos y tres pulgadas de diámetro.

Los aforos realizados corresponden al caudal transportado por este sistema. El valor medido es motivo de que las personas productoras aducen tener una cantidad escasa de agua y bajos rendimientos para ejecutar las labores productivas.

3.2. Obtención del requerimiento neto de riego (RNR)

3.2.1. Aforo

Para conocer el caudal de agua que ingresa a cada unidad productiva, se realizaron aforos. Para ello, se seleccionaron cuatro ambientes protegidos de forma aleatoria de las seis naves muestra iniciales para el análisis de condiciones ambientales. En cada una de ellas se identificaron los dos laterales de riego más alejados a partir de la válvula de entrada del sistema y dos laterales de riego que se ubicaban entre la válvula y los laterales más alejados (Figura 3). En cada uno de los cuatro laterales se procedió a medir el caudal en el primer gotero. Los emisores ubicados a 1/3 y a 2/3 de la distancia del lateral, y en el último emisor.

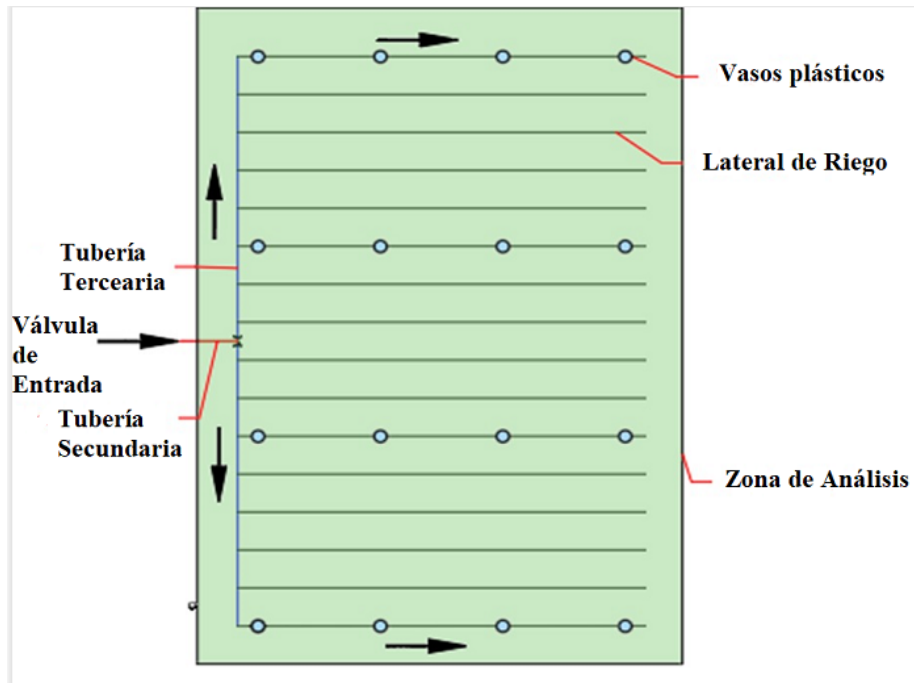


Figura 3. Esquema representativo de los puntos de muestreo en ambientes protegidos para determinación de caudal promedio en sistema de riego por goteo.

Para la obtención de dichos caudales se colocó un contenedor debidamente identificado, el cual se ubicó en la parte inferior inmediata a cada gotero mencionado, una vez colocados los contenedores en la posición mencionada, se realizó un evento de riego por un periodo mínimo de cinco minutos. Esto debido a la cantidad de agua que logra retener la saca con fibra de coco (ver Figura 4 y Figura 5) sin que se laven por completo los fertilizantes. El volumen captado en cada contenedor pluviométrico se midió utilizando una probeta de 10 mL. Considerando el tiempo que el sistema estuvo emitiendo agua se obtuvo un caudal en 16 puntos del ambiente protegido o unidad de producción.



Figura 4. Sistema de siembra de fresa hidropónico en camas con fibra de coco utilizado en la Finca Gamaliel.

Con estos resultados, en cada unidad de producción se determinó el valor promedio de caudal, este último en conjunto con la información recabada de las entrevistas a las personas productoras sirvió para estimar el volumen de agua total aplicado en La finca Gamaliel por un periodo de un año. Este valor fue necesario para determinar el SRR del sistema. Por lo tanto, se describe el procedimiento para la determinación de los caudales para cada uno de los emisores, así como la ecuación para su obtención (ecuación 1). Para este, se empleó el cálculo del *Coficiente de Uniformidad de Christiansen en Sistema de Goteo*:

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N\bar{x}}\right) \times 10 \quad (1)$$

Donde:

C_u = Coeficiente de Uniformidad de Christiansen

x_i = Puntos de medición

\bar{x} = Promedio de las muestras

N = Numero de muestras



Figura 5. Recipientes empleados para la elaboración de la prueba de Christiansen.

Cabe destacar, que el aforo solamente se realizó una vez. Esto debido a que con los datos de las 16 muestras se logró crear un escenario que determinó el uso del agua. Además, el hecho de que los productores solamente abren las válvulas al mismo periodo de tiempo, esto no afectaría ni representaría cambios en los factores del sistema. Por lo tanto, con una evaluación de aforo, se obtuvo el escenario del agua que utilizan los ambientes protegidos.

3.2.2. Caracterización de las condiciones ambientales y edafológicas de los ambientes protegidos

3.2.2.1. Caracterización climática de los ambientes protegidos

Se midió al interior de los ambientes protegidos las variables de temperatura y humedad haciendo uso de sensores tipo HOBO a lo largo de ocho meses (enero-agosto 2023). Para el análisis de la variable radiación global total se emplearon los datos obtenidos del IMN y los datos de tres HOBO que realizaron la medición de la radiación a lo interno de las naves. Tomar en cuenta que, para el efecto de la radiación en los cultivos, se consideró el uso de plástico tipo *tereftalato polietileno* (PET) en la estructura de los ambientes protegidos.

De los datos recopilados por los sensores a lo interno de los ambientes (en valores de lux) se empleó la ecuación 2 para realizar la conversión a la establecida por el programa AquaCROP considerando los valores para radiación acorde al hemisferio mostrados en el Anexo IV. Así mismo, se realizó una comparación con los datos medidos por la estación meteorológica, donde se obtuvo una diferencia de reducción de un 49,9%, esta diferencia es debida a la interferencia por el plástico de los ambientes protegidos y todas las posibles partículas que se adhieren a este, resultando en una condición medible de la radiación fotosintéticamente activa.

$$RGT = \frac{(RI \times A) \times HL}{10^6} \quad (2)$$

Donde:

RGT = Radiación Global Total (MJ/m²)

RI = Radiación (lux)

A = Área (m²)

HL = Horas Luz (h)

3.2.2.2. Caracterización de condiciones del sustrato

Las muestras fueron obtenidas de las sacas artesanales que se producen en la misma finca. Estas están compuestas de fibra de coco y funcionan similar a un sistema hidropónico. Las dimensiones son de 100 cm de largo, 20 cm de ancho y 10 cm de alto. Cabe destacar el sustrato se encuentra cubierto por una capa plástica lo que modifica la evaporación del agua presente en el sustrato la cual se contempló en el programa AquaCROP al realizar la modelación (ver Figura 4).

Para la variable de conductividad hidráulica del suelo, se empleó el permeámetro de cabeza constante modelo 3891 de la marca *Karol Warner* (ver Figura 6) perteneciente a la *Escuela de Ingeniería de Biosistemas*, específicamente en el laboratorio de Suelos y Aguas. Este equipo posee un diámetro interno de 6,35 cm.



Figura 6. Permeámetro marca Karon Warner del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas.

Para prueba de cabeza constante, se seleccionó una muestra representativa del sustrato de 10,8 cm de alto y 6,35 cm de diámetro medidos posterior a su armado y compresión, la cual estuvo 24 h bajo condiciones de saturación de agua. Dichas dimensiones representan un aproximado del doble del volumen requerido para llenar la cámara del permeámetro (800 g aproximados).

Dentro de la cámara se colocaron dos piedras porosas con grosor de 0,64 cm y 6,3 cm de diámetro. El material de estas es óxido de aluminio con un tamaño de poro de 179 μm , lo que le permite un rango de permeabilidad de 424 L a 500 L de aire por pie cuadrado. Una de las piedras se colocó en la parte superior del sustrato y otra debajo del mismo.

Se consideró realizar la prueba con un volumen de un litro ingresado a la cámara por la parte superior y recibiendo un litro a la salida de la tubería conectada en la parte inferior de la cámara. El proceso tardó un tiempo de 43,38 s y el cálculo de la variable K (conductividad hidráulica) correspondiente se realizó haciendo uso de la ecuación establecida por el fabricante para el permeámetro en específico. Refiérase a la ecuación 3.

$$K = \frac{Q \times L}{A \times t} \quad (3)$$

Donde:

K = Conductividad hidráulica (cm/s)
 Q = Volumen (cm³)
 L = Largo de la muestra (cm)
 A = Área trasversal de la muestra (cm²)
 t = Tiempo (s)

Para efectos de modelación en AquaCROP, se tomaron los datos humedad volumétrica relacionados al PMP y CC del estudio realizado por *Soto-Bravo (2018)* mostrados en la gráfica de la Figura 7.

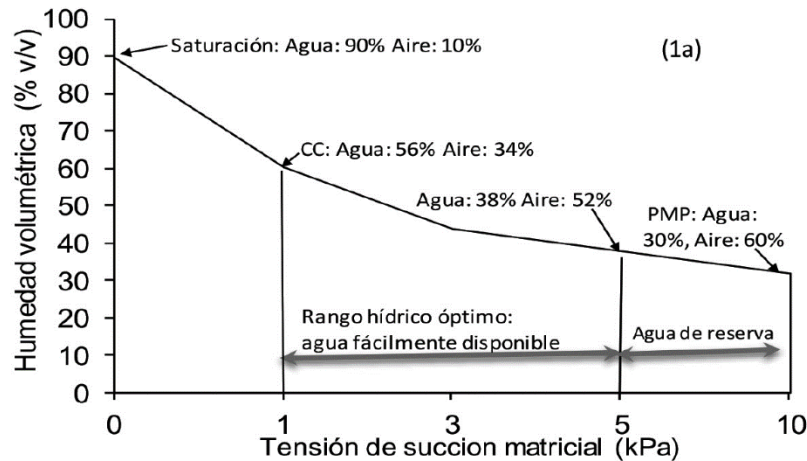


Figura 7. Curva de liberación de agua y aire de un sustrato de fibra de coco.
 Fuente: *Soto-Bravo (2018)*

3.2.3. Caracterización estructural de los ambientes protegidos

Los ambientes protegidos son estructuras metálicas, conformadas por naves de aproximadamente 25 m de ancho y longitud variable de acuerdo con las dimensiones de cada parcela. La orientación se estableció en función de la pendiente del terreno y no necesariamente con respecto a la línea de Este a Oeste de salida y ocultación del sol. Cada nave, dispone de una canoa para la evacuación pluvial. La altura del nivel del piso al techo puede variar entre los 4 a los 5 m debido a las condiciones del terreno en las que se encuentra las naves. Se identificaron dos tipos de estructuras: una con cobertura total en plástico polietileno (techos y paredes) y otro con cobertura únicamente en el techo.

La producción se realiza en un 90% en sistemas hidropónicos por motivos de tecnificación y productividad. Por esta razón las sacas se encuentran en estructuras metálicas tipo mesa a un metro del suelo. El 10% restantes están en proceso de migración a sistema hidropónico. Este sistema se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Estructura del ambiente protegido y camas sobre las que se realiza la producción hidropónica de fresa en la Finca Gamaliel.

3.2.4. Manejo de las producciones

Para el conocimiento del manejo agronómico e hídrico de los cultivos, se realizó una entrevista semiestructurada. Se dividieron las preguntas en seis categorías: sobre el productor y la parcela, el producto, el sistema de riego, la SUA, el sustrato y sobre las labores culturales ejercidas por cada productor asociadas al consumo hídrico en la Finca Gamaliel. Las respuestas permitieron conocer la percepción de los participantes, así como sus experiencias a lo largo del tiempo que tienen produciendo en la finca.

Se participó una reunión convocada por el SENARA, INDER y el MAG sobre temas varios el día 17 de octubre del 2023 en de la Finca Gamaliel. Se contó con la presencia de 17 productores, algunos acompañados por familiares dedicados a la producción. Se construyeron las preguntas a modo de que siguieran una línea que fuese clara y fácil de comprender por los participantes. No obstante, también se contó con flexibilidad para conocer más de la perspectiva de cada productor. Cada una de las respuestas se documentó de forma escrita y particular. El mecanismo estadístico de análisis de la información se realizó de manera cuantitativa y cualitativa dependiendo de cada una de las preguntas.

Respecto a los lineamientos éticos, se consultó previo a la elaboración de la entrevista sobre el consentimiento informado. Se afirmó a cada uno de los participantes sobre la confidencialidad, anonimato y seguridad, así como también la finalidad del uso de la información otorgada.

Es fundamental considerar que el enfoque metodológico de esta entrevista posee limitaciones que pueden generar sesgos en su análisis, ya sea por la interpretación de los datos, así como por la información no otorgada. No obstante, se contemplaron las medidas necesarias para la mitigación del error que pudo inferir en el resto de la investigación y asegurar la validez de esta.

La entrevista tuvo como fin estimar el volumen de agua real aplicado e información pertinente para el análisis de resultados y discusión de aspectos que pueden influir en el suministro del riego. Las preguntas realizadas se encuentran en el Anexo V.

3.2.4.1. Caracterización del cultivo

Para este, se emplearon valores de densidad de siembra promedio utilizada por los productores (obtenida en la entrevista), y profundidad de raíz considerando la profundidad de las sacas. También fue necesario considerar la cantidad de plantas a lo largo de lo largo de la saca (1 m). De entre las 17 respuestas obtenidas, se identificó un promedio de la cantidad de plantas sembradas por saca, el distanciamiento entre estas. Conociendo el promedio del área por parcela, se obtuvo la densidad aproximada.

Se obtuvo cualquier tipo de información de manejo que los productores realizan con el fin de comprender si esta afectaba directamente a la aplicación del riego; tiempo que dura la irrigación, como se realiza el riego en términos de apertura y cierre de agua, control de fugas, entre otras obtenidas también de la entrevista realizada.

3.3. Análisis climático de los invernaderos

La toma de datos se realizó con la instalación de 24 sensores de humedad relativa y temperatura marca *HOBO*. Se colocaron a una altura de un metro sobre el nivel del suelo, en la estructura de la nave o de las camas en diferentes sectores de la estructura, y en como se muestra en la Figura 9 y la Figura 10. Esto debido a que se buscaba conocer el valor lo más cercano posible al crecimiento vascular de las plantas considerando la altura de las camas en las cuales se ubicaban las sacas.



Figura 9. Colocación de los sensores HOBOT en la estructura de la nave.



Figura 10. Ubicación de los sensores HOBOT a la altura de las plantas.

Se realizó la instalación de sensores, en ocho invernaderos de la Finca *Gamaliel*. De estos, cuatro se consideraron estructura completamente cerrada y cuatro de estructura abiertos. Debido a la necesidad de que los datos mostraran un comportamiento del rendimiento del sistema en los meses de las temperaturas críticas, se realizó la medición en un período de ocho meses; de enero a agosto. Se extendió más de la época seca, debido al comportamiento del clima afectado por el fenómeno del Niño.

3.3.1. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos fueron realizados con el software *Minitab* en su versión 21.3 (*Minitab Inc, 2022*). La estadística fue considerada como inicio del análisis. El diseño experimental consideró en todo momento un nivel de significancia de $\alpha=0,05$. Se postuló una prueba de hipótesis para realizar una comparación entre las medias entre el conjunto de datos de sensores de un mismo productor, entre productores y finalmente entre invernaderos establecidos como abiertos y los establecidos como cerrados. Esta comparativa consideró el factor temperatura y el factor humedad relativa.

Los conjuntos de datos consideraron valores obtenidos desde el mes de enero, hasta el mes de agosto del año 2023, en intervalos de 15 minutos como se mencionó previamente. Sin embargo, solamente se consideraron los datos diarios a partir de las cinco de la mañana hasta las 17 horas. Esto se debe a que son las horas en donde se expone una demanda hídrica mayor por influencia de las condiciones de temperatura, y se realizan las labores tanto de riego como culturales.

Primeramente, se realizaron pruebas de normalidad utilizando el método *Anderson-Darlin*, método *Ryan-Joiner* y *Kolmogorov-Smirnov* (Tabla 1). De estas pruebas se determinó que ninguno de los dos parámetros estudiados seguía una distribución normal. Además, no fue posible realizar transformación estadística de los datos. Por lo tanto, se procedió a realizar una prueba de mediana no paramétrica de *Mood* (*Corzo-Salamanca, 2005*) para cada uno de los factores.

Tabla 1. Pruebas Estadísticas para evaluar normalidad realizadas.

Pueba Estadística	Método	Análisis
<i>Anderson-Darling</i>	Permite comprobar la normalidad para una prueba t, es considerado también como mecanismo no paramétrico empleado para probar la distribución propabilística continua específica.	Resultado con diferencia considerable, rechaza HN y por lo tanto, no hay normalidad.
<i>Ryan-Joiner</i>	Permite identificar si existe una distribución normal mediante los datos y las puntuaciones normales.	Coefficiente mayor o igual a uno, representan normalidad; valor menor rechaza HN
<i>Kolmogórov-Smirnov</i>	Prueba de bondad que permite medir la normalidad de una muestra de datos.	Resultado con diferencia considerable, rechaza HN y por lo tanto, no hay normalidad.

Fuente: Flores-Tapia et al, 2021.

El proceso de análisis realizado se muestra en la Figura 11. Este realizó entre los sensores de una misma nave, entre los sensores pertenecientes a un mismo tipo de estructura y finalmente entre el conjunto general de todos los datos recopilados.

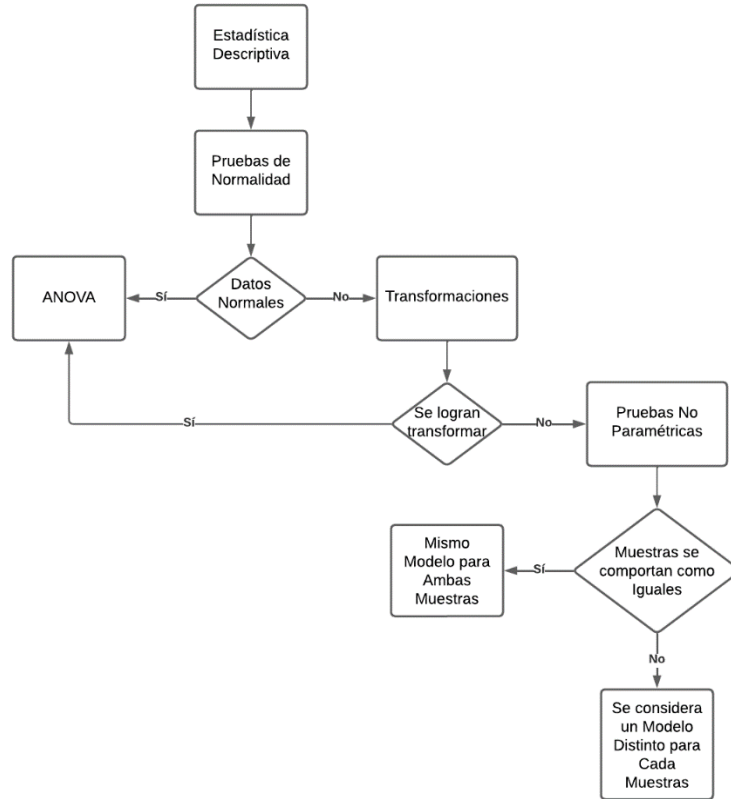


Figura 11. Diagrama de flujo para análisis estadístico.

3.4. Cálculo del Suministro Relativo de Riego y la Capacidad de Entrega de Agua

3.4.1. Cálculo del Suministro Relativo de Riego (SRR)

3.4.1.1. Obtención de la ET_0 experimental

De acuerdo con los valores de la temperatura y radiación global total obtenidos para las condiciones internas de los ambientes controlados, se determinó el valor de la ET_0 experimental. Esto se realizó mediante la ecuación de *Hargreaves* (4) con la finalidad de obtener el valor de campo para realizar la comparación con el valor teórico obtenido de la modelación (*Hargreaves y Samani, 1985*) (*Toro-Trujillo et al, 2014*). Cabe mencionar que la fórmula de *Hargreaves* y *Samani* es útil por su simplicidad y la menor cantidad de datos requeridos, puede sobrestimar la evapotranspiración en ciertos climas húmedos.

$$ET_0 = 0,0023 * RGT * (T_{prom} + 17,8) * (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (4)$$

Donde:

ET_0 = Evapotranspiración potencial

RGT=Radiación Global Total (dato tomado satelitalmente adecuado a lo interno de la nave) ((MJ/m²) / día)

T_{min}=Temperatura mínima del aire (°C)

T_{max}=Temperatura máxima del aire (°C)

T_{prom}=Temperatura promedio del aire (°C)

Mediante esta ecuación, se obtuvieron los valores de ETo mostrados en la Tabla 2. Cabe destacar que los valores de Radiación Global Total mensual acorde a la latitud en la cual se encuentra el país siendo esta entre 8° y 12° (FAO, 2000) en el hemisferio norte. Dichos valores se obtuvieron de acuerdo con los datos registrados por *Sánchez-Román (2022)* en el Anexo IV.

El promedio de estos valores por estructura, poseen un comportamiento acorde a los valores promedios identificados por *Hernández-Espinoza (2014)*. La autora indica que, para la *Zona Norte* del país, el ETo promedio es de 5 mm/día y en la *Zona del Valle Central* es de 8 mm/día. La Finca Gamaliel se encuentra entre ambas zonas, por lo que los valores pueden rondar entre ambos, además de considerar que la zona de estudio se encuentra en sector montañoso con altitud considerable de msnm.

Uno de los factores a los que se debe el incremento de la ETo es el efecto de la temperatura. Para efectos del cálculo, se utilizan las temperaturas máxima, mínima y promedio de cada una de las naves, por lo que discrepa de la temperatura atmosférica. Esto llega a representar una reducción de las condiciones de humedad relativa, por ende, las plantas expulsarán mayor cantidad de agua por medio de sus estomas, esto se aprecia en la Figura 12 (*Allen et al, 1998.*).

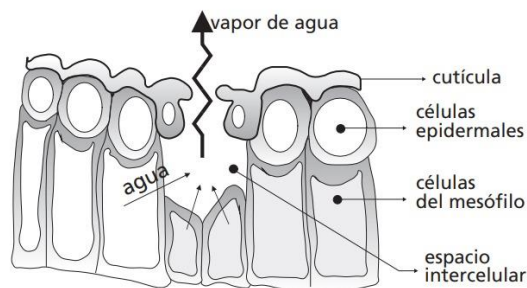


Figura 12. Representación de la liberación de vapor de agua de un estoma.

Fuente: *Allen et al, 1998.*

Tabla 2. Evapotranspiración Potencial en cada uno de los ambientes protegidos.

Productor	Condición	T _{máxima} (°C)	T _{mínima} (°C)	T _{promedio} (°C)	Mes	RGT (mm/d)	HEAVE- REST (mm d ⁻¹)	HEAVEREST Prome- dio Anual (mm d ⁻¹)
Marcelino Morán	Abierto	40,4	9,1	23,4	Enero	13	6,88	7,66
					Febrero	14,1	7,47	
					Marzo	15,1	8,00	
					Abril	15,5	8,21	
					Mayo	15,2	8,05	
					Junio	15,1	8,00	
					Julio	15,1	8,00	
					Agosto	15,3	8,10	
					Septiembre	15,1	8,00	
					Octubre	14,3	7,57	
					Noviembre	13,2	6,99	
					Diciembre	12,7	6,72	
Eduardo Herrera	Abierto	48,8	7,5	24,1	Enero	13	8,05	8,96
					Febrero	14,1	8,73	
					Marzo	15,1	9,35	
					Abril	15,5	9,59	
					Mayo	15,2	9,41	
					Junio	15,1	9,35	
					Julio	15,1	9,35	
					Agosto	15,3	9,47	
					Septiembre	15,1	9,35	
					Octubre	14,3	8,85	
					Noviembre	13,2	8,17	
					Diciembre	12,7	7,86	
Rafael Barboza	Abierto	45,3	6,4	24,7	Enero	13	7,94	8,84
					Febrero	14,1	8,61	
					Marzo	15,1	9,22	
					Abril	15,5	9,47	
					Mayo	15,2	9,28	
					Junio	15,1	9,22	
					Julio	15,1	9,22	
					Agosto	15,3	9,34	
					Septiembre	15,1	9,22	
					Octubre	14,3	8,73	
					Noviembre	13,2	8,06	
					Diciembre	12,7	7,76	

Tabla 2. Evapotranspiración Potencial en cada uno de los ambientes protegidos.

Edgar González	Cerrado	49,5	8,1	21,2	Enero	13	7,50	8,35
					Febrero	14,1	8,14	
					Marzo	15,1	8,72	
					Abril	15,5	8,95	
					Mayo	15,2	8,77	
					Junio	15,1	8,72	
					Julio	15,1	8,72	
					Agosto	15,3	8,83	
					Septiembre	15,1	8,72	
					Octubre	14,3	8,25	
					Noviembre	13,2	7,62	
					Diciembre	12,7	7,33	
Hubert Meza	Cerrado	44,2	6,9	24,7	Enero	13	7,76	8,64
					Febrero	14,1	8,42	
					Marzo	15,1	9,01	
					Abril	15,5	9,25	
					Mayo	15,2	9,07	
					Junio	15,1	9,01	
					Julio	15,1	9,01	
					Agosto	15,3	9,13	
					Septiembre	15,1	9,01	
					Octubre	14,3	8,54	
					Noviembre	13,2	7,88	
					Diciembre	12,7	7,58	
Emilio Mejía	Cerrado	36,8	9,8	21,4	Enero	13	6,10	6,79
					Febrero	14,1	6,61	
					Marzo	15,1	7,08	
					Abril	15,5	7,27	
					Mayo	15,2	7,13	
					Junio	15,1	7,08	
					Julio	15,1	7,08	
					Agosto	15,3	7,18	
					Septiembre	15,1	7,08	
					Octubre	14,3	6,71	
					Noviembre	13,2	6,19	
					Diciembre	12,7	5,96	

(Continuación de la tabla anterior)

Una vez con los valores obtenidos se procedió a realizar las modelaciones en el software AquaCROP para el escenario identificado.

3.4.2. Cálculo del Capacidad de Entrega de Agua (CEA)

Se evaluaron dos cálculos del CEA. El primero, el valor del caudal definido por el SENARA, que sería el teórico; y para el segundo, el valor de los aforos obtenidos de las mediciones con el fin de realizar una comparación entre estos. El valor de entrega de agua de Gamaliel (el CEA) se evaluó de forma diaria. Por tanto, se analizó este dividido entre la máxima demanda de agua del cultivo, la cual se obtuvo del máximo requerimiento neto diario del riego (NRN) modelado en el programa AquaCROP. Para la obtención del CEA se utilizó la ecuación 5.

$$CEA = \frac{\text{CapacidadMáximadelSistema}}{\text{MáximaDemandadeAguadelCultivo}} \quad (5)$$

La capacidad de entrega de agua, según *Molden et al* (1990), es un indicador que muestra la capacidad hidráulica de todo un sistema de riego para entregar un caudal de agua con respecto a la máxima demanda hídrica que tenga el mismo. Para este análisis los resultados de la máxima ET_0 obtenidos mediante el modelo FAO *Penman-Monteith*, para la Finca Gamaliel y considerando las variables de los sensores instalados al interior de los ambientes protegidos da como resultado una máxima evapotranspiración de 7,3 mm/día para el mes de marzo (mes que reporta las temperaturas más altas),

3.4.3. Validación del modelo AquaCROP

El programa AquaCROP establece que para efectos de la obtención del modelo se otorgue información sobre la fenología del cultivo, la floración, el desarrollo radicular, la transpiración del cultivo, el estrés hídrico y finalmente la producción de biomasa y rendimiento. Estas se dividen en datos de clima, del cultivo, del manejo de la producción y del suelo. *Pintos-Baptista* (2020), identifica los parámetros necesarios en la Tabla 3 mostrada a continuación:

Tabla 3. Parámetros de mayor interés en la calibración del modelo AquaCROP.

Símbolo	Fenología del Cultivo	Tipo
CC0	Superficie cubierta por planta a la emergencia (cm ² .pl ⁻¹)	Conservativo
	número de planta por hectáreas	No conservativo
	tiempo de siembra a emergencia (días)	No conservativo
CGC	Coefficiente de crecimiento de la canopia	Conservativo
CCx	Máxima cobertura alcanzada	
	tiempo de siembra a comienzo de senescencia	No conservativo
CDC	Coefficiente de senescencia de la canopia (% dia ⁻¹)	No conservativo
Floración		
	Tiempo de siembra a floración	No conservativo
	Duración de la floración	No conservativo
	Determinancia del cultivo	No conservativo
Desarrollo radicular		
Zn	Mínima profundidad radicular (m)	No conservativo
Zx	Máxima profundidad efectiva radicular	No conservativo
Traspiración del cultivo		
Kctx	Coefficiente de traspiración del cultivo	Conservativo
Biomasa producción y formación de rendimiento		
WP*	Productividad de agua normalizada por ETo y CO ₂ (g.m ²)	Conservativo
Hio	Índice de cosecha	No conservativo
Estrés hídrico		
Pexp ,lower	Umbral superior expansión de la canopia	Conservativo
Pexp ,upper	Umbral inferior expansión de la canopia	Conservativo
	Factor de curvatura para la expansión de la canopia	Conservativo
Psto	Umbral superior para la regulación estomática	Conservativo
	Factor de curvatura para el control estomático	Conservativo
P sen	Umbral superior para senescencia	Conservativo
	Factor de curvatura para senescencia	Conservativo

Fuente: Pintos-Baptista (2020).

Los valores y parámetros necesarios solicitados por el programa para la elaboración de la modelación y su adecuado ajuste para el caso de la *Fragraria ananassa*, de acuerdo con las condiciones de cultivo en la Finca Gamaliel, se obtuvieron de datos teóricos establecidos, información otorgada por los productores en la entrevista semiestructurada y con los análisis en laboratorio realizados.

Una vez obtenida la modelación se realizó su debida comparación con los datos de campo y los obtenidos por medio de la modelación. Así mismo se identificaron los parámetros que pudiesen representar una brecha de rendimiento una vez realizadas todas las pruebas.

Es importante destacar que el programa AquaCROP cuenta con un sistema de cálculo específico por el desarrollador que considera una serie de parámetros y variables físicas de una forma que sea agradable para la persona que lo emplea para el cálculo de producción de dosel. No obstante, al momento de realizar el ingreso de los datos se presentaron ciertas limitaciones como rangos de valores ya establecidos que no permiten ingresar un dato específico. Una de las razones principales se debe que hasta cierto punto los valores se vuelven despreciables para efectos del cálculo de software, a pesar de que si lo son para el desarrollo del cultivo en campo (FAO, 2017).

Existen varios estudios que distintos investigadores han realizado en donde este tipo de limitantes no han representado afectación en la sensibilidad de la información obtenida mediante validaciones de campo, análisis teóricos estipulados, entre otros. *González- Robaina et al (2019)* indican que en estudios realizados al programa generando variaciones en los valores importantes como el coeficiente del cultivo, si son representativos en los resultados obtenidos, no obstante, estos valores el software si permite libremente insertar. Para el caso de este estudio se realizó una validación mediante la información otorgada por los productores en la entrevista realizada.

3.4.3.1. Datos Climáticos

De acuerdo con los datos obtenidos por medio de los sensores, se agregaron al programa los valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), en sus formatos máximo, mínimo y promedio; humedad relativa (%) y Radiación (MJ/m^2). Debido a las condiciones de ET_0 a lo interno de las naves, se ingresaron también los valores obtenidos mediante la ecuación (1).

En lo que respecta a la velocidad del viento, se ingresó el valor mínimo que el programa permite, siendo este 5 m/s, considerando también las naves que no tienen paredes por la cercanía entre estructuras. Para el caso de la precipitación y captación de dióxido de carbono, no se agregaron ya que no eran representativos para el estudio. Esto se muestra en la Figura 13.

Climatic parameters

Column..... 1 2 3 4 5 6 7 8

<< click in cell to select parameter >>

Symbol.....	Tmax	Tmin	Tmean	RHmean	u(x)	Rain	Rs	ETo
Unit.....	°C	°C	°C	%	m/sec	mm	MJ/m2.da	mm/day
Code.....	101	103	102	202	301	601	421	501

Missing data.....

Undefined Value

Missing..... none none none none none none none none

Data range.....

Column Max...	49.5	24.6	31.1	85.4	0.50	0.0	13.96	8.9
Column Min...	23.5	8.3	19.9	38.7	0.50	0.0	2.51	8.7

Program limits (Data Range)

Upper limit...	51.0	51.0	51.0	100.0	8.00	300.0	31.69	10.0
Lower limit...	-15.0	-15.0	-15.0	15.0	0.00	0.0	0.00	0.0

>>

Figura 13. Ingreso de datos climáticos en el programa AquaCROP

3.4.3.2. Datos del Cultivo

Los datos requeridos por el programa para realizar la modelación en términos del cultivo se obtuvieron mediante una revisión exhaustiva de los valores teóricos ya establecidos para la producción en cuestión. No obstante, se priorizaron los datos generados por el MAG, como ente nacional, y la información otorgada por los productores.

Los *Grados Día Acumulados*, por sus siglas en inglés “GDDay”, hacen referencia a la sumatoria energética en términos de calor. Esta también permite que en el proceso de planificación de producción exhaustiva se logre identificar la cantidad de energía que el cultivo requiere para realizar el cambio en la fase fenológica (Méndez-Soto, 2015). Su obtención se debe a la ecuación 6.

$$GDA = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_{base} \quad (6)$$

Donde:

GDA= Grados Día Acumulados (°C)

T_{min} = Temperatura mínima diaria (°C)

T_{max} = Temperatura máxima diaria (°C)

T_{base} = Temperatura Base bajo la cual se detiene el crecimiento (°C)

No obstante, para el caso de la obtención del coeficiente de variación, *Hernández-Martínez et al* (2023) generaron un análisis de los GDDay, realizaron una base de datos sobre el valor inicial y final para la etapa de duración en días, esto para cada una de las etapas de cultivar. Cabe destacar que este estudio lo realizaron con la variedad *San Andrea*, misma que se produce en la Finca Gamaliel, de acuerdo con lo establecido por los productores. De estos datos se obtiene un *Coefficiente de Variación* (CV) de 39,06% lo que, para efectos del programa, se estableció del 40% debido a la metodología de ingreso de datos de este.

Las temperaturas idóneas establecidas para la producción de fresa en Costa Rica determinadas por el MAG corresponden entre los 10 °C y los 20 °C (MAG, 2007). No obstante, de acuerdo con *Kirschbaum* (2022) y *Kirschbaum* (2010), las variedades de fresa, incluyendo en el listado la importada en el país, para una adecuada fotosíntesis requiere de temperaturas de 27°C por lo que no existe un parámetro definido sobre el rango máximo al que el cultivo se adapte. *Wright-Morton et al* (2017), definen que, en el estado de *Florida, Estados Unidos*, las temperaturas promedio en el mes más caliente rondan los 28 °C en los cuales el cultivo se desarrolla de forma idónea. Por lo tanto, para efecto del programa por su metodología de cálculo, se establece el parámetro de 28 °C como temperatura máxima debido al CV obtenido , como se muestra en la Figura 14.

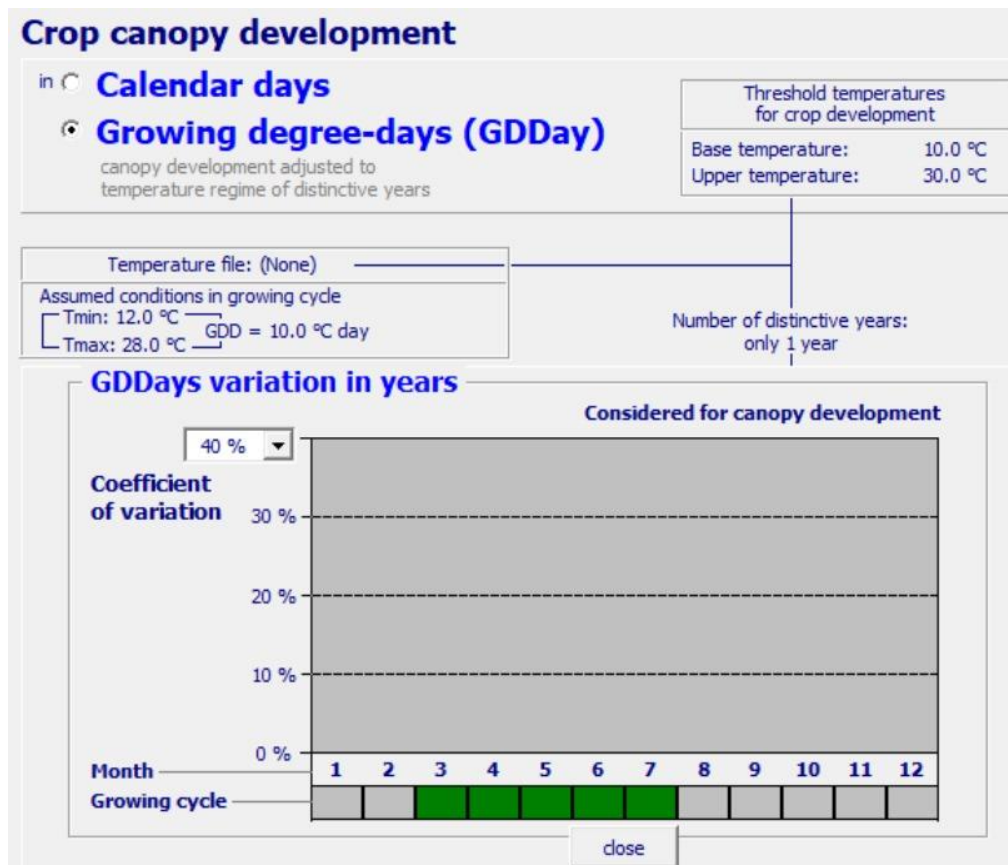


Figura 14. Desarrollo del dosel en crecimiento en GDDay en el Programa AquaCROP.

Para las condiciones de producción, en la Figura 15 se estableció el valor promedio de plantas por hectárea obtenido de la entrevista (34 500). En lo que respecta al desarrollo del cultivo, posterior al trasplante, se tiene una cobertura de dosel baja, estableciendo automáticamente un área por planta de 5 cm²/planta como el valor mínimo que acepta, a pesar de que discrepa del valor real. Esto se debe a que un valor menor del establecido no es una variable representativa para efectos de la metodología de cálculo, por lo que el mínimo de área por planta permitido por el programa es el reportado en la figura mencionada. El valor del Kc se indica de acuerdo con lo establecido por la FAO 56 (Allen et al, 1998).

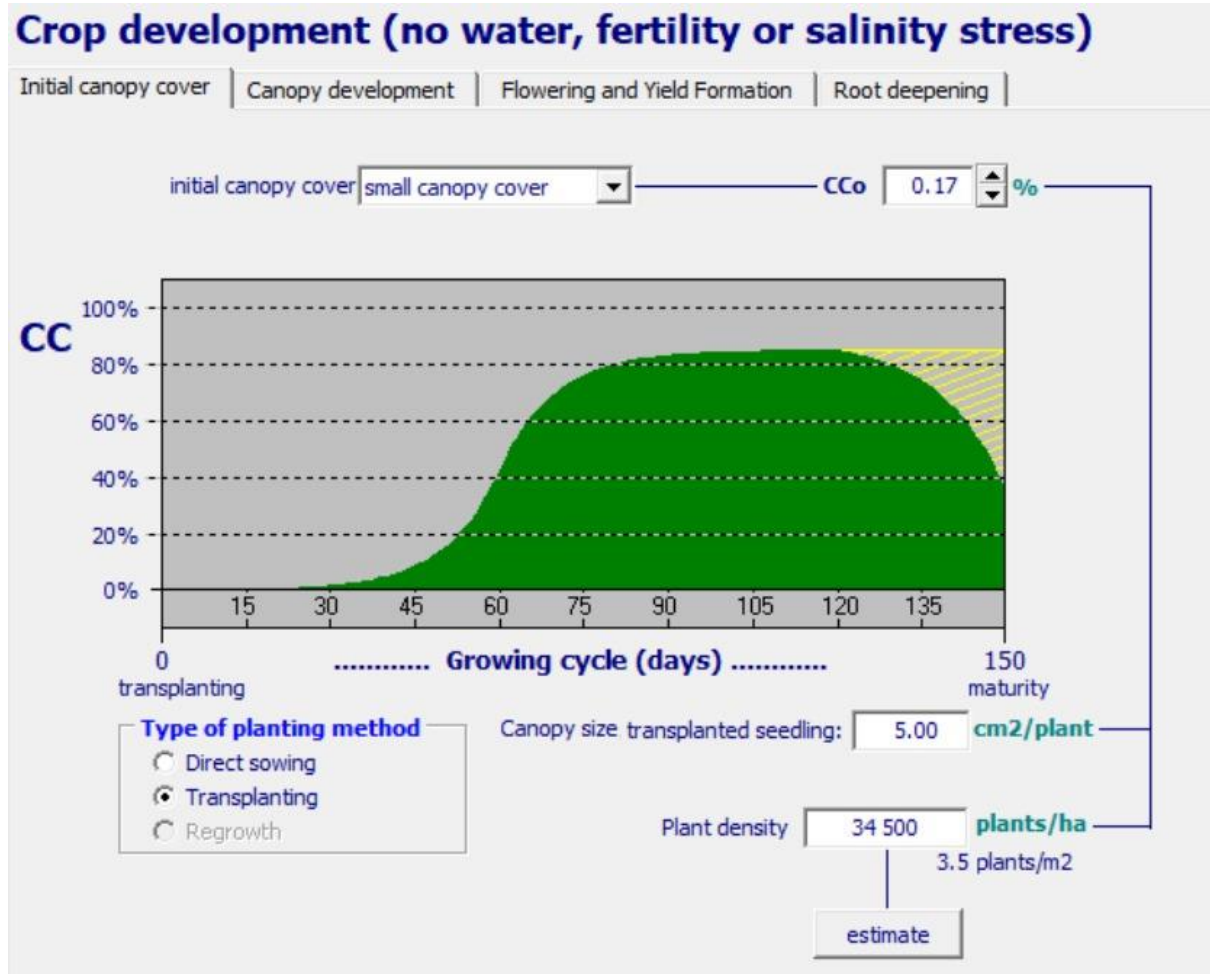


Figura 15. Desarrollo del cultivo en parámetros de estrés, condiciones iniciales del cultivo.

El modelo creó las condiciones de crecimiento acorde con las GDDay indicadas al inicio. Para esto se consideró una cobertura de crecimiento considerable de acuerdo con lo indicado por Rodríguez-Salazar (2017) que se logra observar en Figura 16. Acorde a todos los parámetros ingresados en el sistema, se obtiene el calendario mostrado en la Figura 17; esto considerando el uno de marzo como el día de trasplante establecido por el MAG. Es importante mencionar que como se aprecia en la Figura 18, también se muestra el mecanismo de ingreso de datos para el cálculo de la lámina neta de irrigación.

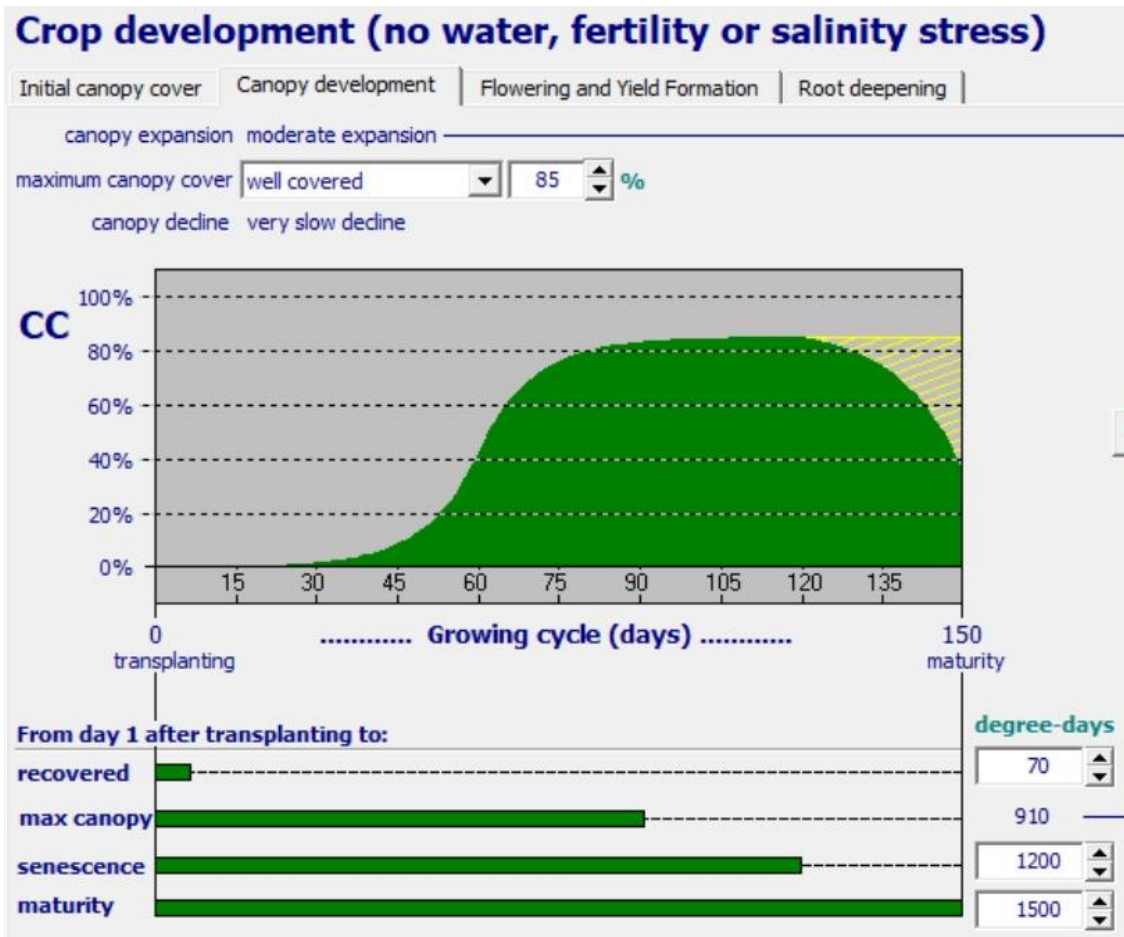


Figura 16. Desarrollo del cultivo en parámetros de estrés, en condiciones de desarrollo vegetativo.

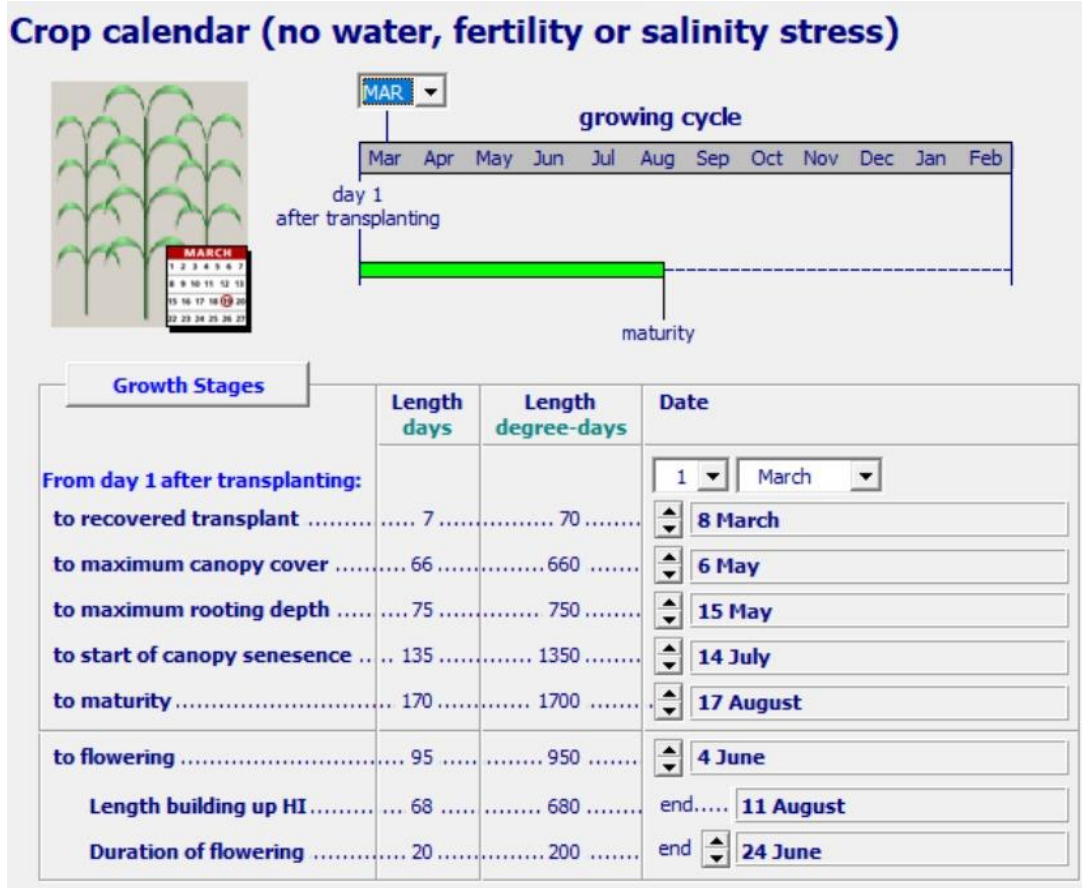


Figura 17. Calendario adecuado a los parámetros ingresados tomando marzo como el mes de trasplante.

3.4.3.3. Datos del Manejo

La entrevista semiestructurada permitió generar los valores requeridos para la modelación. Dentro de estos se consideran los de riego y las labores culturales. No obstante, cabe recalcar que para algunos valores se debieron emplear los promedios de las respuestas otorgadas por los encuestados debido a que no era la intención la creación de una modelación por productor.

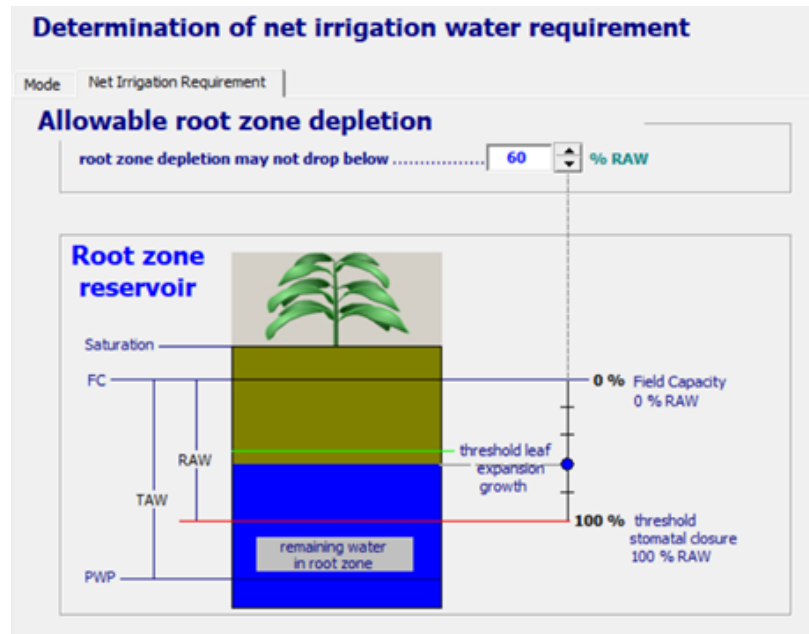


Figura 18. Determinación del Requerimiento Hídrico Neto en el programa AquaCROP.

3.4.3.4. Datos del Sustrato

Debido a que se proyectó la evaluación para explotar el máximo potencial de producción del cultivo, se estableció una producción de biomasa del 100% como se observa en la Figura 21. Además, las sacas de fibra de coco permiten que la producción puede generar el crecimiento hasta donde la persona productora se lo permite por esta razón, se tomaron los datos que se muestran en la Figura 18.



Figura 19. Producción de Biomasa establecida para el programa AquaCROP.

Los valores solicitados para la caracterización del sustrato se obtuvieron tanto de forma teórica como propias de la fibra de coco empleada en la Finca Gamaliel. El cultivo en las sacas se expone como un solo horizonte, también se consideró que el grosor de la saca es de 15 cm, ya que ese representaría la profundidad del sustrato.

La inserción de los valores de retención tanto del PMP como el FC y la SAT, se definieron de acuerdo con lo establecido por *Soto-Bravo* (2018). No obstante, para el caso del Factor de Campo, la Saturación y de la Conductividad Hidráulica, es importante destacar que si bien es cierto se obtuvieron los valores teóricos, por efectos del programa, su metodología de cálculo y por la precisión de los resultados otorgados, estos valores tienen límites ya preestablecidos debido a que dejan de ser representativos para el modelo. Esto se muestra en la Figura 20.

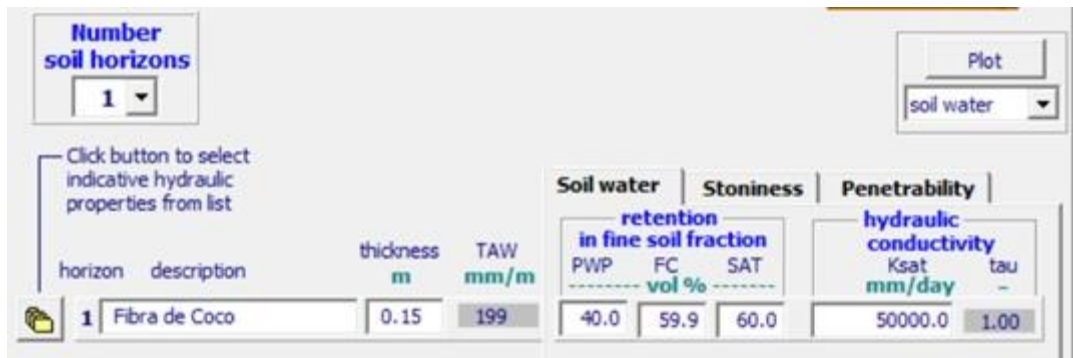


Figura 20. Características del suelo establecidas para la fibra de coco en el programa AquaCROP.

Para el caso de las características de superficie, se tomó el el Numero de Curva de acuerdo con lo estipulado por Villón-Béjar (2004). Además, debido a que la fibra se encuentra completamente recubierta por el plástico no existe una evaporación. Estos parámetros se establecieron en el programa como se muestra en la Figura 21.

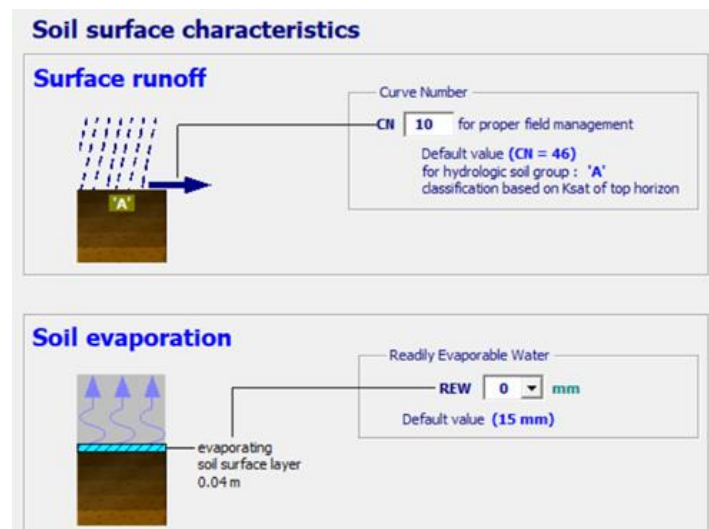


Figura 21. Características de la superficie del suelo para la fibra de coco en el programa AquaCROP.

Para efecto de la capilaridad, el programa posee un mínimo de cuatro metros, por lo que el valor mostrado en la Figura 22, se estableció de esta forma a pesar de que difiere con el grosor de la saca.

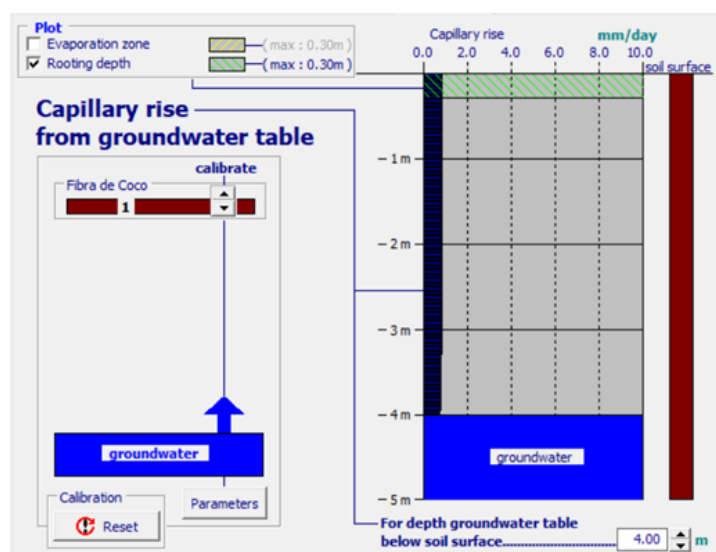


Figura 22. Elevación capilar del nivel freático establecido para el programa AquaCROP.

3.4.4. Obtención de la demanda hídrica

Para la determinación de la demanda hídrica del cultivo de *Fragraria anannasa L.*, se realizó primeramente la obtención del valor del *Requerimiento Neto de Riego (RNR)*. Este se obtuvo haciendo uso del programa AquaCROP. En este, se utilizaron en el proceso de modelado las variables indicadas en las subsecciones anteriores. Una vez obtenido el balance hídrico y la proyección de biomasa por parte del software, se obtuvo el valor teórico de la variable RNR.

3.4.5. Cálculo del SRR

Uno de los indicadores clave de desempeño utilizados para evaluar la adecuación del suministro de agua de riego según *Malano and Burton (2001)* es el índice relativo de riego. Este índice se define como la proporción entre el volumen de agua de riego proporcionada dividido entre el volumen de las necesidades netas de riego del cultivo. El cálculo del SRR se realizó mediante la ecuación 7.

$$SRR = \frac{\text{Agua Aplicada}}{\text{Requerimiento Neto de Riego}} \quad (7)$$

Para este cálculo se tomaron los valores de las láminas modeladas óptimas de cada condición de ambiente protegido de La Finca Gamaliel, obtenido de del programa AquaCROP como el Agua aplicada, y el valor obtenido del aforo realizado mediante la evaluación del coeficiente de uniformidad de *Christiansen* como el Requerimiento Neto de Riego.

VII. Capítulo 4

4. Resultados y Discusión

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo anterior para caracterizar la zona de estudio y determinar la demanda hídrica del cultivo de fresas en ambientes controlados. Se presentarán los hallazgos relacionados con las condiciones climáticas, características edafológicas y estructurales de los ambientes controlados, así como su impacto en la demanda de agua por parte de los cultivos.

Los resultados se organizan de manera clara y concisa, facilitando su comprensión y análisis, y se respaldan con datos cuantitativos y cualitativos obtenidos a través de técnicas de recolección y análisis de datos rigurosas. Este capítulo proporciona una visión detallada de los factores que influyen en la demanda hídrica del cultivo de fresas en el contexto específico de la zona de estudio de finca Gamaliel en Vara Blanca, con el fin de brindar una discusión y conclusiones que se presentarán en los siguientes capítulos.

4.1. Caracterización de la zona de estudio

En esta sección, se detallan las condiciones atmosféricas de la zona de *Vara Blanca* de Heredia. Los datos analizados fueron otorgados por el IMN, de los cuales se analizaron y describen los parámetros de temperatura atmosférica, humedad relativa, radiación, velocidad y dirección del viento.

4.1.1. Temperatura Atmosférica

De acuerdo con los datos otorgados por el MINAE provenientes de la *Estación Experimental Fraijanes*, con los valores máximos y mínimos para la zona de Vara Blanca, se determinó el valor promedio de las temperaturas en cada mes, como se muestra en la Figura 23. Por lo que se puede considerar a una media de 16°C, acorde con lo esperado para zonas montañosas (INDER, 2016).

En el periodo de tiempo analizado, el mes de marzo del año 2019, con 26,8°C, fue el que presentó la temperatura más alta, mientras que la temperatura más baja se reportó para el mes febrero del año 2022 con 6,3°C, ambas identificadas en la Figura 23. Estos valores extremos, se obtuvieron debido a que fue necesario para ver y comprender el comportamiento de las condiciones que se podían obtener a lo interno de los ambientes controlados y tener un punto de referencia del cual partir para así validar y relacionar la información obtenida de los sensores HOBO para así tomar decisiones importantes en el estudio.

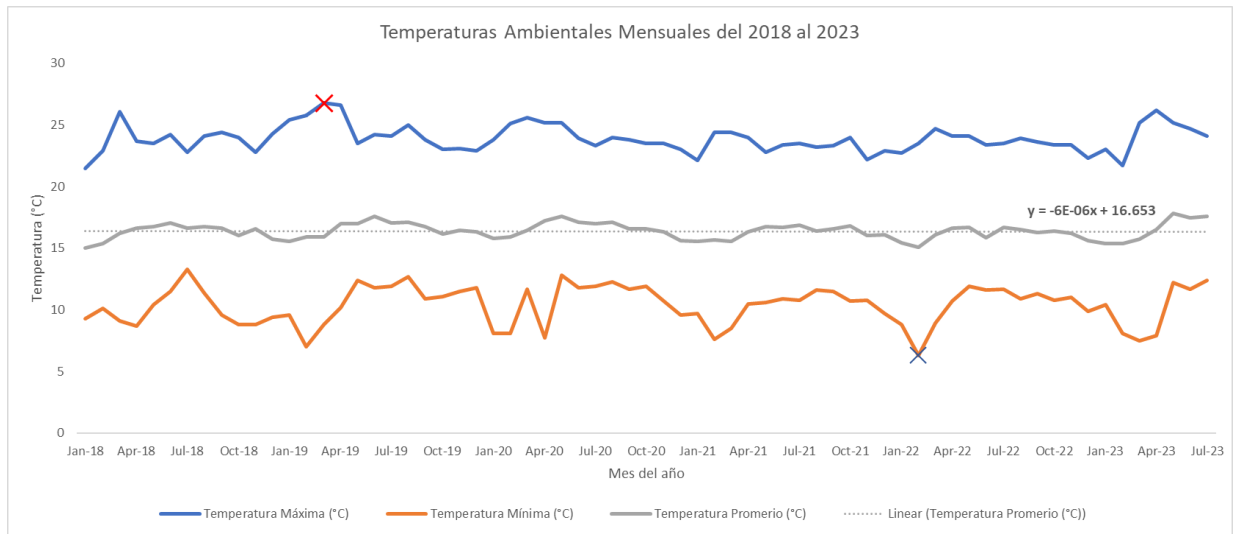


Figura 23. Registro de temperatura ambiental en la zona de Vara Blanca del año 2018 al 2023(cruz roja muestra el valor más alto y la azul es más bajo).

4.1.2. Humedad Relativa

Para el conjunto de datos estudiado del periodo 2018-2023, la humedad relativa mensual en los últimos cinco años muestra un leve aumento como se muestra en la Figura 23. Esto puede deberse a la variación de las temperaturas de acuerdo con la época del año, o bien a la intensidad de las lluvias determinadas por el estado de ENOS. La humedad relativa máxima se presentó en junio del 2022 con un 91,5% mientras que el para setiembre del 2018 se reportó el porcentaje más bajo de 70,8%.

Para el año 2018, de acuerdo con el IMN (IMN, 2017), el fenómeno ENOS estableció “La Niña” con transición a las condiciones ambientales neutrales. La lámina por precipitaciones promedio fue de 4,4 mm para los últimos cinco años. Específicamente para el mes de setiembre 2018, el promedio de la lámina caída fue de 8,1 mm. Aunque el comportamiento de la precipitación fue muy cercano al promedio de los cinco años analizados, la transición al fenómeno de “El Niño” previsto para iniciar en octubre de dicho año pudo influir.

Para el caso específico del 2022, el IMN (IMN, 2022) determinó el fenómeno de “La Niña” como el dominante. A pesar de que contradictoriamente el año fue reportado como seco por los déficits de lluvia en algunos sectores del país, los meses de abril y junio tuvieron aumento en mm en toda la zona costarricense.

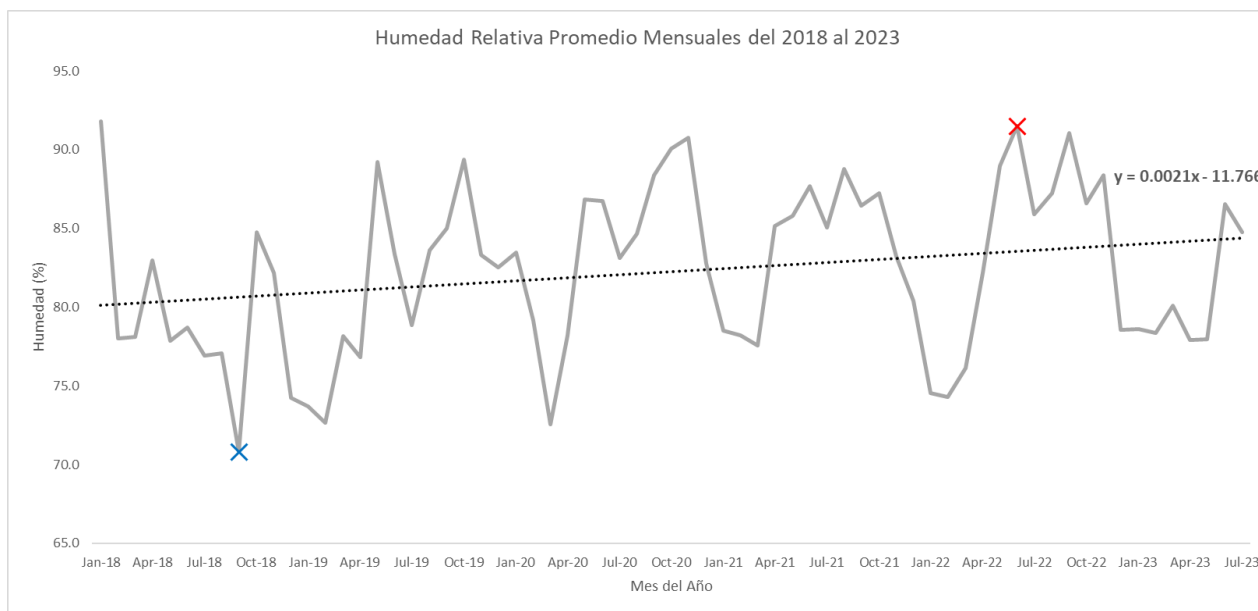


Figura 24. Registro de la humedad relativa ambiental en la zona de Vara Blanca del año 2018 al 2023 (cruz roja muestra el valor más alto y la azul es más bajo).

4.1.3. Radiación Solar

La radiación solar global total considera la irradiancia directa captada de manera diaria. Sin embargo, la radiancia difusa genera variaciones por efecto de existencia de nubosidad y otros factores como las concentraciones de gases presentes al momento. La zona de Vara Blanca, al ubicarse a una elevación superior a los 1500 msnm, está expuesta a una alta presencia de nubes lo que genera una pérdida del potencial de la radiación directa (*Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, S.F.*). esta pérdida de irradiancia directa afecta la cantidad de energía (Mega julios) que son aprovechados por las plantas en su área efectiva.

En la Figura 25 se logra observar la variación en cuanto a la radiación. En esta se puede identificar que los picos máximos de radiación se experimentan en la época seca y por ende los más bajos en la época lluviosa. Se puede a su vez, notar la relación proporcional con el estado de ENOS, ya que en los años donde se experimentó el fenómeno de “La Niña” (mencionados en párrafos anteriores), la radiación global disminuyó.

Cabe destacar que el mayor valor de radiación global reportado entre el período de años 2018-2023, fue en el mes de marzo de 2018, con un valor de 27,4 MJ/m². El mes con la menor radiación solar se experimentó en el mes de junio del 2022, con un valor de 11,1 MJ/m².

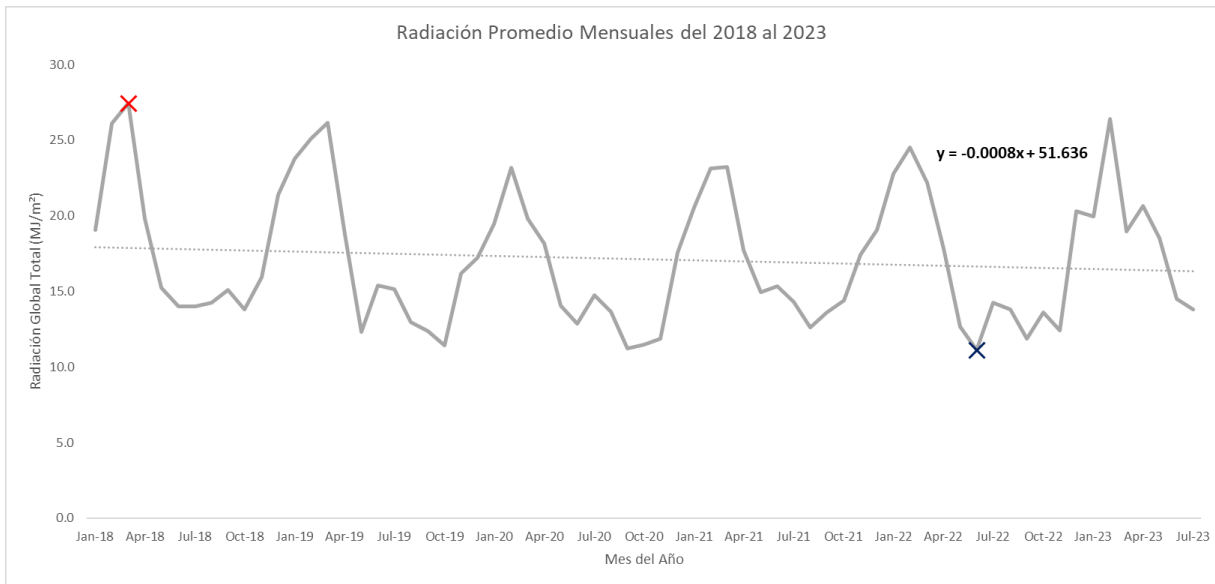


Figura 25. Registro de radiación solar global total del 2018 al 2023 (cruz roja muestra el valor más alto y la azul es más bajo).

4.1.4. Velocidad del Viento

Para la zona de Vara Blanca, se identificó una disminución leve en la velocidad del viento experimentada. Como se observa en la Figura 26, se puede identificar que, aunado a la baja en la velocidad, también se ha cambiado la dirección del viento hacia el noreste (véase Anexo I). Así mismo, es apreciable como los meses con mayor velocidad del viento son los pertenecientes a la época seca.

La pendiente general de la Finca Gamaliel tiene dirección al noroeste. Esto permite que el efecto de la velocidad del viento no posea tanto impacto en la misma. Además, es importante mencionar que la cercanía entre las estructuras es estrecha, por lo que es otro factor que permite que sea imperceptible en la mayoría de las posiciones.

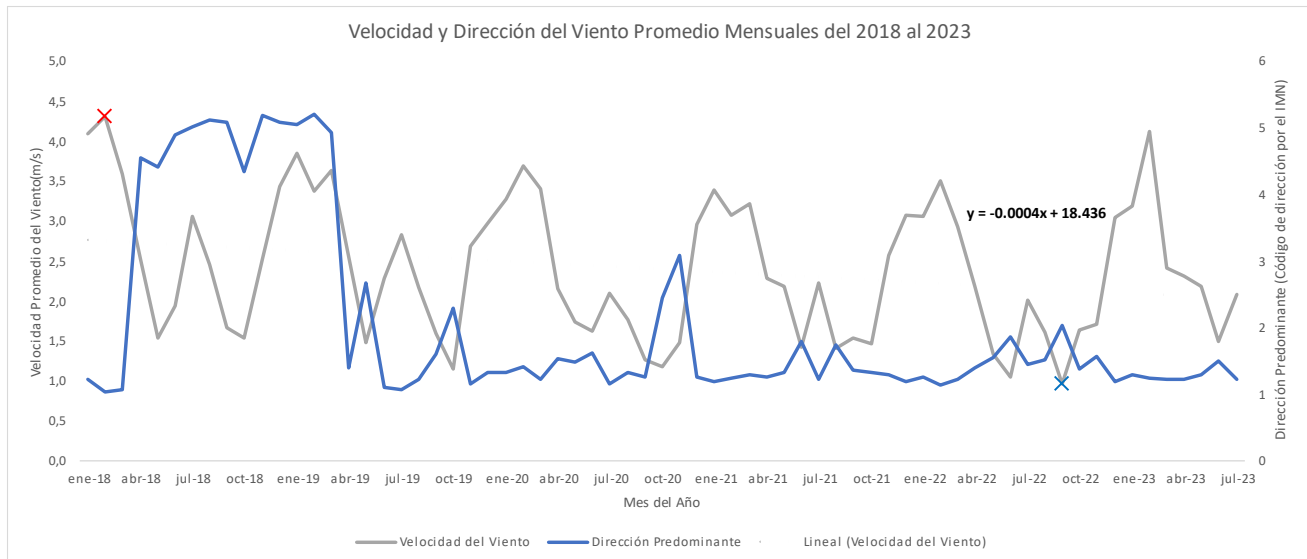


Figura 26. Registro de los valores de velocidad del viento y su dirección¹ del 2018 al 2023 (cruz roja muestra el valor más alto y la azul es más bajo).

4.2. Caracterización climática de los ambientes controlados

El análisis que se muestra en esa sección corresponde al análisis de los valores de temperaturas, humedad relativa y radiación solar, del interior de los ambientes controlados, en donde se buscó la interpretación de los patrones que siguen, al interior de los ambientes controlados, con el fin de conocer si existen diferencias significativas entre las condiciones de pared (abiertos o cerrados). Los datos se obtuvieron según la metodología planteada para esta investigación. A continuación, se muestran los resultados.

4.2.1. Análisis de Temperatura y Radiación Solar

De las siete naves analizadas, seis de ellas indicaron un promedio de temperaturas máximas que oscilan entre los 40°C y los 50°C. Cada una de estas contaba con dos o tres sensores, según las dimensiones de cada nave. Cabe destacar que únicamente se consideraron los sensores que presentaban datos coherentes con la teoría y consistentes entre sí. En la sección de anexos (Anexo II), se muestran los sensores colocados en relación con los finalmente analizados.

El comportamiento general de los registros de temperatura a lo interno de las naves se expuso tal como se muestra en la Figura 27. Para comprender mejor el comportamiento, se

¹ De acuerdo con el IMN, la dirección del viento se registra de manera numérica, esta se muestra en el Anexo I.

clasificaron los tipos de muestra según la condición de cada invernadero (con o sin pared). Los rangos intercuartiles están contenidos dentro del mismo espectro de temperatura.

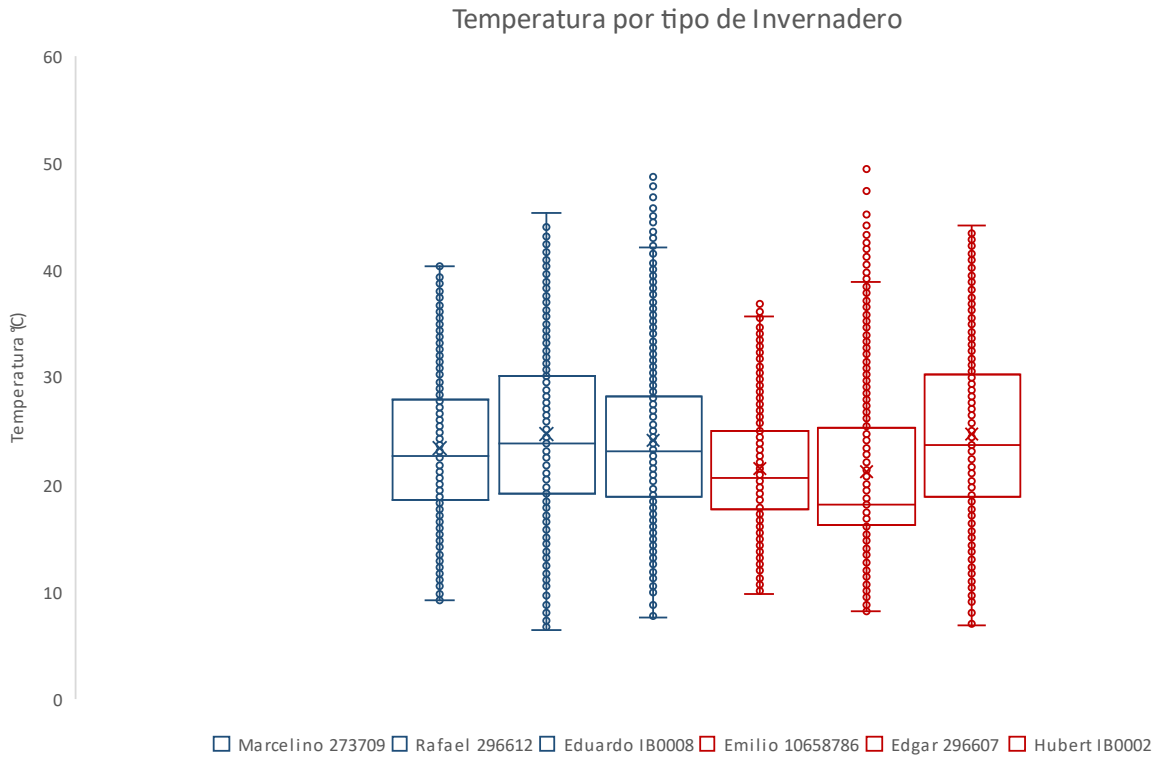


Figura 27. Temperatura registrada de acuerdo con el tipo de nave (Azul, sin cobertura de pared y rojo con cobertura)

Se identificó una situación particular en el caso de la nave de Marcelino Morán. El sensor 273711, registró temperaturas en un rango menor. Analizando la ubicación del sensor y de la estructura como tal en lo interno de la finca, se observó que al no poseer paredes y estar a la par de un área boscosa, se presentó la alteración en los datos. Esto se observa en la Figura 28. Para efectos del análisis se decidió no contar con el registro de este sensor debido a que generaba una no uniformidad entre los tres registros de los sensores instalados.

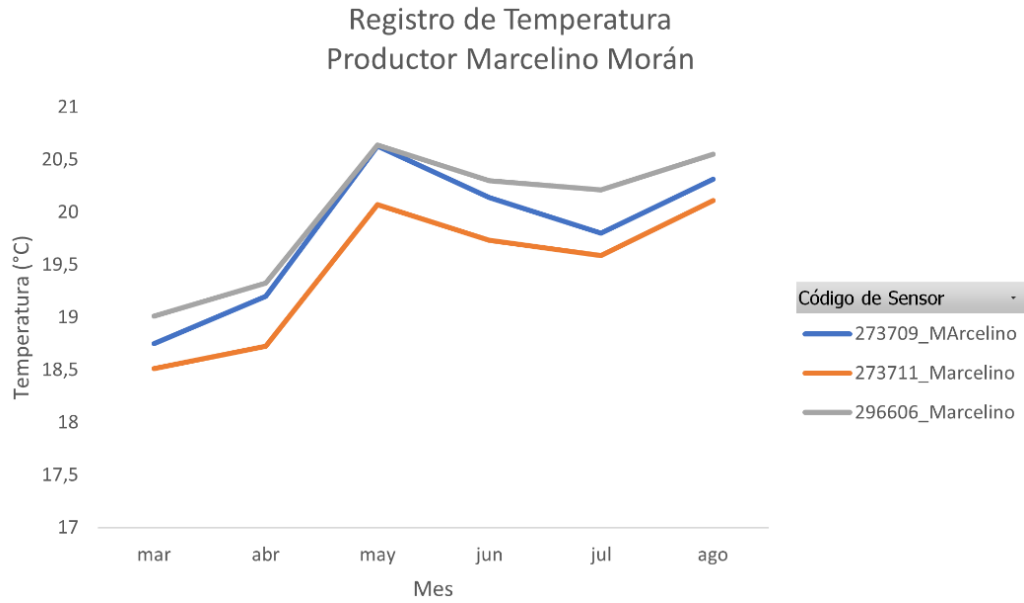


Figura 28. Comportamiento del registro de datos por sensor, ambiente controlado del productor Marcelino Morán

De la recopilación cincominutal de todos los sensores, se identificó que el día tres de mayo del 2023 reportó las temperaturas más altas como factor común entre los datos de las distintas muestras. El mismo día, la temperatura atmosférica máxima reportó 23,9°C, por lo que no existe un factor que permita identificar una relación directa entre esta. Esto se logra observar en la Figura 29.

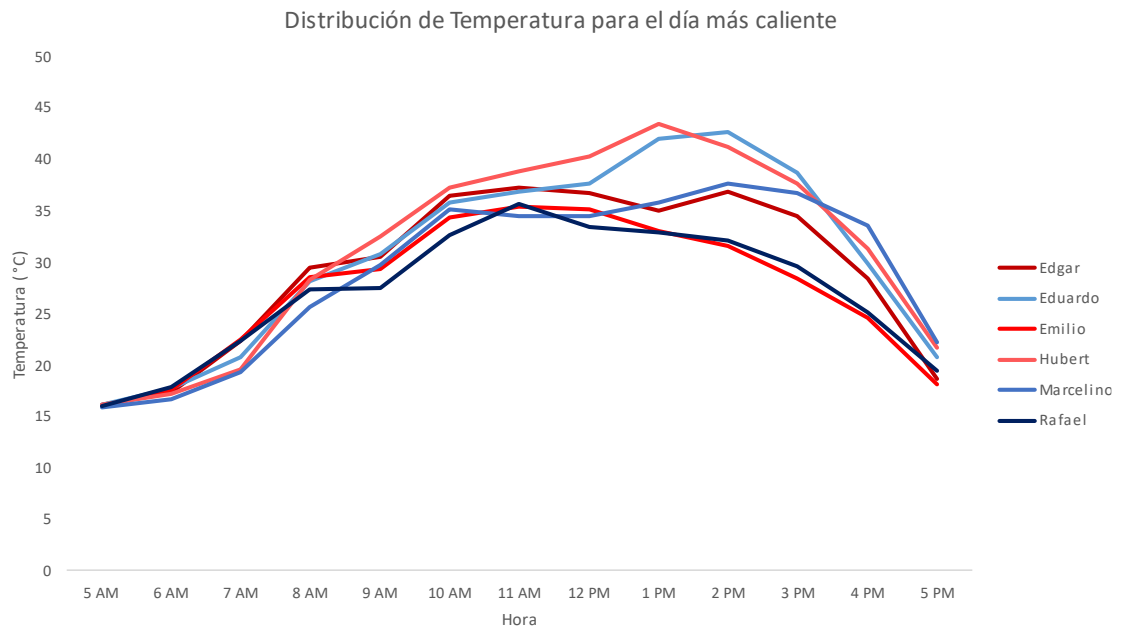


Figura 29. Distribución de temperaturas el día 3 de mayo para cada productor (coloraciones rojas para naves con paredes y azules para las sin paredes).

Una posible causa pudo haber sido por efectos de la radiación. De acuerdo con *Adriana Rojas* (2015), la radiación en condiciones de ambiente controlado tiene una relación con la generación de un calor latente con la evapotranspiración, esta es la resultante de la radiación absorbida. Por lo tanto, si el día tres de mayo del 2023, no se presenció la nubosidad promedio, la cubierta plástica del invernadero pudo haber absorbido calor mediante absorptividad.

Para el caso de la radiación solar, al interior del ambiente protegido, *Corrales-Carvajal* (2010), menciona que las cubiertas plásticas pueden presentar una reducción aproximada del 50% de la radiación global que llegaría a las plantas. Esto se debe a las condiciones en las que se encuentra el plástico cuando tiene ya presencia de roturas, manchas por efecto de mohos, o daños por efecto de los años de uso (*Garzón et al, 2017*), además, que el plástico se va tornando de un color verde. En el caso de los plásticos de La Finca Gamaliel, según la encuesta realizada y visitas a campo, estos no han sido cambiados, ni lavados desde el 2015 y presentan un color verde y manchas blancas (Figura 30). Adicionalmente, la lectura de los HOBO usados arrojan valores que oscilan entre 49,8% y 50 % de reducción de la radiación global total con respecto a la reportada por el IMN, considerando para el cálculo en la ecuación 2 coincidiendo con lo reportado *Corrales-Carvajal*. Estos valores de los HOBO con su conversión de forma diaria son los utilizados para alimentar la matriz que requirió el modelo AquaCROP.



Figura 30. Ejemplo de las condiciones de la cobertura plástica en los techos de los ambientes protegidos.

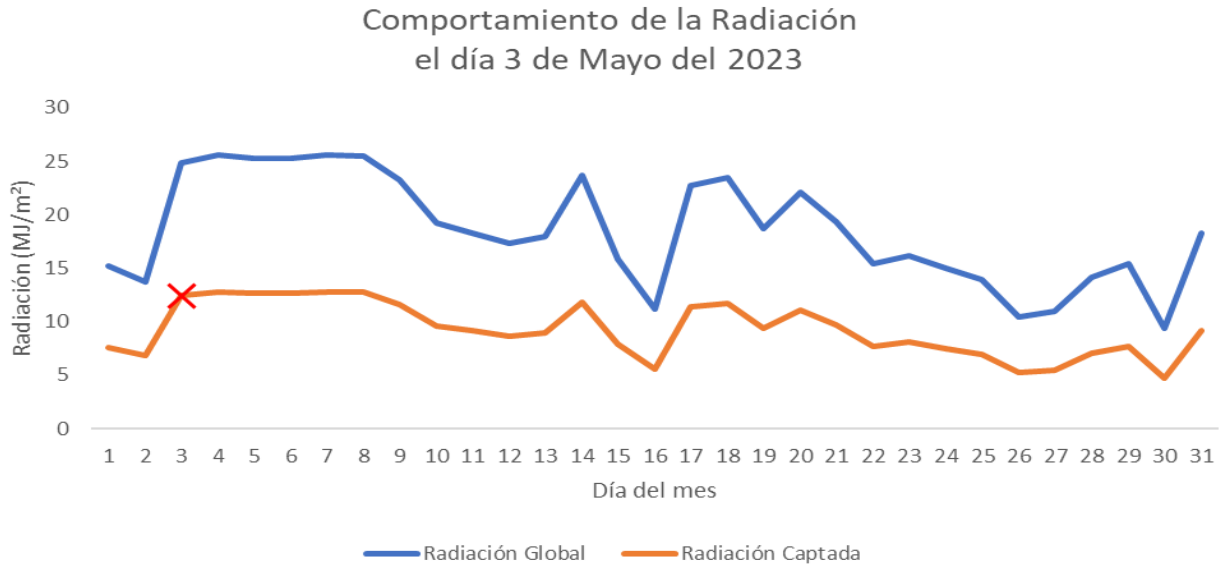


Figura 31. Radiación Global Total el tres de mayo de 2023.

4.2.2. Análisis de Humedad Relativa

La humedad relativa posee una relación inversamente proporcional con la temperatura. Esto se debe a la capacidad del aire contenido de retener el vapor de agua presente en el ambiente. Por ende, las temperaturas altas aumentan dicha capacidad y por lo tanto la humedad relativa disminuye (*Tejeda-Martínez, 2018*). En la Figura 32, se observa que, si bien se encuentran la mayoría en un mismo rango, las medianas son estadísticamente diferentes, según el análisis estadístico que se desarrolla en la sección 4.5. Así mismo, en la Figura 33 se aprecia el comportamiento de la humedad relativa para todos los rangos de datos medidos por productor en el periodo de tiempo comprendido para este análisis.

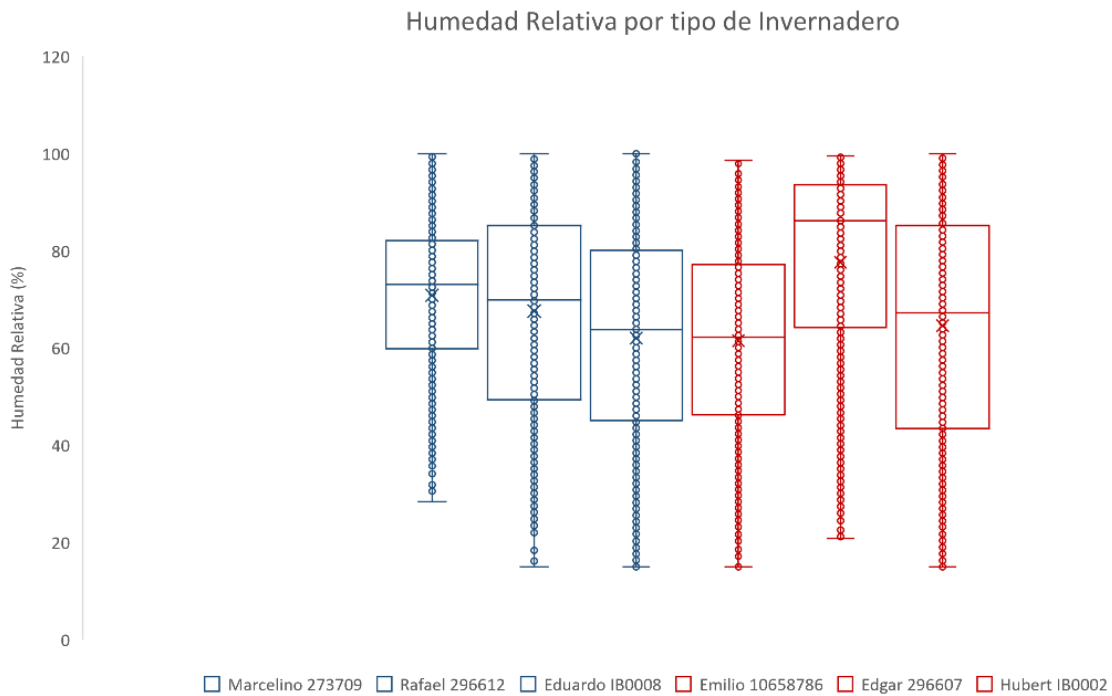


Figura 32. Humedad Relativa registrada por los sensores por tipo de condición (azul, estructura sin pared, rojo, estructura con pared).

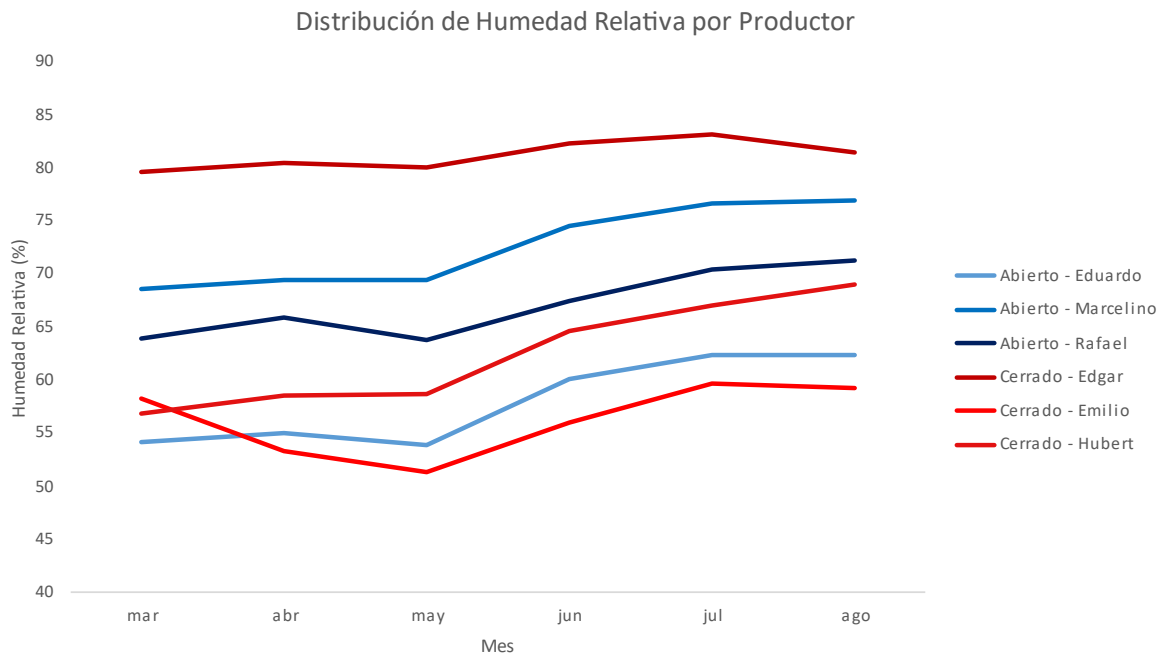


Figura 33. Comportamiento de la Humedad Relativa mensual por tipo productor.

En un rango de horas de las cinco de la mañana a las cinco de la tarde, los porcentajes de humedad se disminuye en las horas de entre las 10:00 am y 2:00 pm. Por el contrario, horas cercanas al amanecer y al atardecer, presentan los porcentajes más altos. Esto se observa en la Figura 34.

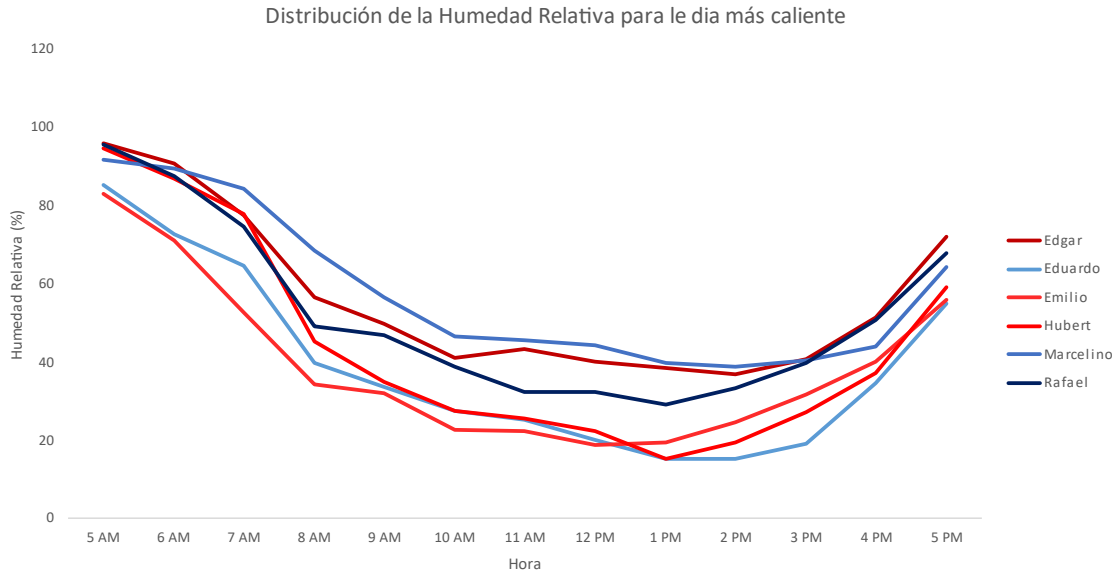


Figura 34. Distribución de la humedad relativa el día 3 de mayo (coloraciones rojas para naves con pared y azul para las que no poseen pared).

4.2.3. Análisis entre Sensores de una misma estructura para la Temperatura

Respecto a los datos tomados por los sensores instalados en un mismo ambiente controlado, se obtuvo que con un nivel de confianza del 95%, no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de que las medias entre sensores sean iguales. Por lo tanto, no hay diferencias significativas en el comportamiento de la temperatura dentro de cada ambiente controlado. Esto permite utilizar, para efectos de los análisis siguientes, un único conjunto de datos (datos de sólo uno de los tres sensores colocados en cada nave) para cada ambiente controlado estudiado.

4.2.4. Análisis entre Sensores de una misma estructura para la Humedad Relativa

Para el análisis estadístico de los sensores de una misma nave, en todos los casos (para cada ambiente controlado analizado), con un nivel de confianza del 95%, se rechazó la hipótesis nula de que las medias de las muestras son iguales. Por lo cual, sí hay diferencias significativas entre los datos de los sensores colocados dentro de cada ambiente controlado. Por lo cual se emplean todos los sensores.

4.3. Caracterización del Sustrato

4.3.1. Retención de Agua

La fibra de coco empleada como sustrato tiene un mayor potencial de retención, así como de drenaje distinto al suelo, por lo que, para la modelación de la demanda hídrica del cultivo, se requieren parámetros físicos de su capacidad de retención de agua, densidad aparente, porosidad y conductividad hidráulica. *Soto-Bravo y Betancourt-Flores (2021)* realizaron curvas de liberación de aire y de humedad para la fibra de coco, en esta obtuvieron valores de densidad aparente, porosidad y capacidad de aireación para sustrato procedente de fibras de coco, como la empleada en esta investigación. Los resultados del estudio de *Soto-Bravo y Betancourt-Flores* mostraron que la fibra de coco tiene una interacción de gases o aireación resumidas en la porosidad, la cual tiene un 93,47%. La densidad aparente obtenida fue de 0,096 y un 25,99% de retención de agua. En términos de porosidad para el caso de la fresa, una buena aireación permite un crecimiento radicular mucho más robusto (*Medina-Bolívar & Pinzón-Sandoval, 2018*). Esto garantiza un buen drenaje lo que reduce la incidencia de agentes fúngicos en las raíces por causa de sobreexposición a humedad.

Respecto a la retención de agua existe una relación con el drenaje y la disponibilidad que la planta requiere de agua para realizar sus procesos bioquímicos. La baja retención también se relaciona con un aumento en la percolación de todo aquel contenido inorgánico presente. *Gutiérrez-Castorena et al (2011)*, indican que la fibra de coco debe de tener entre un 55% y un 70% de retención de agua, aunque esto se relaciona directamente con el tamaño de partícula de la fibra, mientras que *Bolívar-Medina (2016)*, reportó un valor de retención de humedad de 65,5%. La evaluación de *Soto-Bravo y Betancourt-Flores (2021)* establece una retención baja, por lo que los riegos deben poseer una frecuencia baja para que no se genere una desecación del sustrato y afección en el crecimiento radicular, esto aunado a que la fibra de coco se comercializa en sacos que poseen una profundidad que oscila entre 0,2 y 0,3 metros. Sin embargo, para el caso de hortalizas, identificando agotamiento de humedad volumétrica se obtuvieron los mejores resultados de rendimiento de la producción.

En términos del proceso de modelaje de la demanda hídrica en AquaCROP, en este estudio, se emplearon los valores de conductividad hidráulica de 7,86 cm/s. Para el caso de los valores de PMP y CC, se utilizaron los valores establecidos por *Soto-Bravo (2018)*, como se muestran en la Figura 7. La densidad aparente en suelos arenosos está entre valores de 1 a 2 g/cm³. La incidencia de esta en el cultivo en condiciones altas es la reducción de la capacidad de interacción entre las demás partículas, reduciendo el intercambio de gases, reduce la difusión de los nutrientes agregados, entre otras. Por ende, el valor establecido para la fibra de coco confirma los buenos rendimientos obtenidos de los factores anteriormente mencionados (*Salamanca-Jiménez & Sadeghian-Khalajabadi, 2005*).

4.3.2. Conductividad Hidráulica (K)

De acuerdo con *Quiñónéz-Fernández* (2014), la conductividad hidráulica de la fibra de coco la hace muy susceptible a eventos de evaporación. Además, este parámetro se fuertemente influenciado por el grado de compactación a la que se someta la fibra durante su manejo. Esto genera que la fibra en condiciones de clima secos no se adecúe al ambiente idóneo del crecimiento radicular, lo que por su cubierta plástica y la retención de los vapores aumente la temperatura.

Debido a la porosidad tan alta que posee, el fluido, emplea los poros y el camino en medio de ellos para realizar su conducción. Es importante porque es lo que permite que el agua suba hacia las raíces y que recobre el equilibrio. Según los resultados de las pruebas realizadas con el permeámetro *Karol-Wagner* modelo 3891 de cabeza constante/descendente en el laboratorio de Suelos aguas y ambiente de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas, se obtuvo para la fibra empleada en La Finca Gamaliel, un valor de 7,86 cm/s. Este valor expresa un comportamiento similar al que presentaría arena limpia, según *Macías et al* (2018). Hay que considerar que existen otros factores que generan variaciones en el valor *K*, como el contenido de humedad en el suelo, la infiltración, la porosidad (como se mencionó antes) y la continua presencia de los sistemas radiculares (*Pérez-Gómez & Alejandro-García*, 2015).

4.4. *Caracterización del Aforo y Caudal Consumido*

Los aforos de las cintas permitieron evaluar el caudal que se emplea a lo largo del ciclo fenológico del cultivo. Lo anterior se muestra en la Tabla 4. Las pruebas de Christiansen realizadas a cuatro naves como muestra obtuvieron los resultados que se muestran en Tabla 6. Tres de estas estructuras contaban con estructura cerrada, únicamente la de Eduardo es de estructura abierta.

4.4.1. Aforo

El aforo realizado a 152 puntos, contemplando las repeticiones, permitió la obtención de la lámina de agua por ciclo aplicada por estructura analizada, esto se muestra en la Tabla 4. *García-Morillo* (2015), en un estudio al cultivo de fresa de los años 2010 al 2013, estableció un promedio 573,9 mm de lámina que se aplica por ciclo. No obstante, cabe destacar que este estudio se realizó en condiciones de siembra en suelo directo. También *DeAquíz et al* (2014), establecen que, de manera teórica, la demanda por ciclo del cultivo es de 1 254,6 mm. Sin embargo, *Zaragoza-Nieto* (2013) indica que la aplicación en sustrato es de alrededor de 5600 L, lo que representa 140 mm por ciclo productivo para un área de 40 m². *Flores-Barahona* (2018) en la evaluación en sustrato, determinó una necesidad hídrica por ciclo de 314,9 mm de lámina.

Tabla 4. Lámina aplicada por ciclo en las unidades productivas evaluados.

Unidad Productiva	Promedio L/min	Tiempo de Riego min	Volumen Aplicado L/nave	Lámina Aplicada/día mm/día/nave	Lámina por Ciclo mm/ciclo
34	0,01423	15	7361,44	0,74	167,21
33	0,00623	15	3225,13	0,32	73,26
11	0,01406	15	7277,62	0,73	165,31
6	0,00874	15	4523,5	0,45	102,75

El promedio de la lámina de agua aplicada por nave en la Finca Gamaliel es de 113,77 mm para las estructuras con pared, mientras que para las estructuras sin pared únicamente se tiene el valor de 167,21 mm. Esto permite determinar una lámina aproximada de 1921,21 mm por ciclo (ver Tabla 5), contemplando que tres productores aún se encuentran en etapas constructivas de la estructura y por ende no tienen un consumo actualmente. Este valor se acerca a lo establecido por *DeAquiz (2014)* para el consumo por hectárea, no obstante, las labores de riego, así como también las culturales, pueden atribuirse la disparidad entre los valores teóricos y el experimental obtenido.

Tabla 5. Lámina por parcela en un ciclo productivo.

Área de 21 parcelas (m ²)	Lámina (mm)
147000	1921,21

4.4.2. Evaluación del Coeficiente de uniformidad de Christiansen

Bedoya-Cardoso & Ángeles-Montiel (2016), estipulan que los tipos de tuberías con salidas varias, como lo son las cintas de riego, se ven afectadas por la presión que se genera en la entrada y salida del sistema, y las condiciones de la topografía. Mientras que la aplicación de agua solo se ve impactada por la uniformidad en la cual se genera el proceso de riego, esta debe de considerar la energía con la cual el fluido recorre la tubería.

Las separaciones de goteros utilizadas al momento de realizar la prueba a lo largo de la cinta pueden llegar a generar errores en la medición en promedios de 2,06% (*Bedoya-Cardoso et al, 2016*). *Palacios-Briceño (2018)*, indica que existen dos clasificaciones de factores que pueden ser los responsables de un valor de uniformidad bajo: factores hidráulicos y fallos en las salidas de la cinta.

En el caso de las muestras evaluadas mostradas en la Tabla 6, es importante destacar que el estado de las cintas de riego no mostraba evidencia de limpieza, debido a la presencia de lana, moho y concreciones de sales en las salidas de las cintas de goteo, así como de cambios previos de tipos de manguera en tres de los ambientes controlados. Esta es la posible razón de que los valores de CUC sean tan bajos, mostrando así que la uniformidad en la aplicación de riego tiene una similitud en tres de las naves estudiadas. No obstante, el estado de la nave perteneciente a Randall y según lo mencionado por este a lo largo de la prueba, mostraba que, si habían lavados

y cuidados en las mangueras de riego, también indicó haber realizado pruebas de uniformidad acorde a lo aprendido de las instancias a cargo de la Finca Gamaliel, como lo son el SENARA y el MAG.

Tabla 6. Resultados de la prueba de Uniformidad de Christiansen.

Parcela	Coefficiente de Christiansen (%)
34	61,26
33	38,79
11	68,04
6	86,44

En las naves donde se midió el caudal y se aplicó la prueba de uniformidad de Christiansen, los valores obtenidos de uniformidad resultaron en 38,79% y 86,44%, con valor promedio de 63,63%. Este valor de C.U.C se considera bajo para sistemas de riego por goteo por múltiples autores que han realizado pruebas de uniformidad empleando diferentes coeficientes con el fin de establecer parámetros que unifiquen el criterio de uniformidad de sistemas de riego presurizado (*Fontanela et al (2009); Cardoso. M, et al (2018); Buendía et al (2004)*) repercute en forma directa en la distribución homogénea de la lámina de agua que se requiere en la finca para una producción aceptable.

García-Arteaga et al (2021), han señalado que la variabilidad en el tirante de la lámina de riego aplicado aumenta la variabilidad de la producción. Esta variabilidad afecta principalmente en la etapa de crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto. *DeAquiz et al (2014)* en su estudio, identificaron que, en láminas de riego menores a las requeridas por el cultivo, el fruto sufre de reducciones considerables en el tamaño, más no en la masa seca que estos poseen, además de que los azúcares producto de la conversión de ácidos se da en menor tiempo. No obstante, la variabilidad en la uniformidad del riego afecta directamente el tamaño del fruto, repercutiendo directamente en el rechazo del producto en el mercado, por presentar tamaños no uniformes

4.5. Análisis Estadístico

4.5.1. Análisis por Tipo de Estructura para la Temperatura

Acorde con los resultados de la sección 4.2.3, únicamente se continuó el estudio con un sensor por productor debido a que se demostró que no había diferencias significativas entre sensores de modo que un sensor era representativo por productor. Los códigos de estos sensores se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Código del sensor seleccionado para análisis estadístico general por unidad productiva.

Unidad Productiva	Código de Sensor	Tipo de Estructura
30	273709,00	Abierta
24	296612,00	Abierta
34	IB0008	Abierta
28	10658786,00	Cerrada
33	296607	Cerrada
11	IB0002	Cerrada

En el análisis realizado por tipo de estructura a los datos pertenecientes a la temporada seca, tanto para las estructuras con pared como para las que no la poseen, no cumplen normalidad ni homeocidad, por lo que se descartó el ANOVA como prueba comparativa, de manera que se requirió usar estadística no paramétrica. Refiérase al Anexo II para la evidencia de los supuestos para el ANOVA.

En la Figura 52 mostrada en el Anexo III, se aprecia la distribución de los datos del ambiente controlado sin pared, la cual posee una curtosis negativa y con una asimetría de 0,267. Por otra parte, para el caso de los resultados correspondientes a las estructuras con paredes, también se evidencia una curtosis negativa, por lo que existe un sesgo, y una asimetría de 0,53.

Para el caso del análisis general realizado a los ambientes controlados pertenecientes a la época lluviosa, los resultados no mostraron tampoco una distribución de normalidad debido a los resultados del valor p menores al 0,05. Tanto los resultados para las estructuras abiertas como cerradas mostraron valores de curtosis negativos indicando sesgos y con asimetrías 0,34 y 0,62 respectivamente. Esto se muestra en la sección de Anexo II.

Los resultados de las pruebas no paramétricas se aprecian en la Figura 35. Donde se concluye que no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula que corresponde a que las medianas entre el tipo de ambiente controlado son iguales a un intervalo de confianza del 95%.

Prueba de la mediana de Mood: Temperatura (°C) en función de Tipo Invernadero

Estadísticas descriptivas

Tipo Invernadero	Mediana	Mediana general de N <=	Mediana general de N >	Q3 - Q1	IC de la mediana de 95%
Abierto	23.100	12341	12347	9.759	(22.968, 23.2104)
Cerrado	23.069	13041	12990	10.421	(22.908, 23.196)
General	23.093				

IC de 95.0% para mediana(Abierto) - mediana(Cerrado): (-0.161,0.216)

Prueba

Hipótesis nula H₀: Las medianas de población son todas iguales
 Hipótesis alterna H₁: Las medianas de población no son todas iguales

GL	Chi-cuadrada	Valor p
1	0.06	0.804

Figura 35. Resultados de la prueba de Mood para la temperatura en función del tipo de ambiente controlado.

4.5.2. Análisis por Tipo de Estructura para la Humedad Relativa

En el análisis realizado por tipo de estructura a los datos pertenecientes a la temporada seca, tanto para las estructuras con pared como para las que no la poseen, no cumplen normalidad ni homeostadidad, por lo que se descartó el ANOVA como prueba comparativa, de manera que se requirió usar estadística no paramétrica. Refiérase al Anexo II para la evidencia de los supuestos para el ANOVA.

En la Figura 56, se aprecia la distribución de los datos del ambiente controlado sin pared, la cual posee una curtosis negativa y con una asimetría de 0,20. Por otra parte, para el caso de los resultados correspondientes a las estructuras con paredes, también se evidencia una curtosis negativa, por lo que existe un sesgo, y una asimetría de 0,0027. Lo anterior se muestra en la Figura 57.

Para el caso del análisis general realizado a los ambientes controlados pertenecientes a la época lluviosa, los resultados no mostraron tampoco una distribución de datos normal debido a los resultados del valor p menores al 0,05. Tanto los resultados para las estructuras abiertas como cerradas mostraron valores de curtosis negativos indicando sesgos y con asimetrías 0,437 y 0,172 respectivamente. Esto se muestra en la Figura 58 y la Figura 59 en el Anexo II.

Posterior a la prueba de normalidad, se realizó una evaluación de homocedasticidad para evaluar la dispersión de los datos. Considerando que no existe una normalidad, con el incumplimiento de los tres supuestos se descartó el ANOVA como prueba comparativa, por lo que se requirió el análisis de pruebas no paramétricas.

Los resultados de las pruebas no paramétricas se aprecian en la Figura 36. Donde se concluye que, sí existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, por lo que se acepta la hipótesis alternativa de que las medianas de los tipos de ambiente controlado no son iguales a un intervalo de confianza del 95%.

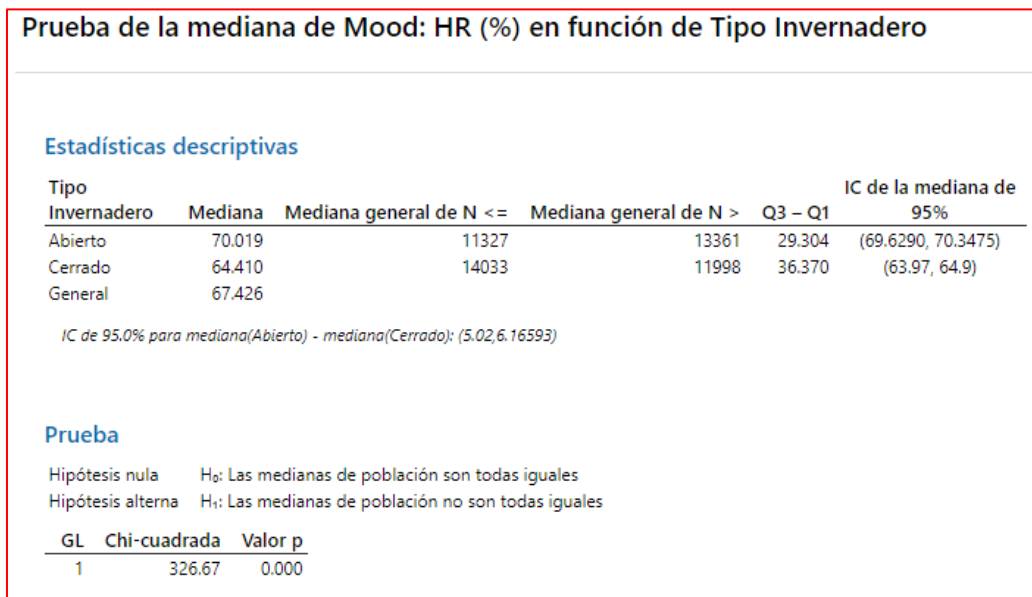


Figura 36. Resultados de la prueba de Mood para la humedad relativa en función del tipo de ambiente controlado.

El análisis exploratorio permitió identificar que no existen patrones de agrupamiento en el comportamiento de la humedad relativa, Esto identifica que no existe un patrón de comportamiento climático entre los ambientes controlados para el análisis de la demanda hídrica con el modelo AquaCROP. Esto permitió identificar la necesidad de realizar una modelación por cada uno de los ambientes protegidos con el fin de obtener la lámina del requerimiento neto de riego por parte del cultivo de fresa en La Finca Gamaliel.

4.6. Modelación en AquaCROP

El modelo AquaCROP permitió determinar el requerimiento neto de riego (RNR) donde en el caso del cultivo, en este caso fresa con los parámetros de cultivo medidos en campo, climáticos obtenidos se mencionó en la sección de metodología, del sustrato empleado y de las labores culturales obtenidas en la entrevista a los productores; con el fin de predecir la lámina de riego del requerimiento hídrico del cultivo en estas condiciones, para cuantificar por medio de la

ecuación 7 el SRR. En cuestión no se contempla añadido por precipitación, más si se considera una condición inicial de 2,97 mm que se encuentran en el sustrato previo al trasplante, que se obtiene con una densidad aparente de 0,083 (Soto-Bravo, 2021) que debe de ser contemplado en el valor total del RNR. El comportamiento de este a lo largo del ciclo fenológico se observa en la Figura 38.

A pesar de que el patrón de las temperaturas para todos los tipos de nave es estadísticamente equivalentes, la humedad relativa no presenta el mismo comportamiento, por lo que se procedió a realizar seis modelos en el software AquaCROP. Cada una responde a una de las seis naves de ambientes controlados estudiadas. A continuación, se muestran los resultados de los requerimientos hídricos netos las modelaciones balance hídrico y producción (biomasa), estos se muestran de manera resumida en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de la modelación con el programa AquaCROP para cada uno de los ambientes controlados.

Unidad productiva	Condición	Requerimiento Neto (mm)	Biomasa (ton/ha)	Dry Yield (ton/ha)
30	Abierto	409,870	10,622	4,857
24	Abierto	425,170	9,475	4,490
34	Abierto	426,470	10,075	4,608
6	Cerrado	350,670	10,558	4,827
33	Cerrado	426,470	10,075	4,608
11	Cerrado	426,370	9,731	4,507
Promedio		410,837	10,089	4,650

De acuerdo con Barba-Quiles (2015) y Ordóñez-González (2018), el requerimiento neto de riego para el cultivo de fresa es de 7057 m³/ha y 5048,9 m³/ha (equivalente a láminas entre 705,7 y 504.89 mm) respectivamente. Ordóñez-González (2018), indica que la demanda diaria máxima del cultivo es de aproximadamente 18,5 mm. Considerando que el promedio del RNR de las seis naves responde a 410,837 mm, el volumen de agua requerido a lo largo del ciclo es de 4108,37 m³/ha, lo que se encuentra por debajo de lo indicado anteriormente.

Realizando la comparación entre los valores obtenidos de las naves con estructura cerrada y abierta, se logra observar, en las gráficas mostradas en la Figura 37 y la Figura 38, que no se aprecia una relación entre el tipo de estructura y el RNR, además de que la mayor demanda hídrica responde a las etapas de crecimiento vegetativo de la planta (alrededor del día 66 posterior al trasplante).

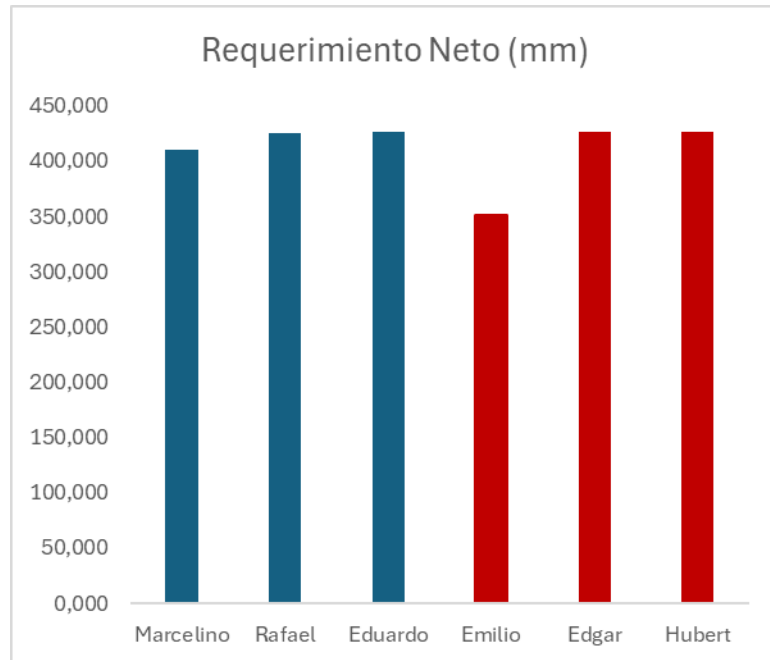


Figura 37. Comparación del requerimiento neto de riego entre tipo de estructura (rojo representa los ambientes protegidos con pared y azul a los que no poseen pared).

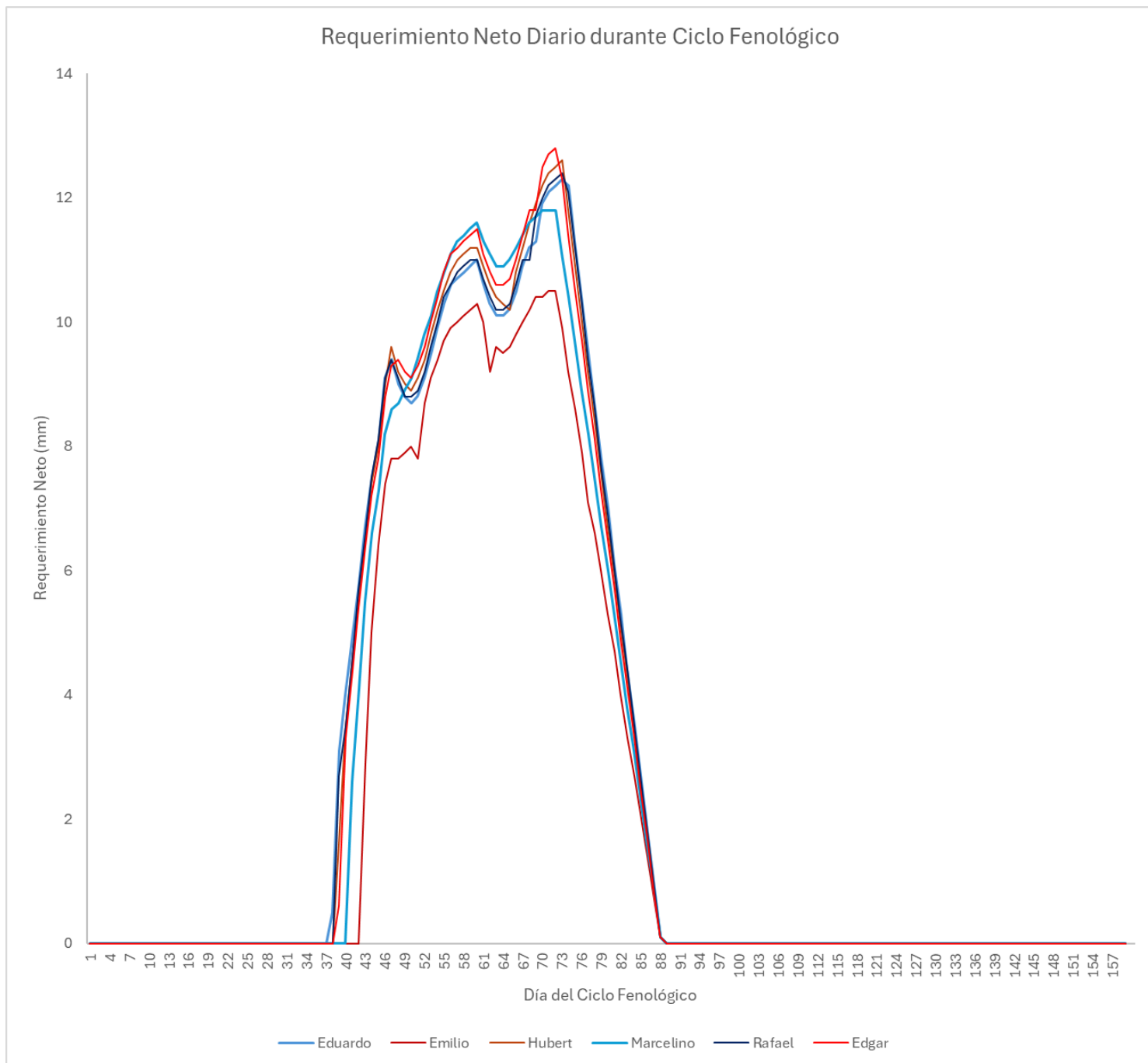


Figura 38. Requerimiento hídrico neto diario en el ciclo fenológico por productor.

4.7. Entrevista Semiestructurada sobre el consumo del recurso hídrico y el manejo agronómico.

La información suministrada por los usuarios permitió conocer el manejo agronómico a lo interno de los ambientes controlados, para determinar frecuencias y duración de los riegos,

con lo cual se pudo calcular de forma indirecta los volúmenes de agua realmente aplicados, los cuales son contemplados en el suministro relativo de riego (SRR). El día 17 de octubre de 2023 se visitó la Finca Gamaliel junto con personal del INDER y del SENARA. De las 24 parcelas en producción, únicamente se realizó la entrevista a 17 productores que se presentaron, un representante por parcela. De esta se recopiló la información pertinente para el estudio de la eficiencia del sistema de riego. A pesar de que solo se presentó un 70% de los productores a evaluar, esta cantidad es equivalente a una muestra con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 14%, lo cual es admisible para propósitos de esta entrevista.

4.7.1. Sobre el Productor y la Parcela

De acuerdo con *Gutiérrez-López (2015)* y el *MAG (S.F.)*, la producción de fresa medianamente tecnificada, ronda entre 30 ton/ha (3,0 kg/m²) y 70 ton/ha (7,0 kg/m²) aproximadamente. Según lo indicado por los productores entrevistados, ellos perciben una producción con una eficiencia baja, lo cual se demuestra en la gráfica mostrada en la Figura 39.

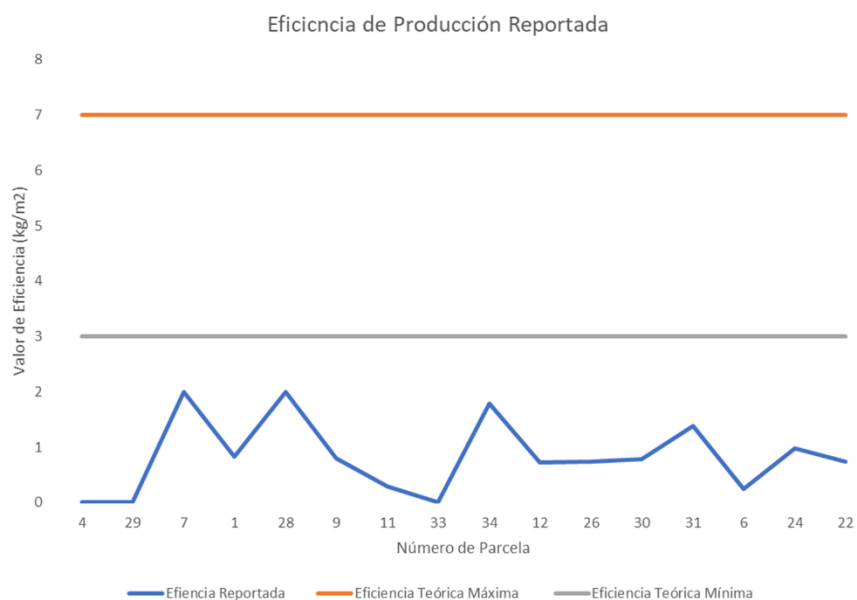


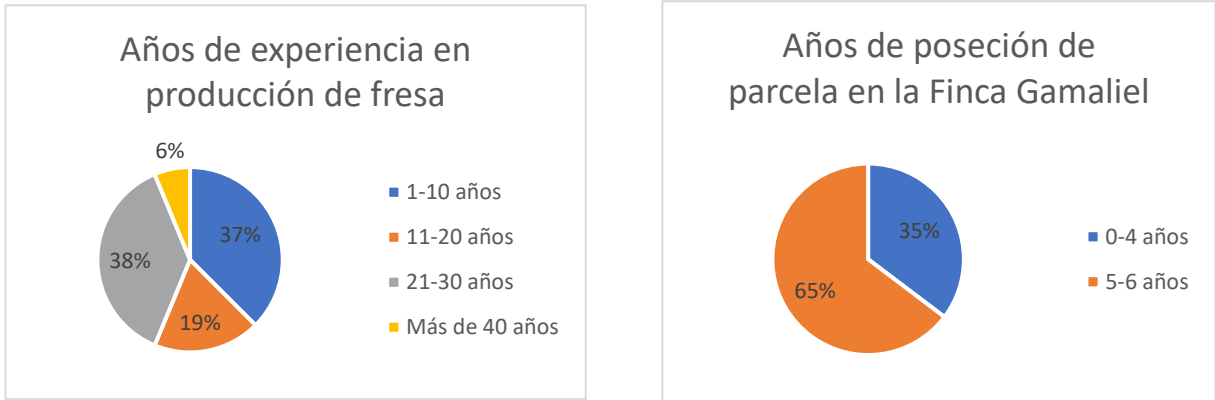
Figura 39. Producción anual de acuerdo con el área asignada a cada productor.

La eficiencia reportada en la Figura 39, se calculó con base a las respuestas de los ítems 2 de la parte I y 6 de la parte II de la entrevista realizada, sobre la producción anual (Anexo III). Para ello se recurrió a la siguiente ecuación:

$$Eficiencia = \frac{Producción\ Anual\ (kg)}{Área\ de\ Producción\ (m^2)} \quad (8)$$

Para el caso de la experiencia de las personas productoras en el cultivo en cuestión, se obtienen los resultados mostrados en las gráficas a) y b) de la Figura 40. Estos resultados

permiten identificar que existe experiencia en el manejo de la producción de fresa dentro de la Finca Gamaliel. El conocimiento adquirido por los productores llevó a determinar que el trabajo en sistemas hidropónicos es más rentable que el que se realizaba en el suelo para este tipo de cultivo. Figura 40



a) Experiencia en producción de fresa

b) Años de producción de fresa en la Finca Gamaliel

Figura 40. Experiencia de las personas productoras en producción de fresa.

De acuerdo con la estructura del invernadero, representa un factor decisivo en la toma de decisiones del análisis en general. En la Figura 41 se logra observar en porcentaje que las estructuras que incorporan paredes son las más frecuentes en la finca. Para la pendiente del terreno, se pueden observar en la gráfica mostrada en la Figura 41 que en su mayoría poseen una pendiente considerable que corresponde con la topografía del terreno.

Tipo de Estructura de los Invernaderos

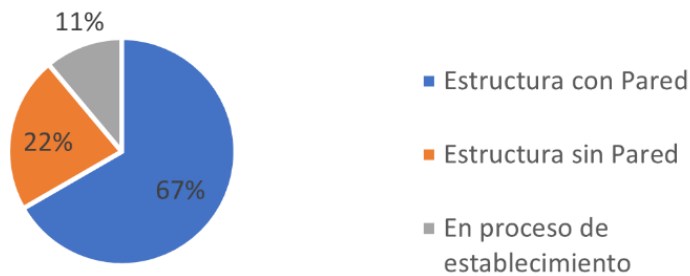


Figura 41. Tipo de estructura de los invernaderos.

4.7.2. Sobre el Producto *Fragaria ananassa L*

En lo que respecta a la semilla utilizada, la totalidad de las personas productoras indicaron usar la misma variedad de fresa. La variedad San Andrea se logra obtener por dos medios, de manera nacional e importada. En la Figura 42, se muestra la procedencia de la semilla de las personas productoras encuestadas. Este aspecto de uniformidad en la especie en el área de estudio, permite simplificar la modelación a características únicas de una sola planta para todo el estudio.

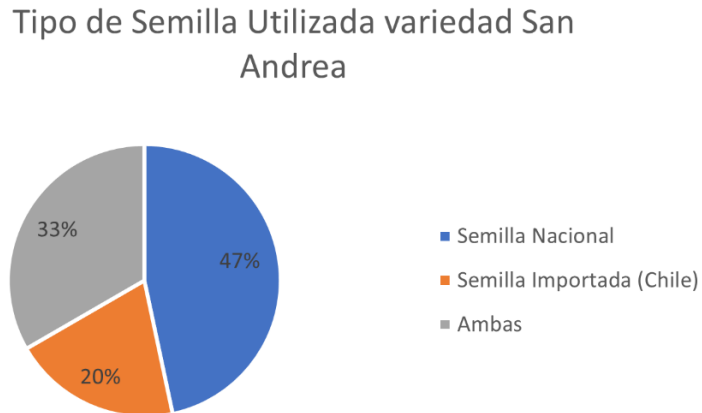


Figura 42. Procedencia del tipo de semilla utilizado.

A pesar de que la mayoría de la semilla utilizada (47%) es de origen costarricense, los productores prefieren la semilla internacional debido a su rendimiento, pero por motivos de costos, recurren a la nacional o a una combinación entre ambas. Cabe destacar que, para el caso de la semilla nacional comprada en Cartago, desde su siembra hasta su cosecha hay un tiempo aproximado de dos meses y medio. La semilla importada proviene de Chile, que tiene un tiempo de unos cinco meses para obtener su primera cosecha.

A pesar de que el tiempo de cosecha de la semilla internacional es mayor, se obtuvieron eficiencias mediante la ecuación 8 considerando la cantidad aproximada de plantas por parcela, mayores que la nacional. Para esto se tomaron los datos de producción anual (kg) y la cantidad de plantas productivas estimadas por cada productor en el ítem 10 de la parte II de la entrevista (Anexo V).

Comparando únicamente las parcelas que se dedican de manera exclusiva a un tipo de semilla (nacional o importada), el rendimiento promedio anual por planta para la semilla de origen nacional fue de 0,03 g, mientras que para la semilla importada fue de 0,24 g. Debido a que los valores proporcionados de plantas por parcela fueron valores aproximados, se desconoce la cantidad de plantas de origen de semilla nacional y de internacional que se encuentran en las parcelas que utilizan una combinación de ambas, por lo que no se puede determinar la incidencia del tipo de semilla en la eficiencia de estas parcelas.

Un factor importante que genera un sesgo en la obtención de la información radica en que la mitad de los productores no lleva un adecuado control de su producción mediante el uso de bitácoras. Por lo tanto, la producción anual y la cantidad de plantas son estimaciones brindadas por cada productor al momento de la entrevista, los cuales no fueron verificados.

En cuanto al comportamiento de la producción, con relación al ítem 8 de la parte II, se indicó que los meses donde se obtiene mayor cantidad de producto entre Febrero y marzo pertenecientes a la época seca, como se muestra en la Figura 43. El pico de producción se da en marzo con un 30% de las respuestas (12), y por lo tanto las labores culturales de cosecha aumentan exponiendo a las plantas a daños físicos por la interacción directa entre esta y el cosechador.

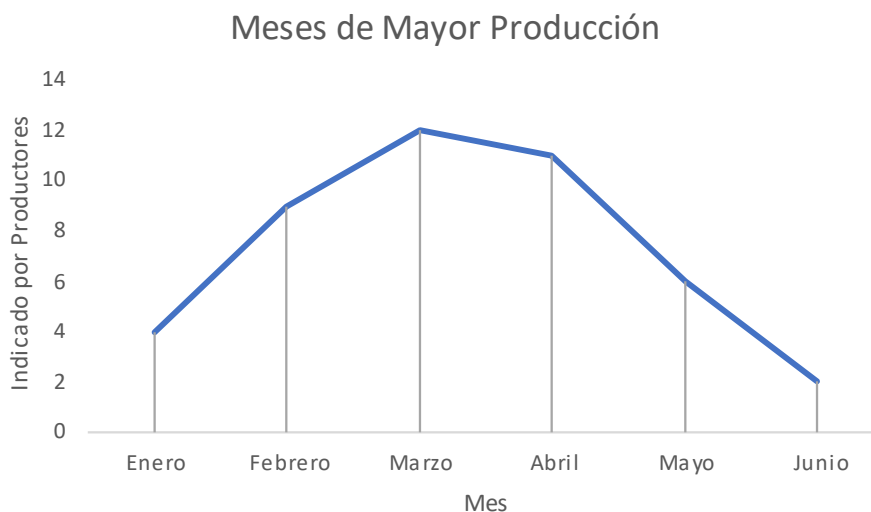


Figura 43. Meses de mayor producción.

Una vez que la planta concluye dos ciclos reproductivos, se procede a realizar el renuevo del cultivo, suplantando las sacas con fibra de coco (incluidas las plantas), alrededor de 18 meses. El promedio del número de plantas que posee cada productor en producción es de 34 500. La máxima posesión de plantas es de 70 000 y el de menor posesión cuenta con 4 500 plantas.

4.7.3. Sobre el Sistema de Riego

Un 50% de los productores entrevistados aseguraron recibir cursos de capacitación sobre el uso de sistemas de riego presurizados. Lo cual es un factor importante debido a que, en la Finca Gamaliel, todas las producciones cuentan con sistemas de riego por goteo. Cabe mencionar que los productores que no recibieron dichas capacitaciones indicaron que su conocimiento en riego lo fueron desarrollando empíricamente.

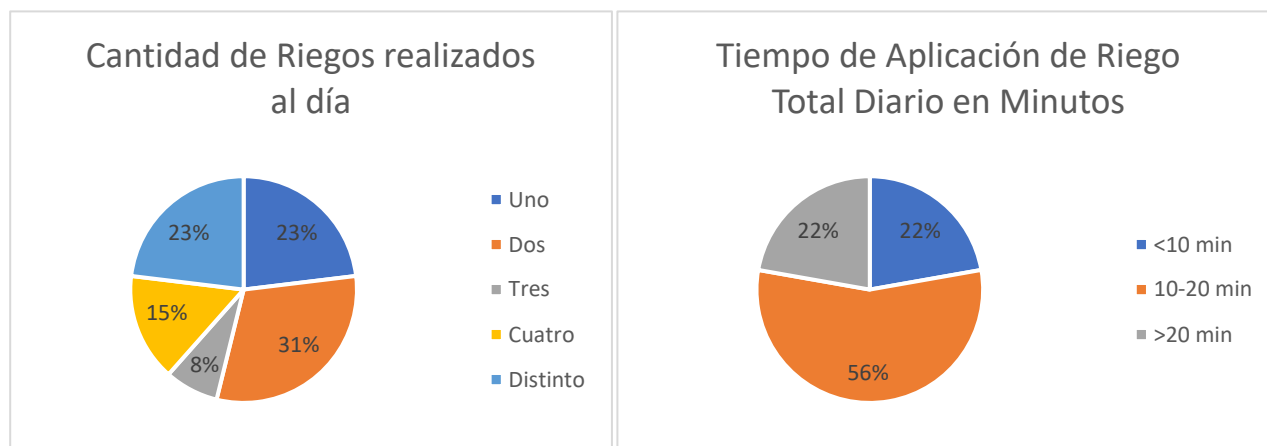
De los encuestados se distinguió una escasa necesidad de bombas para realizar el riego. Solamente tres de los 16 productores aseguraron contar con equipo de bombeo. Dos de estos

emplean bombas de 2 HP, y el otro productor emplea una bomba de 7 HP. Los productores mencionados no establecieron una estrategia técnica empleada para la selección del equipo.

En la Figura 44 a), se aprecia la distribución de aplicaciones de riego de acuerdo con los productores entrevistados. El riego diario, cada productor lo realiza en distinto número de aplicaciones a criterio propio. El 31% de los productores entrevistados afirmó realizar el riego dividido en dos aplicaciones, siendo el esquema más empleado. Es importante considerar que el 23% de los entrevistados que lo realizan solamente con una aplicación, indicaron que lo hacen de esta manera debido a que visitan una vez el cultivo al día.

Los productores que dividen el tiempo de riego en cuatro aplicaciones (15%) afirmaron que identificaron indicadores visuales en las plantas y frutos que denotaban una deficiencia de nutrientes. Por lo tanto, distribuyeron el tiempo total de riego en cuatro aplicaciones para reducir la rápida filtración identificada en la parte inferior de las sacas plásticas que contienen la fibra. De acuerdo con su criterio, el agua ‘lavaba’ los fertilizantes aplicados y por tanto identificaron mejoras con dicha práctica de las labores de irrigación.

Un 56% de los productores realizan el riego en un período de entre los 10 minutos y los 20 minutos (mostrado en la Figura 44 (b.)). Algo importante es que no se determinó una correlación entre la cantidad de aplicaciones realizadas y el tiempo de duración del riego.



a. Cantidad de veces que se realiza el riego de forma diaria. De 1, 2, 3, 4 y más de 5.

b. Tiempo de duración de las aplicaciones de riego. Se divide en tres grupos, menores a 10 minutos (<10min), de 10 a 20 minutos y tiempos mayores a 20 minutos (>20 min).

Figura 44. Detalles del uso del sistema de riego para las aplicaciones

En lo pertinente a los horarios en los cuales se realizan las aplicaciones de riego en la Finca Gamaliel, la mayoría de los productores (55%) no tiene un horario definido para realizar las labores de irrigación, si no que, depende del momento en el que visiten la parcela, por lo cual no se puede asociar los resultados obtenidos respecto a las horas de irrigación. Aunque sí se conoce que prefieren realizar los riegos en horas de la mañana.

El restante 45% de los productores, sí tienen un horario establecido para regar. De este grupo el 36% lo realizan en horas de la mañana, mientras que el otro 9%, en horas de la tarde. Tal y como se muestra en la Figura 45.

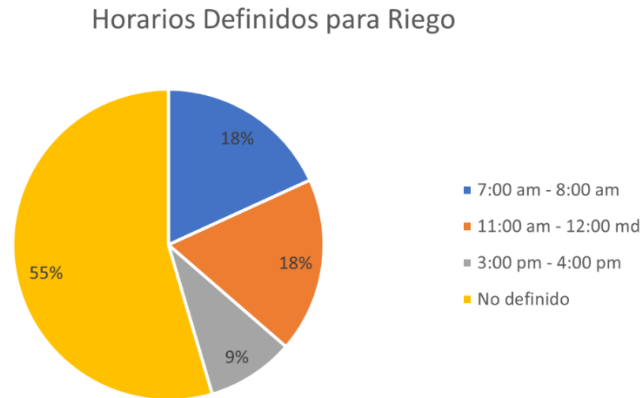


Figura 45. Horarios definidos por los productores para realizar las aplicaciones de riego.

Según el ítem 8 de la parte III de la entrevista realizada (Anexo V) respecto a la toma de decisión sobre las horas de aplicación, solo uno de los productores indicó que realizaba las labores según lo recomendado por un ingeniero. Esto considerando las necesidades hídricas del cultivo, así como también lo recomendado por el tipo de siembra en sustrato.

Del resto de los productores, se obtuvieron dos respuestas distintas; el riego se realiza por disponibilidad del operario o, que lo realizaban por decisión propia y costumbre. Esta segunda contempla el tiempo atmosférico y condiciones climáticas dentro del ambiente protegido. Además, mencionaron que, para iniciar la aplicación del riego, se ‘guiaban’ de acuerdo con estado de las hojas de las plantas (Turgencia en las hojas determinada por su experiencia empírica) que indica la necesidad hídrica de estas.

Relacionado con la incidencia del estado del sistema de riego en la eficiencia de este, se determinó que solamente cuatro productores respondieron que el sistema de riego que tienen se encuentra en buen estado (Figura 46). Ya que como se muestra en la Figura 47, un 62% de productores no realizan limpieza de las tuberías representando una problemática grave por tratarse de sistemas de riego por goteo dado a la alta ocurrencia de bloqueos en las boquillas, lo que reduce la uniformidad de aplicación en toda la Finca Gamaliel



Figura 46. Estado de los sistemas de riego.

Elaboración de Limpieza de Tuberías

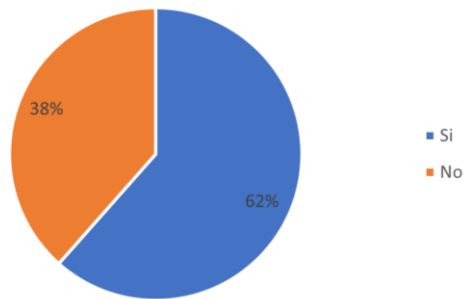


Figura 47. Elaboración de lavados a las cintas y boquillas del sistema de riego.

Otros factores consultados fueron la utilización de filtro, la identificación periódica de existencia de fugas, uso de reservorio, el interés de una capacitación y la presencia de plagas (ítems 9, 10, 11, 13 y 14 parte III de la entrevista Anexo V). Para estas preguntas, se consideraron los parámetros clave para la toma de decisión sobre el objetivo propuesto. Estos constaban de la necesidad de capacitación por parte de los productores, la identificación de fugas, de plagas; si realizaban uso de un filtro en el sistema de riego y si contaban con un reservorio. Otro factor importante que se recopiló en la entrevista fue la reducción de consumo al implementar sistemas de riego presurizado, a lo que la totalidad afirmó ver una disminución de uso del recurso hídrico.

Respecto a la identificación de plagas, 11 de los 17 productores entrevistados, indicaron poseerlas, pero solamente tres de los entrevistados mencionaron plagas que comúnmente han evidenciado en los cultivos: *Jogotos*, *Ácaros* y *Gusanillo Polilla*. Estas plagas de acuerdo con *Giménez et al* (2003), son comunes y tratables con un adecuado esquema de plaguicidas. Esta baja incidencia no representa una disminución sensible en la producción de fresas en Gamaliel, por lo que no influye en el modelado del requerimiento hídrico en AquaCROP.

4.7.4. Sobre la Sociedad de Usuarios de Agua de la Finca Gamaliel

La SUA de la Finca Gamaliel, fue creada con el fin de administrar el recurso otorgado por la concesión brindada por el MINAE. No obstante, al no haber actualmente un aprovechamiento de la concesión otorgada en la quebrada *Piedras Negras* la SUA se encarga de las labores necesarias para administrar el agua que ingresa a la finca de otras fuentes de agua y colaborar con las necesidades, problemáticas y manejo comunal a lo interno de la Finca Gamaliel. Por esta razón se consultó a los entrevistados sobre la organización entre los usuarios y la existencia de un cronograma de riego como sociedad. La distribución de respuestas se muestra en la Figura 48, sin embargo, se conoce que no existe un cronograma a pesar de que un 31% de los productores afirmaron conocerlo, lo que muestra falta de organización y comunicación entre los afiliados.

La carencia de un cronograma de riego a nivel de la SUA representa un riesgo para la suplencia hídrica de los cultivos, porque al demandar distintos usuarios el recurso al mismo tiempo, pueden sufrir de escasez. Situación que se puede agravar ya que se plantea a futuro la incorporación de más usuarios en la Finca Gamaliel. Esto identifica la necesidad de conocer si la fuente de agua actualmente se utiliza logra suplir o no las necesidades hídricas, ya sea por la demanda de los cultivos o por un mal manejo del recurso.

Una vez que se implemente la infraestructura de captación, depuración, conducción y distribución de agua con el caudal concesionado por 15,72 L/s, desde la quebrada Piedras Negras, el SENARA aportará un cronograma de riego acorde a las necesidades de demanda para cada unidad productiva. Dadas las limitaciones de abastecimiento de agua de otras fuentes y no tenerse certeza del caudal que realmente ingresa a la finca, este cronograma no ha sido posible establecerlo.

Existencia de Cronograma de Riego

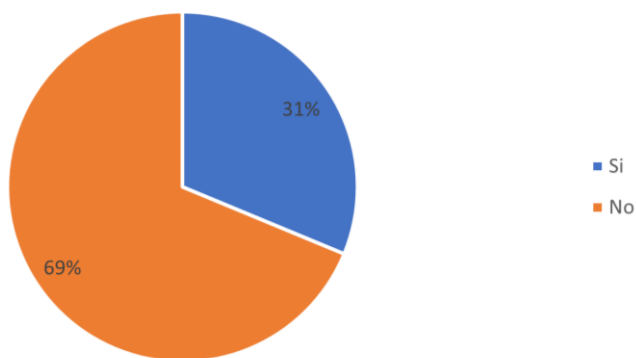


Figura 48. Mención de existencia de un cronograma de riego definido por la SUA de la Finca Gamaliel.

Se categorizó la calidad del agua empleada para riego que reciben por la concesión como se muestra en la Figura 49. Como resultado, diez de los productores se mostraron satisfechos con

el servicio considerando que el monto mensual para el uso del agua está establecido en 5 000 colones siendo considerada una buena relación calidad-precio.

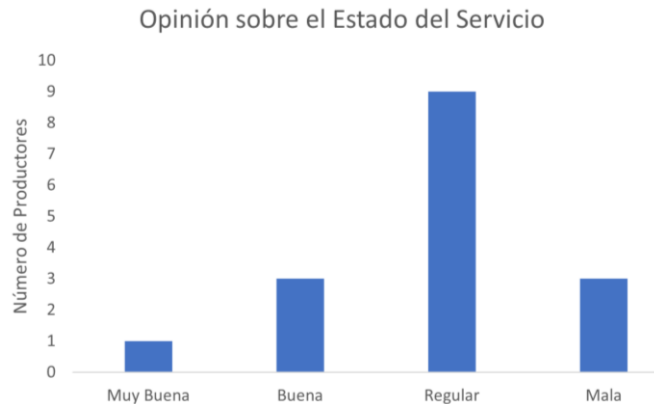


Figura 49. Calidad del servicio de transporte hídrico.

Respecto al diseño de la red de tuberías principal, también se dialogó sobre la existencia de fugas que pudiesen afectar el caudal. A lo consultado, solamente uno de los productores indicó que había localizado una. Por lo que se puede considerar despreciable el aporte de pérdidas por fugas en la red principal. No obstante, las pérdidas por fugas dentro de las naves si pueden ser representativas en la evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen. Este indicador se determinará más adelante en la sección 2 del presente documento.

El tipo de siembra en la Finca Gamaliel ha evolucionado hacia una plantación de tipo hidropónica de acuerdo con lo que mencionaron los productores. Para ello, se consultó cuantos de ellos aún realizaban el cultivo en suelo y cuantos cultivan en sacas con fibra de coco. Los resultados se muestran en la Figura 50. Este factor es importante, ya que las cualidades de ambos tipos de siembra son decisivas al momento de realizar la evaluación de eficiencia del sistema de riego, considerando la permeabilidad y la retención hidráulica de cada uno.

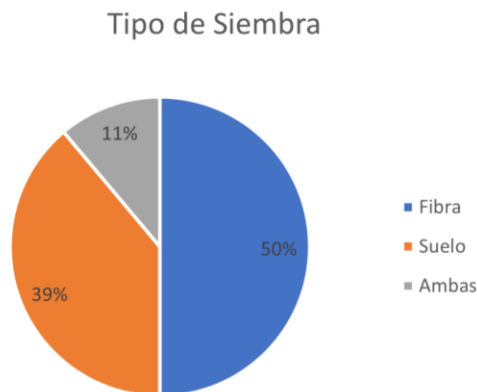


Figura 50. Modalidad de siembra.

Según el representante del INDER, solamente siete de los productores (39% en la Figura 50) no utilizan la metodología hidropónica en sacas de sustrato de fibra de coco, si no que trabajan directamente en el suelo, motivo por el que se está trabajando en la implementación de fibra de coco para estos productores con el fin de homogenizar el uso de este sustrato en toda la Finca Gamaliel. Este 39% y el 11% que emplean ambas metodologías, afirmaron que realizarán el cambio a sistema hidropónico cuando su economía se los permita.

En lo que respecta al número de plantas que se pueden sembrar por saca, de los siete productores que respondieron el ítem 1.i de la parte V de la entrevista (Anexo V), que trataba sobre la cantidad de almácigos que pueden ser colocados en una saca, uno indicó que colocaba nueve, otro indicó que ocho y el resto afirmó que colocaban siete plantas. Por lo tanto, se puede creer que en promedio cada saca puede cubrir siete plantas al momento de producción.

Respecto a la conductividad eléctrica, que es un factor decisivo en la metodología de cultivo hidropónico, se consultó a las personas entrevistadas sobre el conocimiento y medición de esta. Seis de los productores que cultivan en fibra indicaron que sí conocían sobre la conductividad eléctrica, los otros cinco desconocen del concepto. A los seis que conocen el término, se les preguntó si realizaban la medición de esta y solamente dos de los seis indicaron no llevar un control. Esto repercute no solo en el pH del agua, también, en la calidad del fertirriego aplicado.

4.7.5. Sobre las Labores Culturales

Este apartado, solamente se profundizó en dos temáticas: las personas que tienen acceso a la producción durante las labores de cosecha y las labores de fertilización. La primera se consideró por la incidencia del proceso de cosecha sobre las plantas y el conocimiento que se debe tener al momento de realizarse; la segunda por la conexión directa de los procesos de fertilización con el estado del cultivo.

La población que realiza la cosecha se dividió en tres categorías: familiares, colaboradores y ajenos. Este último considerando que existen parcelas que ofrecen actividad turística que incluye la cosecha por los visitantes. Por lo tanto, el conocimiento de cómo debe de ser la interacción con la planta al realizar las labores representa una variable importante en cuanto a los daños físicos que puedan sufrir las plántulas.

Se identifica que seis de las parcelas productivas tienen un carácter de producción familiar, seis requieren de contratar terceros en las fechas de cosecha y solo dos parcelas tienen un área del cultivo establecida para los visitantes, esto se muestra en la Figura 51. Es importante considerar que las dos parcelas que ofrecen los servicios turísticos establecieron áreas menores a un sexto del área total de la parcela, por lo que la incidencia en el requerimiento hídrico de las plantas en estas áreas es despreciable al evaluar la totalidad del área productiva de toda la Finca Gamaliel.

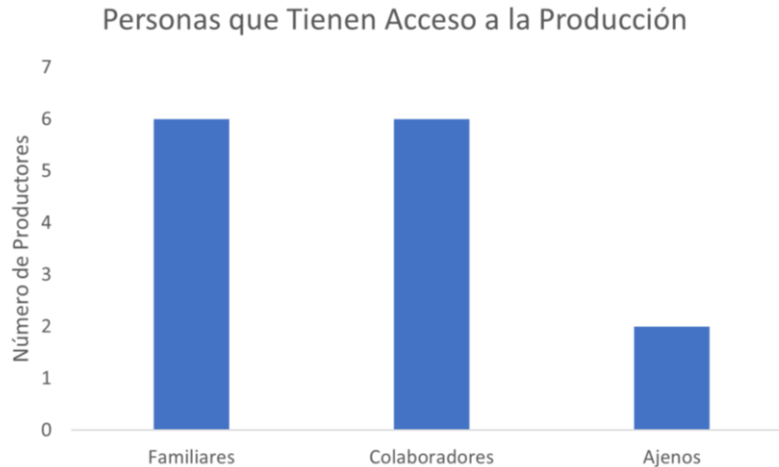


Figura 51. Categoría de personal que tiene acceso al cultivo.

La otra temática evaluada fue la aplicación de fertilizantes. Todos los entrevistados afirmaron utilizar fertilizantes. No obstante, el ítem 2 de la parte V de la entrevista (Anexo V) se realizó la consulta respecto a la metodología empleada al realizar las aplicaciones, por lo que la desviación de la pregunta no permitió adquirir la información pertinente sobre el uso del fertirriego y su incidencia en los sistemas de riego.

4.8. Cálculo Suministro Relativo de Riego

El suministro relativo del riego obtenido para la Finca Gamaliel se muestra en la Tabla 9. Donde se realizó el cálculo para seis parcelas, de las cuales, tres corresponden a ambientes controlados abiertos y tres a ambientes controlados cerrados. Se puede apreciar en la tabla mencionada. Sin embargo, en ambos casos el resultado es superior a uno, mostrando en cada caso, que se está aplicando más agua que la cantidad mínima requerida por los cultivos para satisfacer la demanda hídrica bajo las condiciones de ambiente controlado para el cultivo de fresa.

Tabla 9. Resultados del Suministro Relativo de Riego.

Unidad Productiva	Condición	Requerimiento Neto Teórico (mm)	Agua Entregada (mm)	SRR	Desviación Estandar	SRR
30	Abierto	409,870	1921,210	4,690		
24	Abierto	425,170	1921,210	4,520	0,100	4,570±0,1
34	Abierto	426,470	1921,210	4,500		
6	Cerrado	350,670	1921,210	5,480		
33	Cerrado	426,470	1921,210	4,500	0,560	4,83±0,56
11	Cerrado	426,370	1921,210	4,510		
<i>Promedio</i>		410,837	1921,210	4,700		

Los resultados en la Tabla 9 muestran que el *Suministro Relativo de Riego* para los ambientes protegidos sin paredes es de $4,57 \pm 0,1$ y para los ambientes protegidos con paredes es de $4,85 \pm 0,56$, lo que resulta en un SRR promedio para la Finca Gamaliel de $4,70 \pm 0,39$. Se muestra existe una variación de los datos mayor en cuanto al SRR en los ambientes protegidos cerrados en comparación a los abiertos.

Benavides-Valverde et al (2021) mencionan que los indicadores se emplean para evaluar el desempeño de sistemas de riego complejos, patrones de cultivo y estructuras organizativas, utilizando datos de entrada mínimos y comprensibles. Uno de los indicadores principales para evaluar la adecuación del suministro de agua de riego en la producción agrícola es el suministro relativo de riego (RIS), que se define como la relación entre la cantidad de agua entregada y el requerimiento neto de riego del cultivo.

El RIS proporciona información sobre si hay sobre o subirrigación, dependiendo de cuán cerca estén la oferta y la demanda de agua (*Molden et al., 1998*). No se puede calificar una irrigación como buena o mala simplemente por aplicar más o menos agua que los requerimientos netos de riego. La irrigación deficitaria ($RIS < 1$) puede ser una estrategia planeada (*Fereres y Soriano, 2007*). A veces, es necesario aplicar más agua de la necesaria para satisfacer la evapotranspiración potencial del cultivo ($RIS > 1$), ya sea para lixiviar sales o como una estrategia de recarga planificada de aguas subterráneas para garantizar el suministro de agua durante periodos de escasez (*Ayers y Westcot, 1985; Letey et al., 2011*). Sin embargo, el requerimiento neto de riego es un valor objetivo, útil como referencia en la evaluación del rendimiento, ya sea como objetivo de profundidad de riego o como punto de partida para estrategias de sobre o subirrigación.

Benavides-Valverde (2020) indica que un SRR mayor a uno puede deberse a la necesidad de compensar estas pérdidas y asegurar que el cultivo reciba la cantidad óptima de agua para su crecimiento, por lo que se debe estudiar las brechas de rendimiento obtenidas en cada sistema productivo analizado, principalmente en las regiones tropicales, donde este autor además señala que la baja productividad en el trópico y el alto valor generalizado del SRR, a pesar de las condiciones favorables de temperatura y radiación solar, se deben principalmente a problemas agronómicos, alta variabilidad de la humedad relativa, uso insuficiente de fertilizantes, uso desmedido en agroquímicos y las plagas y enfermedades exacerbadas por la alta humedad. Además, la inversión en investigación por trabajador agrícola es considerablemente menor en estas regiones en comparación con los países de climas templados.

Para el caso de la Finca Gamaliel, es importante considerar que el diseño del sistema de riego fue diseñado considerando una toma de agua proveniente de la quebrada Piedras Negras con un caudal total de 20,71 L/s. Dicho caudal tenía la finalidad de ser bifurcado para dos proyectos hídricos por lo que para la Finca Gamaliel únicamente se otorgó un caudal de 15,79 L/s reduciendo así el potencial de la concesión otorgada en ese momento, representando un serio déficit.

Lozano et al (2016) realizaron un estudio para determinar el uso consuntivo del agua para el cultivo de fresa que determinó que el valor de la Kc establecido para el cultivo. Este posee una

demanda hídrica determinante y para un rendimiento productivo bueno del 85% la aplicación promedio de agua debe de ser de 5 500 m³/ha, cuya comparación con el valor obtenido se discutirá más adelante.

Las respuestas al crecimiento en distintas condiciones de disponibilidad de agua establecen que existe una relación proporcional con el crecimiento vegetativo y con la calidad y tamaño del fruto, pero principalmente en la ET₀. No obstante *Martínez-Ferri et al* (2015) identificaron que si bien es cierto que lo ideal es que el cultivo mantenga las condiciones naturales óptimas de balance hídrico, no es necesariamente una mayor eficiencia hídrica la que favorece una mayor o mejor producción intensiva. En esta misma línea *Fereres y Soriana* (2007) detallan que la irrigación deficitaria, definida como la aplicación de agua por debajo de los requerimientos hídricos completos del cultivo (evapotranspiración), es una herramienta importante para lograr el objetivo de reducir el uso de agua de riego. En Costa Rica, no se han realizado estudios que determinen la respuesta del cultivo para determinar una lámina óptima.

El valor promedio del SRR de 4,70 indica que se está cubriendo el 100% de la demanda hídrica de la Finca Gamaliel, sin embargo, el excedente aplicado (SRR mayor a 1) no es aprovechado por el cultivo, pues cubre las pérdidas por posibles fugas en la conducción, fugas en los laterales y cintas de riego y principalmente el exceso en las láminas de riego de aquellas aplicaciones poco frecuentes de productores que continúan regando una vez al día o hasta 1 vez día de por medio, esto porque al presentar un sistema de siembra en bolsas con fibra, están son cercanas a 20 cm, por lo que todo el excedente no es retenido por la fibra, la cual como ya se explicó posee una baja retención de agua, y termina como escorrentía, afectando a aquellos que poseen una calendarización a lo interno de su parcela bien definida y sistemas automatizados para las aplicaciones. Lo cual coincide con lo reportado por los usuarios y por autoridades de riego en que no hay suficiente agua para una producción continua a lo largo del año de forma óptima. Además, se debe mencionar que el cálculo del SRR muestra el resultado promedio, sin embargo, algunos productores, sí alcanzan un suministro de riego cercano a 1, especialmente aquellos que si realizan riegos más frecuentes (más de 2 al día), y por periodos que permitan satisfacer la evapotranspiración de sus cultivos.

Un factor relevante para el SRR es la ET₀. Esta transpiración afecta de forma directa a la ET₀ debido a que aumenta proporcionalmente la temperatura. Los datos reportados por los sensores a lo interno de los ambientes controlados indican valores con un amplio rango de entre los 15°C y 45°C. Por ende, los resultados obtenidos para la modelación realizada en el software respondieron a valores de ET₀ de 7,3 (adimensional, calculada mediante el método de *Penman-Monteith*) como máximo, sugiriendo que entre mayor la temperatura, mayor será la necesidad hídrica del cultivo.

Con el fin de analizar los factores que afectan el SRR, *Benavides et al* (2021) mencionan que las principales influencias de las que depende el SRR en distritos de riego alrededor del mundo son: la red de distribución de agua (canal abierto, tubería presurizada, o un híbrido en la conducción), el sistema de riego empleado (por gravedad, por goteo, por aspersión, por aspersión y goteo, o combinación de presurizado y por gravedad), la región del mundo donde se aplique (*América latina, Europa/Norteamérica, Sudeste asiático, Medio oriente o África Subsahariana*),

el calendario de entregas de agua (a demanda, por rotación o acordado), la latitud (°) y la precipitación de la zona (mm) y muestran un modelo que permite predecir un valor de SRR en función de las variables mencionadas. Según la ecuación de Benavides (8) con los valores estipulados para cada parámetro (véase Anexo VI), en la Finca Gamaliel, tomando en consideración que la distribución de agua se da en conducción cerrada, con un sistema de riego por goteo, la latitud es de 10°10", un calendario de entrega de agua a demanda (donde cada usuario riega el tiempo que desee) y una precipitación promedio de 3390 mm anual en la zona debería poseer un valor de SRR de 5,63. Este valor poco superior al obtenido de 4,7, refleja primero la condición general que se daría con las condiciones que la Finca Gamaliel sin limitaciones del recurso hídrico, y segundo, que este modelo considera las pérdidas obtenidas en cada región considerando el manejo tradicional de los distritos de riego al rededor del mundo.

$$SRR = \alpha + \beta_p P + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (8)$$

Donde:

α = Valor de intercepto = 1.372598

P = Precipitación anual (mm) de la zona = 3390 mm

β_p = Coeficiente de regresión para precipitación 0.001324 1/mm

β_n = Coeficiente de regresión = 1,0

X_1 = -0.391402 para calendario a Demanda

X_2 = -0.091778 para riego por goteo

X_3 = -0.212737 para red cerrada de distribución de agua

X_4 = 0.207718 para región de América latina

X_5 = 0.260862 para ambientes protegidos

La reducción cercana a 1 punto en el SRR entre el valor medido y el calculado con la ecuación 8 muestra que se ha trabajado en reducción del consumo de agua por parte de las autoridades y de la SUA, el cual es un trabajo siempre continuo en procura de la optimización de recurso hídrico que, bajo el análisis del presente trabajo, puede reducirse considerablemente contemplando una calendarización de las aplicación de riego buscando 2 o más aplicaciones (de no más de 5 minutos cada una) diarias por productor definiendo franjas horarias para cada uno en láminas mínimas que puedan ser retenidas por el sustrato usado, la eliminación de fugas de agua en las líneas de goteo, la implementación de controles automatizados de los sistemas de riego en todos los productores (Se podría lograr la disponibilidad de aplicaciones de riego las 24 horas del día para satisfacer todas las necesidades de riego de los usuarios) y principalmente garantizando una fuente de agua segura para la Finca Gamaliel que permita eliminar la

incertidumbre en los usuarios y les permita realizar obras complementarias como reservorios que a su vez continuaría reduciendo el valor de SRR. Estas medidas permitirían una dependencia menor al caudal de entrada, sin embargo, implicará en algunas de ellas, una inversión considerable para los usuarios y principalmente. La presente investigación destaca la importancia de formalizar una concesión de agua para un grupo de agricultores. La falta de una concesión formal crea una alta incertidumbre que, a su vez, resulta en un uso ineficiente del agua y mayores costos asociados. Contar con una concesión oficial ayudaría a optimizar el uso del recurso hídrico y reduciría la incertidumbre y los gastos relacionados, además de optimizar el recurso hídrico de la zona.

4.9. Cálculo de la Capacidad de Entrega de Agua

Considerando un área promedio de 7000 m² por usuario y contemplando una máxima demanda en donde los 24 usuarios se dispondrían a regar un día esto da como resultado un caudal para finca Gamaliel de 1226,4 m³/día. En cuanto a la máxima entrega de agua del sistema de riego de la Finca Gamaliel se utiliza el valor de 15,79 L/s equivalente a 1364,26 m³/día. Existiendo entonces, una capacidad de entrega de agua para la finca Gamaliel de 1,13. Es decir, el caudal asignado mediante la concesión por el MINAE satisface las necesidades hídricas de la Finca Gamaliel.

De manera porcentual 113% es la capacidad que posee en sistema para suplir la demanda, lo que puede considerarse como idóneo de acuerdo con *Sibale et al* (2021), el desempeño del sistema se considera como justo, no obstante, eso no afirma que el agua aplicada al cultivo sea conducida de manera uniforme. Una de las principales afectaciones de reducción de la capacidad y eficiencia del sistema para entregar el agua, es lo que respecta a los factores hidráulicos, ya que una obstrucción en tuberías o daños en las mismas pueden reducir de manera drástica la capacidad de entrega de agua del sistema, considerando que la “brecha” para solventar pérdidas es únicamente de un 13%.

Este margen de 13 % debe considerarse para el momento de mayor demanda hídrica en el año, pero, aunque se supedita a un periodo breve de tiempo, esto supone que varios días antes o después al día de mayor demanda, esta será muy alta. Además, al considerar el valor de SRR y el CEA, este margen mencionado se podría sopesar mediante una calendarización de los riegos de forma establecida para cada uno de los 24 usuarios. Otra de las medidas que se pudiesen considerar serían las del uso de un medidor de flujo de agua en cada una de las parcelas que permita generar datos más precisos de los utilizados en cada una de las áreas.

VIII. Capítulo 5

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- La demanda hídrica del cultivo de fresa en la Finca Gamaliel obtenida mediante las modelaciones responde a un total de 410,84 mm de lámina para la suma de las áreas de los seis ambientes controlados estudiados. Esto representa un volumen de 4108,37 m³, encontrándose muy por debajo de lo requerido para una producción óptima teóricamente para el cultivo. Individualmente se identificó que de acuerdo con el estadio fenológico los mayores requerimientos se dan iniciando en los días 31 y 33 del ciclo, en donde se inicia la floración, llegando al punto máximo entre los días 70-76 en donde se comienza a generar el crecimiento del fruto y decayendo entre los días 89 y 91.

- De la entrevista semiestructurada realizada se identificó que un 67% de las naves presentes en la finca poseen estructura cerrada, indicando interés en realizar el cambio los que actualmente no las tienen. Además de que casi el 100% de la producción se trabaja de manera hidropónica empleando la fibra de coco como sustrato. El rendimiento de la producción se encuentra muy por debajo del esperado teóricamente encontrándose con menos de 30 ton/ha anuales. La rentabilidad de la semilla nacional, a pesar de ser la que más prevalece, es 21 g menor de cosecha por planta que la semilla internacional obtenida de *Chile* variedad *San Andrea*. El promedio de plantas por parcela, que en promedio posee 0,7 ha es de 4 500 plantas. Los productores no mantienen una bitácora que pueda establecer información más exacta, lo que permite a su vez que existan falencias en las labores culturales y de producción. Los meses en los cuales se obtiene mayor cantidad de producción (al concluir el ciclo fenológico) son entre febrero y marzo siendo este último el más productivo.

- En lo que respecta a las labores de riego existen muchos puntos de mejora iniciando con que no existe una uniformidad en cuanto a la frecuencia de los riegos realizados, el tiempo de estos y sobre las afecciones sobre el drene de las fórmulas de fertilización. De manera general, en promedio se realizan entre dos y tres aplicaciones con un total de tiempo diario de 15 minutos. Estos son factores que afectan la demanda neta y la eficiencia del sistema, ya que no existe un horario que contemple el caudal y la cantidad de usuarios que lo utilizan al mismo tiempo. Además, la mayoría de los productores no mantienen labores de mantenimiento de los sistemas de riego mencionando que no se realizan lavados de las tuberías, presencia de fugas, uniformidad, entre otras. En resumen, un 62% de los usuarios indicaron que el estado del sistema se encuentra regular. Es importante destacar que lo que respecta a las tuberías que distribuyen el agua a lo interno de la finca, se encuentran en buenas condiciones.

- La *Sociedad de Usuarios de Agua* de la Finca Gamaliel como administradora del caudal con el cual se realizan las labores de riego, no tiene, a la fecha de esta redacción, un

cronograma de riego que permita organizar las aplicaciones entre usuarios para una mejor distribución hídrica.

- Las pruebas de uniformidad identificaron valores muy bajos que confirman el estado de los sistemas de riego acorde a lo establecido por los productores. Estas permitieron conocer el caudal de demanda y extrapolarlo por tipo de estructura. Las láminas aplicadas en promedio son de 113,77 mm por parcela con estructura con pared y 167,21 mm para las que no poseen laterales cubiertos.

- No existe un indicativo de que la estructura de ambiente protegido sea un parámetro que genere variación en el requerimiento hídrico, ya que las unidades productivas 6 y 33, ambas con estructura cerrada, fueron las que obtuvieron una menor y mayor demanda respectivamente.

- Las pruebas no paramétricas de Mood, permitieron identificar que la temperatura y la humedad relativa no son factores influyentes en la presencia o no de pared en la estructura. En el caso de la temperatura, se concluyó que a un nivel de confianza del 95%, todos los datos se podían tratar como un solo conjunto. Sin embargo, para el caso de la humedad relativa, con el mismo nivel de confianza, no existía relación entre los pertenecientes a una misma estructura y por ende los datos no se pudieron agrupar de ninguna forma. Esto fue determinante para la elaboración de los seis modelos realizados.

- El valor promedio obtenido para el SRR fue de 4,70 y para el caso del CEA, se obtuvo como resultado un 1,13. Ambos valores suponen un escenario en el cual el caudal actualmente empleado sí logra satisfacer las necesidades hídricas. Sin embargo, lo hace de una forma justa que permite concluir que en una situación de aumento de los usuarios el agua no será la suficiente y, por ende, es necesario que se valore la opción de un aumento en el caudal de entrada.

5.2.Recomendaciones

Para el caso de las instituciones públicas gestoras del proyecto siendo el MAG, el INDER y el SENARA, es necesario previo a la mejora de los sistemas hidráulicos de la Finca Gamaliel, analizar la capacidad de usuarios a los que se puede llegar a atender. Esto debido a que en el caso de que las unidades productivas aumenten, el caudal que se solicitará como concesión, no cumpliría las necesidades.

La SUA de la Finca Gamaliel, requiere que se establezca una comunicación entre las personas productoras en lo que concierne a las labores de riego. Estas requieren del establecimiento de una calendarización que permita una mejor gestión del recurso. Además, la solicitud de la concesión debe de contemplar factores como aumento del área productiva, el

porcentaje de productores que aún se encuentran en migración a sistemas hidropónicos, los riesgos de cambios climáticos a futuro, entre otros factores de riego.

Para el caso específico de los productores, es necesario que realicen valoraciones del estado de los sistemas de riego con los que cuentan actualmente. Estos aumentan de manera importante la gestión del recurso limitando las actividades de riego y perjudicando al cultivo. Una revisión del estado de las tuberías, boquillas de riego y cintas, permitiría de manera certera corroborar si la uniformidad de riego en la parcela es adecuada para la producción en cuestión.

En cuanto a los resultados obtenidos en las entrevistas, es necesario que se efectúe algún tipo de apoyo por parte de las instancias gubernamentales que les permitan establecer tiempos idóneos que respondan satisfactoriamente a las necesidades del cultivo, considerando importante la capacidad de retención de la fibra. Las inconsistencias en las actividades y la variación drástica entre productores pueden suponer un problema para la producción en general.

Las estructuras en las que actualmente se realizan las actividades productivas, ya poseen daños varios que reducen la captación de luz, la retención de temperaturas y humedad y el aumento en probabilidades de que la producción pueda sufrir de enfermedades y plagas, considerando la cercanía entre las naves. Es recomendable que las personas productoras realicen cambios en los plásticos tanto en los techos, principalmente, como también en los laterales en el caso de los que lo poseen.

El aumento en la tecnificación de la producción es uno de los retos que puede afrontar la SUA. La incorporación de sensores de radiación o luminosidad, humedad, temperatura y otros, que supongan la elaboración de una base de datos por nave, representaría un punto de partida para análisis de datos que permitan determinar cuál podría ser un parámetro que si intervenga entre los tipos de estructura con las que se trabaja. Esta base de datos en conjunto con el apoyo técnico de las instituciones que participan en el desarrollo de la Finca Gamaliel puede permitir la mejora de la producción general de la finca.

La recomendación para efecto de las labores de riego, partiendo de una lámina simulada óptima de 410,83 mm por ciclo (150 días), es realizar cuatro aplicaciones o eventos de riego al día, cada seis horas (ej. 4.00 am, 10.00 am, 3.00 pm y 9.00 pm). Cada uno de estos eventos se recomienda duren acorde al tipo de gotero y el caudal que este entregue. En el caso de los goteros de 1 L/h, el tiempo sería de 2,28 minutos, mientras que para goteros que entreguen el doble de caudal (2 L/h) el tiempo sería de igual manera el doble 4,56 minutos, ambos casos redondeados a 3 min y 5 min respectivamente. Estos resultados contemplan una lámina diaria de 2,74 mm y un distanciamiento de 0,2 m por 0,5 m, el promedio del área por parcela de 0,7 ha y una densidad promedio de 34 000 plantas.

Referencias

- Allen, RG; Pereira, LS; Raes, D; Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage paper 56*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Aqilah-Tukimat, N., Harun, S., Shahid, S., (2012) *Comparison of different methods in estimating potential evapotranspiration at Muda Irrigation Scheme of Malaysia*. Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics, Vol. 113 (No. 1), pp.77-85.
- Ariza, M., Miranda, L., Gómez-Mora, J., Medina, J., Lozano, D., Gavilán, P., Soria, C., Martínez-Ferri, E. (2021). *Yield and fruit quality of strawberry cultivars under different irrigation regimes*. Agronomy, Vol. 11, pp.261-284.
- Ayers, R; Westcot, D. (1985). *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage, Paper 29, Food and Agriculture Organization, Rome.
- Barba-Quiles, R., (2015). *Producción de fresa sin suelo: Situación actual y perspectiva*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Tomado de: https://oa.upm.es/43603/1/PFC_RODRIGO_BARBA_QUILES_1.pdf
- Bedoya-Cardoso, M; Ángeles-Montiel, V. (2016). *Estrategias para Estimar el Coeficiente de Uniformidad de Laterales de Riego*. Revista Ingeniería y Región, Vol. 16 (No. 2), pp. 65-71. Tomado de: <http://dx.doi.org/10.25054/22161325.1300>
- Benavides-Valverde, J. (2020) *Evaluación del desempeño de del sistema de riego: Un análisis global y local en Costa Rica*. [Tesis de Doctoral, Universidad de Córdoba].
- Benavides-Valverde, J; Hernández-Plaza, E; Mateo, L; Fereres, E. (2021) *A Global Analysis of Irrigation Scheme Water Supplies in Relation to Requirements*. Agricultural Water Management, Vol. 243, pp. 106457. Tomado de: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106457>
- Bernal-García, J. Martínez-MaríaDolores, S. Sánchez-García, J. (2004). *Modelación de los factores más importantes que caracterizan un sitio en la web*. XII Jornadas de ASEPUMA
- Blanco, I., Luvisi, A., De Bellis, L., Schettini, E., Vox, G., Scarascia-Mugnozza, G. (2022). *Reserch trends on Greenhouse Engineering using science mapping approach*. Horticulture, 8, 833-863.
- Buendía, J., Palacios, y Chavez, J. (2004). *Importancia de la Evaluación Hidráulica en los Sistemas de Riego Presurizados*. Obtenido de <http://ceer.isa.utl.pt/cyted/mexico2006/tema>, 203.

- Cardoso, M. Yossa, P, Yossa, L. 2018. *Efectos de la pendiente en el coeficiente de uniformidad en un lateral de riego por goteo*. IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Mexico.
- Castro, J. (10 de agosto 2016). *Sector Fresero Nacional Busca Revitalizarse*. Instituto Interamericano de Colaboración para la Agricultura. Tomado de: <https://www.iica.int/es>
- Chazovachii, B. (2012). *The impact of small-scale irrigation schemes on rural livelihoods: the case of pagnai irrigation scheme Bikita District Zimbabwe*. Journal of Sustainable Development in Africa, Vol. 12 (No. 4), pp.217-231. Tomado de: <http://www.jsd-africa.com/Jsda/Vol14N...>
- Cleves, L., Toro, J., Martínez, L., (2016) *Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica*. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, Vol. 10 (No. 1), pp.149-163.
- Consejería y Agricultura y Pesca (2010). *Manual de riego para agricultores 4. Riego localizado: manual y ejercicios*. Junta de Andalucía. Tomado de: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf
- Cormier, J. Depardieu, C. Letourneau, G. Boily, C. Gallichand, J. Cron, J. (2019). *Tensiometer-based irrigation scheduling and water use efficiency of field-grown strawberries*. Agronomy, soils and environmental quality, Vol. 112, pp. 25081-2597.
- Corrales-Carvajal (2010). *Efecto de tres películas plásticas sobre el microclima del invernadero y el comportamiento agronómico de tomate (Lycopersicon esculentum) Mill*. [Tesis de Grado Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica] Tomado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/>
- Corzo-Salamanca, J. (2005) Estadística No Paramétrica: Métodos basados en rangos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Tomado de: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/53385/9587015460.PDF?sequence=2>
- DeAquiz, Y; Álvarez-Herrera, J; Pinzón-Gómez, L. (2014). *Efecto de diferentes láminas de Riego Sobre la Producción y Calidad de Fresa (Fragaria sp.)*. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, Vol. 8 (No. 2), pp.192-205. Tomado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n2/v8n2a03.pdf>
- Fereres, E; Soriano, M. (2007). *Deficit Irrigation for Reducing Agricultural Water Use*. Journal of Experimental Botany, Vol. 58 (No. 2), pp.147-159. 147-159. Tomado de: <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
- Flores-Tapia, C; Flores-Cevallosm K. (2021). *Prueba para Comprobar la Normalidad de Datos en Procesos Productivos: Andersol-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kilmogórov-Srirmov*. Societas. Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas, Vol.23 (No. 2). Tomado de: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/3412237018.pdf>

- Franco-Ortega, V., (2018) Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo. [Proyecto de Investigación de grado, Universidad Técnica de Ambato] Tomado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream>
- Fontela, C.A., Morábito, J.A., Maffei, J.A., Salatino, S., Mirábile, C., & Mastrantonio, L. (2009). *Drip irrigation in Mendoza, Argentina: evaluation of irrigation uniformity and of the increment of salinity, sodicity and chloride ion in the soil.*
- Fuentes-Fernández, S. (2011) *Componentes Parciales.* [Tesis de Grado, Universidad Autónoma de Madrid].
- García-Morillo, J. (2015). *Hacia el Riego de Precisión en el Cultivo de Fresa en el Entorno de Doñana.* [Tesis Doctoral, Escuela Internacional de Doctorado en Agroalimentación eidA3, Universidad de Córdoba] Tomado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/60900296.pdf>
- Garzón, E; Ortiz, I. Ma; Castillo, J; Rojano, A; Sánchez-Soto, P. (2017). *Modelización del proceso de envejecimiento natural de un material polimérico utilizable como cubierta de invernaderos.* Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, Vol. 37 (No. 1). Tomado de: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522017000100008
- Giménez, G; Paullier, J; Maeso, D. (2003). *Manejo de las Principales Enfermedades y Plagas en el Cultivo de Frutilla.* Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA. Tomado de: <http://www.inia.uy/publicaciones/documentos%20compartidos/111219240807161309.pdf>
- González-Robaina, F; López-Vargas, D; Cisneros-Zayas, E; Herrera-Puebla, J; Cid-Lazo, G. (2019) *Calibración y análisis de sensibilidad del modelo AquaCROP para frijol en suelo Ferralítico Rojo Compactado.* Revista Ingeniería Agrícola, Vol. 9 (No. 4). Tomado de: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586262756001/html/>
- Grant, O; Davies, M; Johnson, A; Simpson, D. (2012). *Physiological and Growth Responses to water Deficits in Cultivated Strawberry (Fragaria × ananassa) and in one of its Progenitors, Fragaria chiloensis.* Environmental and Experimental Botany, Vol. 83, pp. 23-32. Tomado de: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.04.004>
- Gutiérrez-Castorena, M. D. C., Hernández Escobar, J., Ortiz-Solorio, C. A., Anicua Sánchez, R., & Hernández Lara, M. E. (2011). *Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga.* Revista Chapingo. Serie horticultura, Vol.17(No.3), 183-196. Tomado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2011000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Gutiérrez-Roque, H. (2015) *Sistema Intensivo de Producción de Fresa Bajo Condiciones de Invernadero.* [Tesis Magistral, Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Campus Montecillo] Tomado de:

http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4052/Gutierrez_Roque_HR_MC_Genetica_2015.pdf;jsessionid=AEC44F1F317957265A124DAEE02E744B?sequence=1

- Hargreaves, G; Samani, Z. (1985) *Reference crop evapotranspiration from temperatures*. Applied Eng. In Agric, Vol. 1 (No. 2), pp. 96-99
- Hernández-Espinoza, K. (2014). *Cálculo de la Evaporación en Costa Rica mediante el Método FAO-56*. Tópicos Meteorológicos y Océanos gráficos [Universidad de Costa Rica].
- Hernández-Hipólito, R. (2012) *Metodologías de Evaluación, Caracterización y Programación del Riego en Sustratos*. [Especialización en Química Aplicada, Centro de Investigación en Química Aplicada]
- Hernández-Martínez, N; Salazar-Gutiérrez, M; Chavez-Córdoba, B; Wells, D; Foshee, W; McWhirt, A. (2023). *Model Development of the Phenological Cycle from Flower to Fruit of Strawberries (Fragaria × ananassa)*. Agronomy 2023, Vol. 13 (No. 10) pp. 2489. Tomado de: <https://doi.org/10.3390/agronomy13102489>
- Instituto Interamericano de Colaboración para la Agricultura (2017). *Manual de BPA de producción para el cultivo de Fresa*. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Instituto Meteorológico Nacional (2023). *Salidas y Puestas de Sol y Luna 2023*. Tomado de: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/30506/Sol-luna+2023/907ccab8-32eb-4d89-b2fc-dc8eab66176e>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2017). *Pronóstico de la Temporada de Lluvias 2018*. Ministerio de Ambiente y Energía. Tomado de: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/29806/Perspectiva+Clim%C3%A1tica+Anual+2018>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2022). *2023: Perspectiva Climática Anual [Informe]*. Ministerio de Ambiente y Energía. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/29806/Perspectiva+clim%C3%A1tica+anual+2023/c1007a2f-bdc7-4316-86cd-d5baf1846a44>
- Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán. (2018) *Manual de Producción de Fresa en Coalcomán, Michoacán: Ingeniería en Desarrollo Comunitario*. Tomado de: <https://www.itscoalcoman.edu.mx/content/descargas/vinculacion/MANUAL>
- Kirschbaum, D. (2010). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para la Producción de Frutilla*. INTA EEA Famaillá. Ediciones INTA, 2010. ISBN N° 978-987-1623-75-4. Tomado de: https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7508/INTA_CRTucuman-Santiago_EEAFamailla_Kirschbaum_D_Manual_de_buenas_practicas_agricolas_frutilla.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kirschbaum, D. (2022). *Cultivo, Postcosecha, Procesado y Comercio de Berries: Guía Completa (Ira ed.)*. Editorial SP3. (pp. 141-154). Tomado de:

https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/cultivo_poscosecha_procesado_y_comercio_de_berries

- Lauricella, V (2020). *Comportamiento de plantas de fresa bajo la reducción de aportes hídricos como alternativa sostenible*. [Tesis de Maestría, Universidad Internacional de Andalucía]
- Letey, J; Hoffman, G; Hopmans, J; Grattan, S; Grattan, S; Suarez, D; Corwin, D; Oster, J; Wu, L; Amrhein, C. (2011). *Evaluation of Soil Salinity Leaching Requirement Guidelines*. Agricultural Water Management Vol. 98 (No. 4), pp. 502-506. Tomado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.08.009>
- Linarez-Castillo, L., Melo-Rojas, L. (2015) *Evaluación de la huella hídrica del cultivo de fresa en una finca del municipio de Simbaté, Cundinamarca*. [Tesis de grado, Universidad la Salle.] Tomado de: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/312
- Lozano, D; Ruiz, N; Gavilán, P. (2016). *Consumptive Water use and Irrigation Performance of Strawberries*. Agricultural Water Management, Vol. 169, pp. 44-51. Tomado de: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.011>
- Macías, J., Vargas, A., & Arellano, F. (2018). *Conductividad Hidráulica en dos Sitios del Valle Central de Costa Rica: Análisis Comparativo de Tres Metodologías de Ensayo en la Zona No Saturada*. Revista Geológica de América Central, Vol. 59, 75-100.
- Martínez-Ferri, E; Soria, C; Ariza, M; Medina, J; Miranda, L; Domínguez, P; Muriel, J. (2016). *Water Relations, Growth and Physiological Response of Seven Strawberry Cultivars (Fragaria x ananassa Duch.) to Different Water Availability*. Agricultural Water Management, Vol. 164 (No. 1), pp. 73-82. Tomado de: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.014>
- Medina-Bolívar, J. S., Pinzón-Sandoval, E. H., & Cely, G. E. (2016). *Efecto de sustratos orgánicos en plantas de fresa (Fragaria sp.) cv 'Albion' bajo condiciones de campo*. Ciencia y Agricultura, 13(2), 19-28. Tomado de: <https://www.redalyc.org/journal/5600/560062851002/html/>
- Méndez-Soto, C. (2015). *Edad Fisiológica de los Cultivos: el uso de grados día*. Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos. Tomado de: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1816.pdf>
- Ministerio de Agricultura de Chile (2014). *El Mercado de la Frutilla*. Chile, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Tomado de: <https://www.odepa.gob.cl>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2010). *Agrocadena de Fresa*. Dirección Regional Central Occidental.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2023). *Política Pública para el Sector Agropecuario Costarricense*. [Gobierno de Costa Rica 2023-2026]
- Ministerio de Ambiente y Energía; Instituto Meteorológico Nacional. (2013). *Series de Brillo Solar en Costa Rica*. Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas.

- Tomado de:
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Series+de+Brillo+Solar+en+Costa+Rica>
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España. (s. f.). *La Radiación Solar* [Informativo]. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España. Tomado de:
https://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf
- Minitab Inc. (2022). *Software Estadístico*. <https://www.minitab.com/es-mx/>
- Molden, D. J., Sakthivadivel, R., Perry, C. J., & De Fraiture, C. (1998). Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems (Vol. 20). Iwmi.
- Molden, D; Gates, T. (1990). *Performance Measures for Evaluation of Irrigation-Water-Delivery Systems*. Irrigation and Drain Engineering. Vol 116, pp. 804-823.
- Monden, D; Sakthivadivel, R; Perry, C; Fraiture, C; Kloezen, W. (1998). *Indicators of Comparing Performance of Irrigated Agricultural Systems*. Research Report 20. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Ochoa-Cobeña, C., (2019) *Calibración, validación y uso del modelo AquaCROP para el cultivo de la chufa (Cyperus esculentus L. var. Sativus Boeck.)* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia].
- Olmedo-Vázquez, V. Camacho-Poyato, E. Rodríguez-Díaz, J. Minjares-Lugo, J. Hernández-Hernández, M. (2016) *Determinación de indicadores de gestión en los módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México)*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 49 (2), 070-4661.
- Ordaz, J., Ramírez, D., Mora, J., Acosta, A., Serna, B. (2010) *Costa Rica; efectos del cambio climático sobre la agricultura*. Comisión Económica para América Latina.
- Ordóñez-González, G. (2018). *Determinación de las Necesidades Hídricas del Cultivo de Fresa (Fragaria vesca l.) en el Sector El Porvenir*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Loja.] Tomado de:
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21326/1/GERMANIA%20MAGALY%20ORD%C3%93%20GONZ%C3%81LEZ.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019). *Faostat Base de Datos Estadísticos* [Aplicación en línea]. División Estadística. Tomado de:
<https://www.fao.org/faostat/es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019). *Aquastat Base de Datos Estadísticos* [Aplicación en línea]. División Estadística. Tomado de:
<https://www.fao.org/aquastat/es>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017). *AquaCROP: el modelo de productividad del agua de los cultivos*. 7455ES/1/06.17. Tomado de: <https://www.fao.org/3/i7455s/i7455s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2000). *Bibliografía Comentada: Cambios en la Cobertura Forestal: Costa Rica*. Tomado de: https://www.fao.org/3/ad668s/ad668s03.htm#P211_6795
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Reference Manual: Chapter 1: FAO Crop-Water Productivity Model to Simulate Yield Response to Water*. Tomado de: <https://www.fao.org/3/br246e/br246e.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Reference Manual: Chapter 2: Users Guide*. Tomado de: <https://www.fao.org/3/br267e/br267e.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Reference Manual: Chapter 3: Calculation Procedures*. Tomado de: <https://www.fao.org/3/br248e/br248e.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Reference Manual: Chapter 4: Calibration Guidance*. Tomado de: <https://www.fao.org/3/br249e/br249e.pdf>
- Palacios-Briceño, T. (2018). *Evaluación de la Uniformidad de Riego por Goteo en el Proyecto Agrícola Huarmey, Distrito t Provincia de Huarmey – Áncash*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola] Tomado de: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4176/palacios-brice%C3%B1o-teresa-jezabel-evelyn.pdf?sequence=1>
- Patrón-Ibarra, J. (2014) *Sustratos Orgánicas Alternativos para la Producción de Tubérculo-Semilla de Papaya en Invernadero*. [Tesis Doctoral, Colegios de Post-Graduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas]
- Pérez-Gómez, L., & Alejandro-García, G. (2015). *Evaluación de la Conductividad Hidráulica del Suelo en un Sistema Agroforestal de Café (Coffea arabica), en CENECOOP, Masaya, Nicaragua, 2014*. [Trabajo de Graduación para optar por el grado de Bachiller, Universidad Nacional Agraria.]
- Pérez-Manzanares, E. (2011) *Efectos de los peligros naturales asociados al fenómeno ENOS sobre el sector agropecuario en Centroamérica*. Revista Científica, Vol. 1 (No. 1), pp. 1-5.
- Pintos-Baptista, F. (2020) *Calibración del Modelo AquaCROP en el cultivo de Soja bajo diferentes sistemas de manejo de suelo y cultivar*. [Tesis Magistral, Universidad de la República, Facultad de Agronomía.] Tomado de: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29982/1/PintosBaptistaFedericoGabriel.pdf>

- Quiñónez-Fernández, M. (2014). *Uso de la Fibra de Coco como Sustrato en la Producción de Pascua (Euphorbia pulcherrima; Wild.Ex Klotsch) para Exportación; Agroindustrias JOVISA, San Miguel Dueñas, Sacatepequez (2007-2010), Estudio de Caso*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Rafael Landívar.]
- Ramírez-Padrón, L. (2020). Análisis de los indicadores de la competitividad de las exportaciones de fresa mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 11 (No. 4), pp. 815-127. Tomado de: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2049>
- Richard, G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. [Estudio Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Riego y Drenaje].
- Rodríguez-Salazar, J. (2017) *Elaboración de crecimiento y absorción de nutrimentos del cultivo de fresa (Fragaria ananassa cv. Festival) en Fraijanes, Costa Rica*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Tomado de: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080>
- Rojas-Rishor (2015). *Análisis del comportamiento térmico de un invernadero construido en ladera, aplicando dinámica de fluidos computacional*. [Tesis de grado Licenciatura, Universidad de Costa Rica]
- Rojas-Rishor, A. (2015). *Análisis del comportamiento térmico de un invernadero construido en ladera, aplicando dinámica de fluidos computacionales*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica] Tomado de: <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2016/02/tesis-adriana-rojas.pdf>
- Román-Arguedas, Y. (2022). *Estrategias de competitividad a través de la diferenciación para agronegocios de fresa ubicados en las zonas aledañas al Volcán Poás*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica, Campus Omar Dengo]. Tomado de: <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/22967>
- Salamanca-Jiménez, A., & Sadeghian-Khalajabadi, S. (2005). *La Densidad Aparente y su Relación con Otras Propiedades en Suelos de la Zona Cafetalera Colombiana*. Vol.56(No.4), pp.381-897.
- Sánchez-Roman, J. (2022). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Segunda Edición. Kindle Direct Publishing.
- Schilardi, C. (2010). *Desempeño del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del río Tunuyán Superior, Mendoza Argentina*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cuyo].
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (2018). *Informe de Gestión del Sector Agropecuario y Rural Mayo 2014-Abril 2018*. San José, Costa Rica, Gobierno de la República.

- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (2021). *Análisis de disponibilidad y consumo de agua para la producción de fresa en la finca productiva Gamaliel*. Región Occidental Sur.
- Sibale, D; Mwenelupembe, G; Chikabvumbwa, S; Chisale, S. (2021). *Evaluation of Water Delivery Performance of Nkhafi Irrigation Scheme in Dowa District, Malawi, Africa*. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, Vol. 10, pp. 95-107. Tomado de: https://www.scirp.org/pdf/cweee_2021060214305165.pdf
- Soto Bravo, F., & Betancourt Flores, A. (2018). *Aplicación práctica del uso de curvas de liberación de aire: Humedad en fibra de coco, para determinar la estrategia de manejo del riego óptima en un cultivo de acelga bajo invernadero*. Tomado de: <https://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/86296>
- Soto-Bravo, F. (2014) *Sustratos: el medio hacia un cultivo sin suelo. Una alternativa para sustituir suelos enfermos*. [Reporte, Universidad de Costa Rica].
- Soto-Bravo, F. (2018). *Parámetros para el Manejo del Agua en Tomate y Chile Dulce Hidropónico bajo Invernadero*. Agronomía Costarricense, Vol. 42 (No.2). Tomado de: <https://doi.org/10.15517/rac.v42i2.33779>
- Soto-Bravo, F; Betancourt-Flores, A. (2021). *Evaluación de Metodologías para Determinar las Características Físicas de un Sustrato de Fibra de Coco*. Agronomía Costarricense, Vol. 46 (No. 2), pp.29-45. Tomado de: https://www.mag.go.cr/rev_agr/v46n02_029.pdf
- Tejeda-Martínez, A. (2018). *La Humedad en la Atmósfera: Bases físicas, instrumentos y aplicaciones*. Universidad de Colima.
- Terrones-Rodríguez, A; Caamal-Cauich, I; Pat-Fernández, V; Ávila-Dorantes, J; Martínez-Luis, D; Caamal-Pat, Z. (2022). *Análisis de las Variables Económicas que Determinan las Exportaciones de Fresa en México a Estados Unidos de América*. Revista Mexicana de las Ciencias Agrícolas, Vol. 13 (No. 4).
- The Observatory of Economic Complexity (2021). *Fresas Frescas*. [Datos en línea]. <https://oec.world/es/profile/hs/strawberries-fresh>
- Toro-Trujillo, A; Arteaga-Ramírez, R; Vázquez-Peña, M; Ibáñez-Castillo, L. (2014). *Modelos para Estimar la Evapotranspiración de Referencia en la Zona Norte Bananera del Urabá Antioqueño (Colombia)*. Agrociencia, Vol. 49 (No. 8). Tomado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000800001#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20de%20EtoHargreaves%20obtuvo,y%20entre%200.21%20a%200.51.
- Valdéz-Tapia, C. (2012). *La producción de la fresa (Fragaria vesca) en el estado de Guanajuato 2000 – 2010*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México]. Tomado de: <http://repositorio.uaaan.mx>

- Valdivieso-López, C; García-Arteaga, D; Solórzano-Solórzano, J; Saltos-Briones, V; Saldarriaga-Lucas, V. (2021) *Efecto de Diferentes Láminas de Riego Localizado, Sobre la Productividad y Rentabilidad del Maní*. Revista de las Agrociencias La Técnica, (No. 26), pp.1-12. Tomado de: https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i26.2456
- Vanuytrecht, E., Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, L., Heng, L., García, M., Majias, P., (2014) *AquaCROP: FAO'S crop water productivity and yield response model*. Environmental Modeling & Software, Vol. 62, pp.351-360.
- Villón-Béjar, M. (2004). *Hidrología: Primera Edición*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. ISBN 9977 66-159-6.
- Wright-Morton, L; Peres, N; Fraisse, C; Gleason, M. (2017) *Climate, Weather and Strawberries: Florida strawberry production and a changing climate: growers' views and priorities to manage uncertainty in production systems*. Sociology Technical Report 1047. Department of Sociology, Iowa State University. Tomado de: <https://www.climatehubs.usda.gov/sites/default/files/Climate%2C%20Weather%20and%20Strawberries.pdf>
- Zaragoza-Nieto, R. (2013). Evaluación de Técnicas Hidropónicas de Producción en el Cultivo de Fresa (*Fragaria x ananassa*) Bajo Invernadero. [Tesis Magistral, Programa de Postgrado en Agroplasticultura, Centro de Investigación en Química Aplicada] Tomado de: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/67/1/Tesis%20MAP%20Ramon%20Donovan%20Zaragoza%20Nieto%20Dic%2018%202013.pdf>

Anexos

Anexo I. Tabla de velocidad del viento y dirección establecida por el IMN

Tabla 10. Nomenclatura establecida para la identificación de dirección del viento de manera numérica.

Dir. Pred.	Dirección	Rango en Grados (°)
1	Norte	337,6 a 22,5 (°)
2	Noreste	22,6 a 67,5 (°)
3	Este	67,6 a 112,5 (°)
4	Sureste	112,6 a 157,5 (°)
5	Sur	157,6 a 202,5 (°)
6	Suroeste	202,6 a 247,5 (°)
7	Oeste	247,6 a 292,5 (°)
8	Noroeste	292,5 a 337,5 (°)

Fuente: IMN (*Estación de Fraijanes*)

Anexo II: Nomenclatura establecida por código para cada sensor.

Tabla 11. Sensores instalados en los ambientes controlados.

Productor	Código de Sensor	Tipo de Estructura
Marcelino	273709	Abierta
Marcelino	273711	Abierta
Marcelino	296606	Abierta
Rafael	296612	Abierta
Rafael	IB0004	Abierta
Rafael	296608	Abierta
Eduardo	IB0008	Abierta
Eduardo	IB0011	Abierta
Emilio	10658786	Cerrada
Emilio	10658784	Cerrada
Emilio	IB0012	Cerrada
Edgar	296607	Cerrada
Edgar	296611	Cerrada
Hubert	296609	Cerrada
Hubert	IB0003	Cerrada
Hubert	IB0002	Cerrada

Anexo III: Comprobación de normalidad y homostaceidad para temperatura y humedad

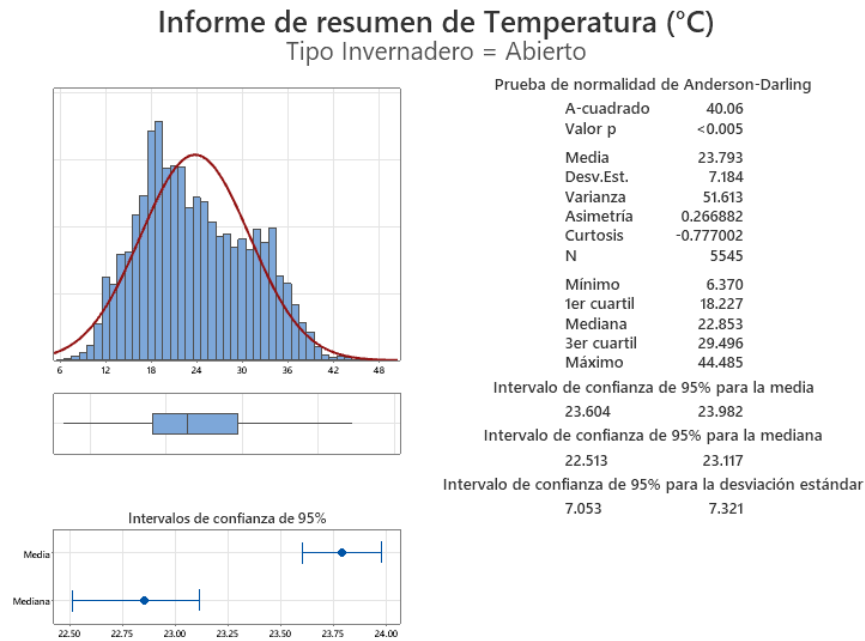


Figura 52. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura abierta en la época seca.

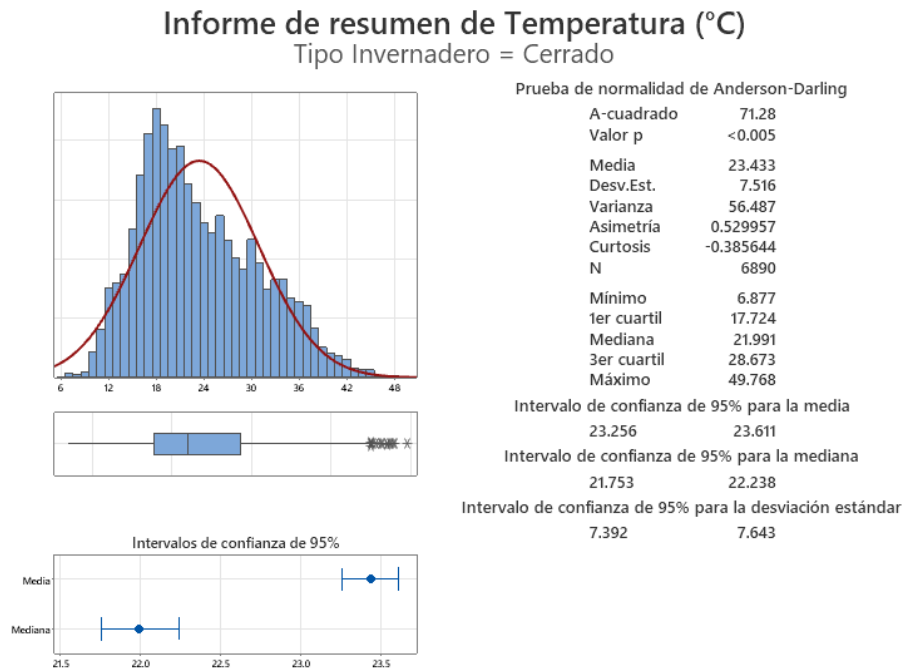


Figura 54. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura cerrada en la época seca.

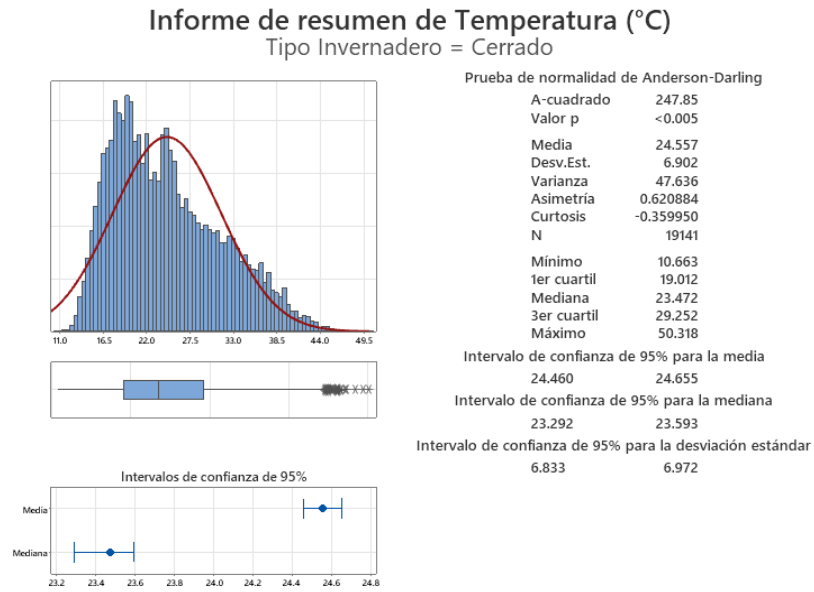
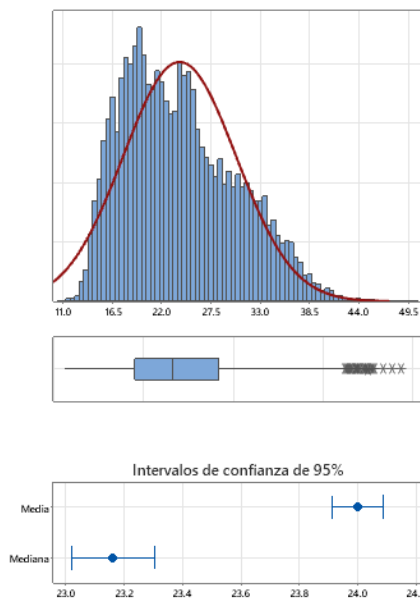


Figura 53. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura cerrada en la

Informe de resumen de Temperatura (°C)

Tipo Invernadero = Abierto



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado	180.52
Valor p	<0.005
Media	24.000
Desv.Est.	6.309
Varianza	39.800
Asimetría	0.537372
Curtosis	-0.398927
N	19143
Mínimo	11.175
1er cuartil	18.996
Mediana	23.160
3er cuartil	28.345
Máximo	48.751

Intervalo de confianza de 95% para la media

23.911	24.090
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la mediana

23.021	23.304
--------	--------

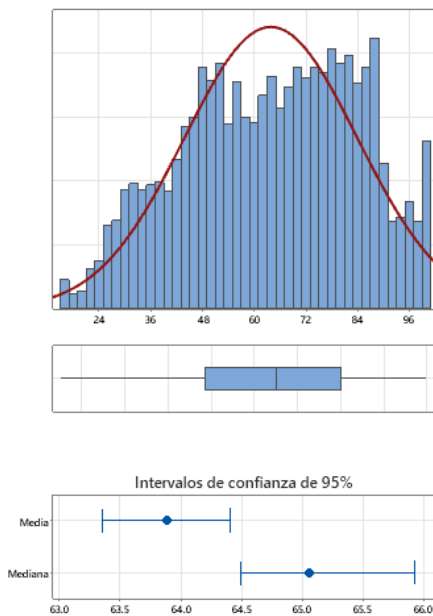
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

6.246	6.373
-------	-------

Figura 55. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura abierta en la época lluviosa.

Informe de resumen de HR (%)

Tipo Invernadero = Abierto



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado	30.34
Valor p	<0.005
Media	63.882
Desv.Est.	20.064
Varianza	402.572
Asimetría	-0.201367
Curtosis	-0.841342
N	5545
Mínimo	15.000
1er cuartil	48.564
Mediana	65.061
3er cuartil	80.164
Máximo	100.000

Intervalo de confianza de 95% para la media

63.354	64.410
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la mediana

64.493	65.927
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

19.698	20.445
--------	--------

Figura 56. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura abierta en la época seca.

Informe de resumen de HR (%)

Tipo Invernadero = Cerrado

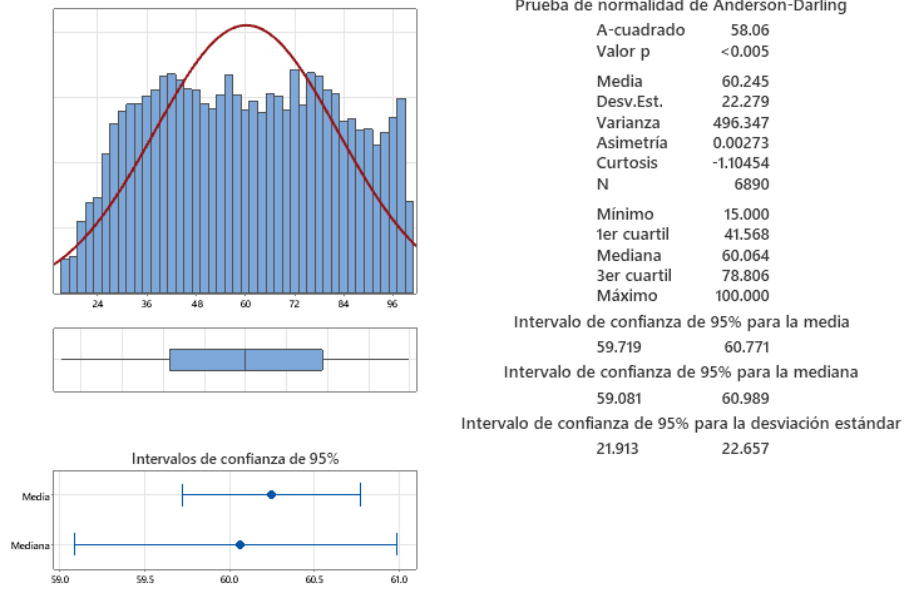


Figura 57. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura cerrada en la época seca.

Informe de resumen de HR (%) Tipo Invernadero = Abierto



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado	142.46
Valor p	<0.005
Media	68.432
Desv.Est.	18.931
Varianza	358.371
Asimetría	-0.437334
Curtosis	-0.535259
N	19143
Mínimo	15.000
1er cuartil	54.940
Mediana	71.170
3er cuartil	83.216
Máximo	100.000

Intervalo de confianza de 95% para la media

68.164	68.700
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la mediana

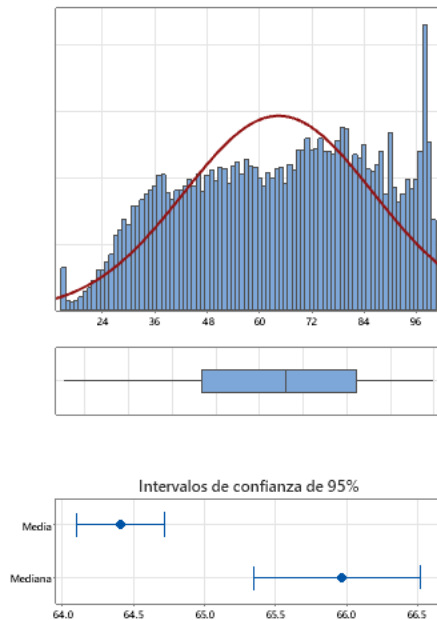
70.736	71.532
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

18.743	19.122
--------	--------

Figura 58. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura abierta en la época lluviosa.

Informe de resumen de HR (%) Tipo Invernadero = Cerrado



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado	160.70
Valor p	<0.005
Media	64.408
Desv.Est.	21.678
Varianza	469.927
Asimetría	-0.17215
Curtosis	-1.02741
N	19141
Mínimo	15.000
1er cuartil	46.825
Mediana	65.969
3er cuartil	82.380
Máximo	100.000

Intervalo de confianza de 95% para la media

64.101	64.715
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la mediana

65.346	66.522
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

21.463	21.897
--------	--------

Figura 59. Resumen de resultados de la prueba de Anderson-Darling para los datos pertenecientes a los ambientes controlados con estructura cerrada en la época lluviosa.

Anexo IV: Datos para el cálculo de la ecuación de Evapotranspiración Potencial

Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ·m⁻²·día⁻¹ ; 1 mm/día = 2,45 MJ·m⁻²·día⁻¹)

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	15.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Tomado de: Sanchez-Roman (2022)

Anexo V: Entrevista Semiestructurada.

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Biosistemas
Trabajo Final de Graduación

Tesearia: María Fernanda Leal Juárez, ced. 4 0239 0099, maria.lealjuarez@ucr.ac.cr

Tema: Evaluación de la eficiencia de un sistema de riego para cultivo de fresa (*Fragaria ananassa L*) en condiciones de ambiente protegido en la Finca *Gamaliel, Vara Blanca, Heredia*

Estimado participante:

El presente cuestionario tiene como finalidad recabar información necesaria para el análisis de la eficiencia de los sistemas de riego y las labores culturales que realizan las personas dedicadas a la actividad fresera en la Finca Gamaliel. A medida que lea las preguntas responda de la manera más certera y confiable. La información obtenida será empleada para la elaboración del proyecto de investigación dirigida realizado con el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA).

Se agradece de antemano toda la información que pueda otorgar. Esta será confidencial y únicamente se compartirá con la institución mencionada.

PARTE I
SOBRE EL PRODUCTOR Y LA PARCELA

1. Indique el número de parcela
_____.
2. ¿Cuánta área actualmente tiene bajo producción?
_____.
3. Indique el tiempo que tiene produciendo en ella
_____.
4. ¿Cuánto tiempo tiene produciendo fresa?
_____.
5. ¿Su invernadero tiene paredes actualmente? (SI) (NO)

6. ¿Su terreno es plano, poca pendiente o muy quebrado?
_____.

PARTE II SOBRE EL PRODUCTO

1. ¿Cuál es el tipo de variedad de fresa que produce?
_____.

2. ¿De dónde obtiene la semilla?
_____.

3. ¿Cuál considera es el rendimiento de su producción?
_____.

4. ¿Cuánto produce por semana en kilogramos?
_____.

5. ¿Cuántas semanas produce?
_____.

6. ¿Cuánto produce al año?
_____.

7. ¿Lleva alguna bitácora con esos valores?
_____.

8. ¿Cuál es el mes o meses en los que obtiene mayor producto?
_____.

9. ¿Cada cuánto renueva el cultivo?
_____.

10. ¿Cuántas plantas tiene actualmente (de manera aproximada)?
_____.

PARTE III SOBRE EL SISTEMA DE RIEGO

1. ¿Fue capacitado para el uso de sistemas de riego? (SI) (NO)

2. ¿De cuánto es el caudal de su bomba? (l/s o l/min, l/h, m³/s)
_____.
3. ¿Cuántas veces efectúa el riego al día?
_____.
4. ¿Cuánto tiempo dura cada riego?
_____.
5. ¿Cómo determinó el tiempo de riego y las veces que lo realiza al día?

_____.
6. ¿Cuál es el estado del sistema de riego?
- a) Muy bueno
 - b) Bueno
 - c) Regular
 - d) Malo
 - e) Muy malo
7. ¿Realiza limpieza de tuberías periódicamente? (SI) (NO)
8. ¿Cuándo o cómo decide que no debe regar?

_____.
9. Al momento de realizar aplicaciones, ¿utiliza algún tipo de filtro para evitar que se obstruyan los goteros? (SI) (NO)
10. ¿Revisa periódicamente la existencia de fugas? (SI) (NO)
11. ¿Posee algún tipo de reservorio para almacenamiento de agua para las labores de riego de su parcela? (SI) (NO)
12. ¿Considera que el uso del sistema de riego redujo la cantidad de agua que consumía? (SI) (NO)
13. ¿Considera usted que requiere de una capacitación sobre riego? (SI) (NO)

14. ¿Tiene alguna plaga que le cause daños? (SI) (NO)

15. ¿Tiene una foto de esta, sabe cuál es el nombre por el cual se le conoce?

_____.

PARTE IV

SOBRE LA SOCIEDAD DE USUARIOS DE AGUA

1. ¿Los usuarios tienen un cronograma que determina una hora específica de riego para cada productor? (SI) (NO)

2. ¿Cuál es el horario que usted usa para regar?

_____.

3. ¿Usted riega a la hora que considere o alguien escoge la hora de riego?

_____.

4. ¿Cree usted que la cantidad de agua que se ofrece a cada productor es la suficiente para suplir las demandas de la producción? (SI) (NO)

5. Las tuberías que distribuyen el agua a lo largo de la finca, ¿sufren de problemas de fugas? (SI) (NO)

6. ¿Cuál es la calidad del agua que utiliza para el riego?

a) Muy Buena

b) Buena

c) Regular

d) Mala

e) Muy mala

7. ¿Cuánto debe pagar por el servicio de agua para riego? ¿Un monto fijo o cómo lo paga (mensual, semestral o anual)?

_____.

PARTE V

SOBRE EL SUSTRATO

1. Actualmente, ¿siembra directamente en el suelo o utiliza camas de fibra de coco?
_____.

Si utiliza camas de fibra de coco:

- i. ¿Cuántas plantas aproximadamente puede sembrar en una sola bolsa?
_____.
- ii. ¿Sabe usted que es la conductividad eléctrica? (SI) (NO)
- iii. Si lo sabe, ¿realiza mediciones de ella periódicamente? (SI) (NO)

PARTE V
SOBRE LAS LABORES CULTURALES

1. ¿La cosecha la realizan únicamente colaboradores o participan terceros (ejemplo visitantes, turistas, otros)?

_____.
2. ¿Cómo aplica el fertilizante?
_____.

Anexo VI: Valores para las variables empleadas en la ecuación Benavides

Tabla 12. Coeficientes y error estándar para el ANCOVA generado.

Effect	Level	(β) Regression coefficient	std. Error
Intercept		1.372598	0.526213
Precipitation (mm)		0.001324	0.000382
Delivery Schedule	Dem	-0.391402	0.350544
Delivery Schedule	Arr	0.362181	0.205221
Delivery Schedule	Rot	0	0
Irrigation system	Spr + Loc	-0.322238	0.253633
Irrigation system	Spr + Sur	0.109392	0.363592
Irrigation system	Sur	0.444339	0.265191
Irrigation system	Loc	-0.091778	0.419778
Irrigation system	Spr	0	0
Distribution network	Closed	-0.212732	0.172460
Distribution network	Op + Cl	0.409839	0.147939
Distribution network	Open	0	0
Region	EU	-0.501028	0.564246
Region	MENA	-0.530605	0.296583
Region	SSA	0.526288	0.617401
Region	LA	0.207718	0.244817
Region	SEA	1.219978	0.818190
Region	IND	0	0
Crops	Tr + AC	-0.186089	0.196263
Crops	AC	-0.051342	0.175128
Crops	Gh	0.260862	0.390081
Crops	Rice	0	0

Fuente: Benavidez-Valverde (2020)

Anexo VII: Resultados obtenidos del Programa AquaCROP para las naves estudiadas

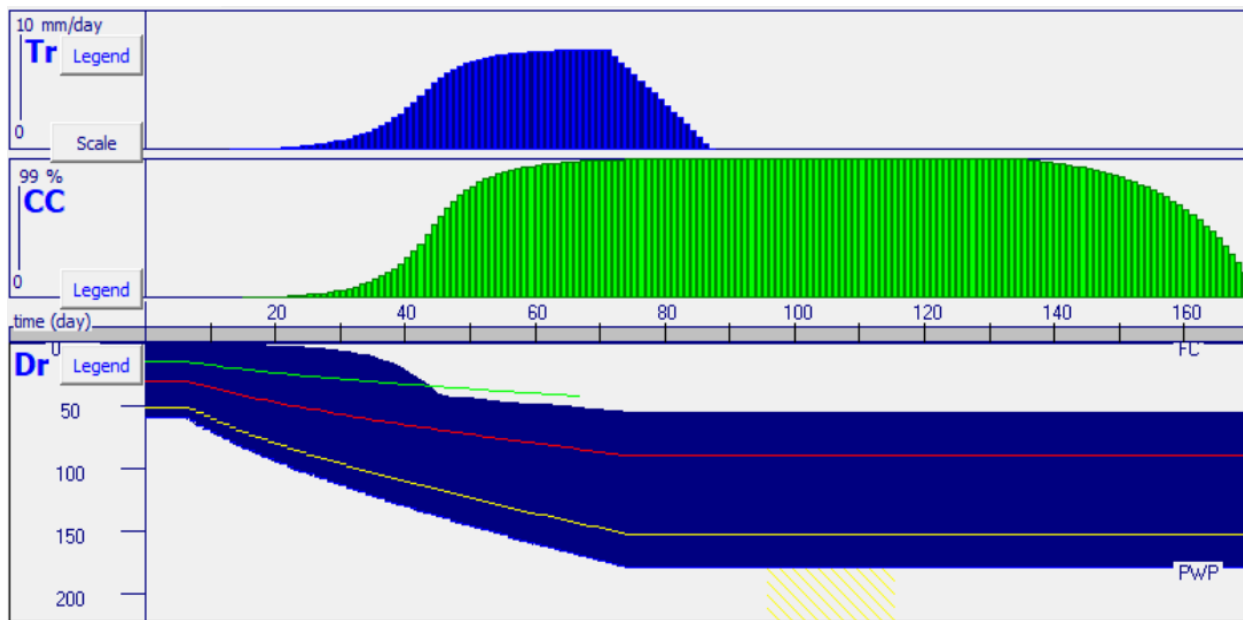


Figura 60. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 33.

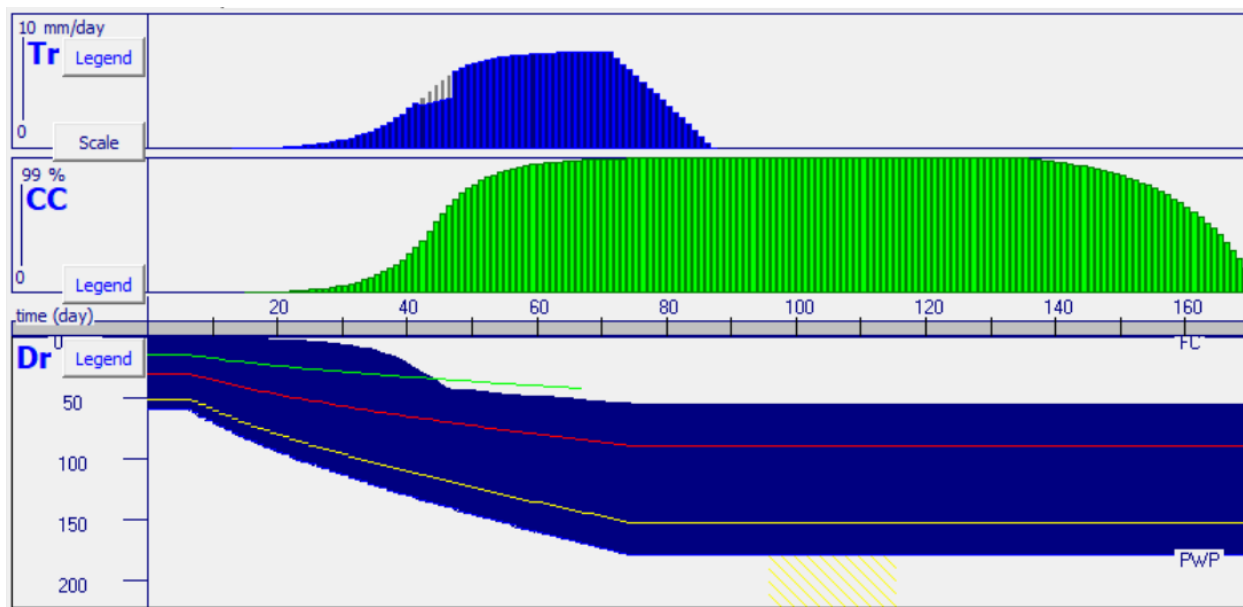


Figura 61. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 34.

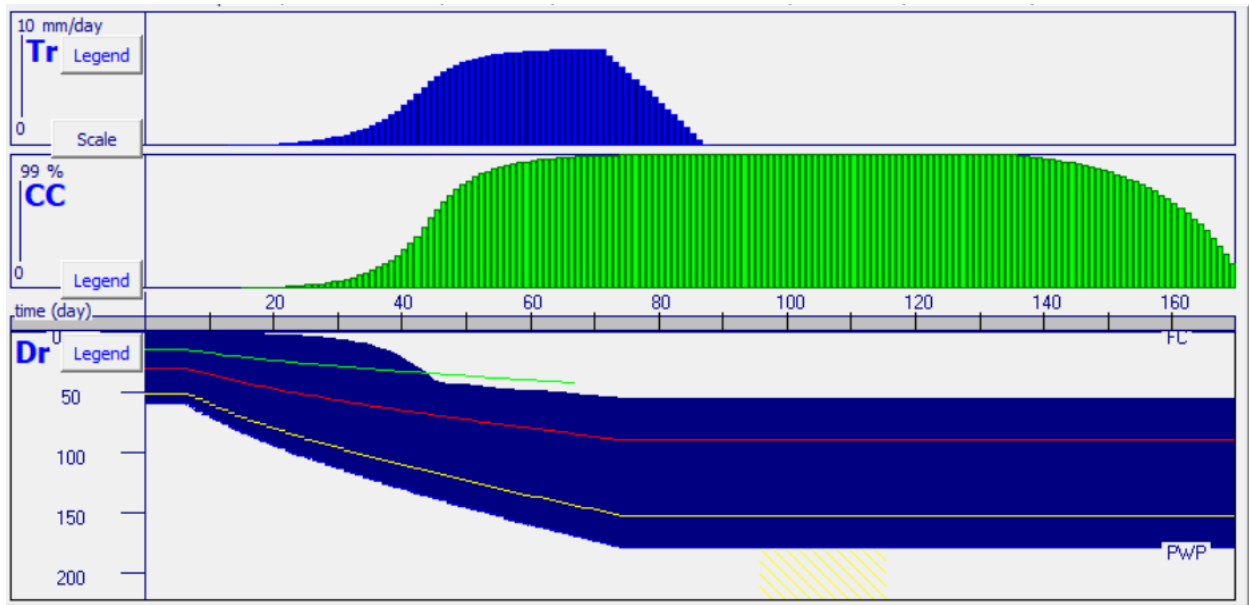


Figura 62. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 28.

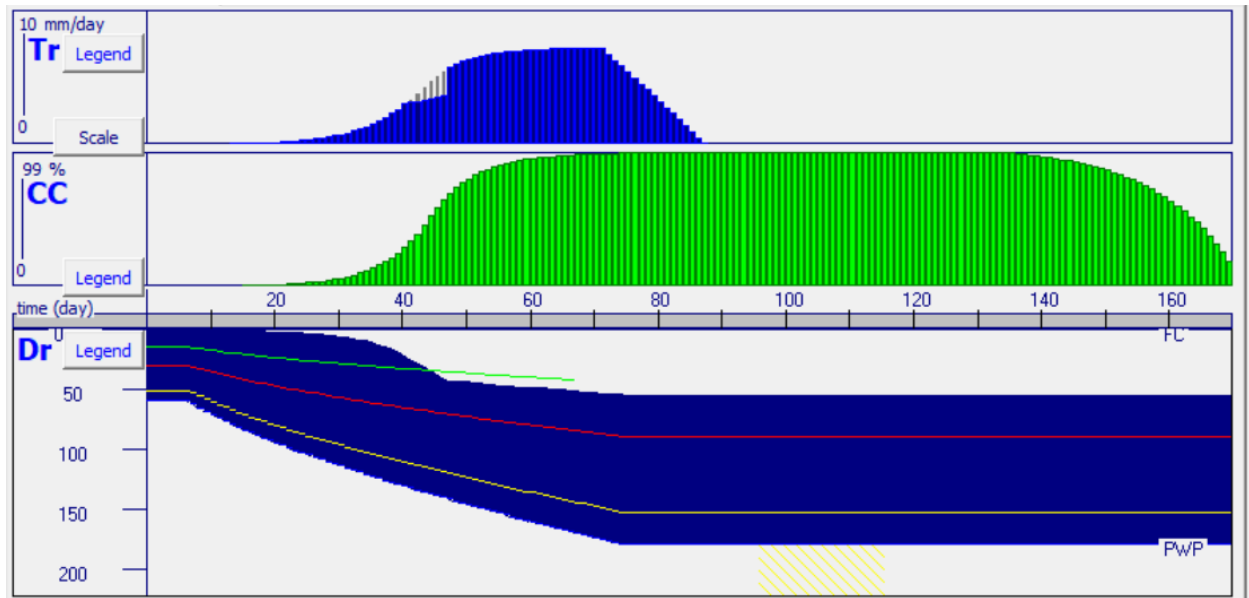


Figura 63. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 11.

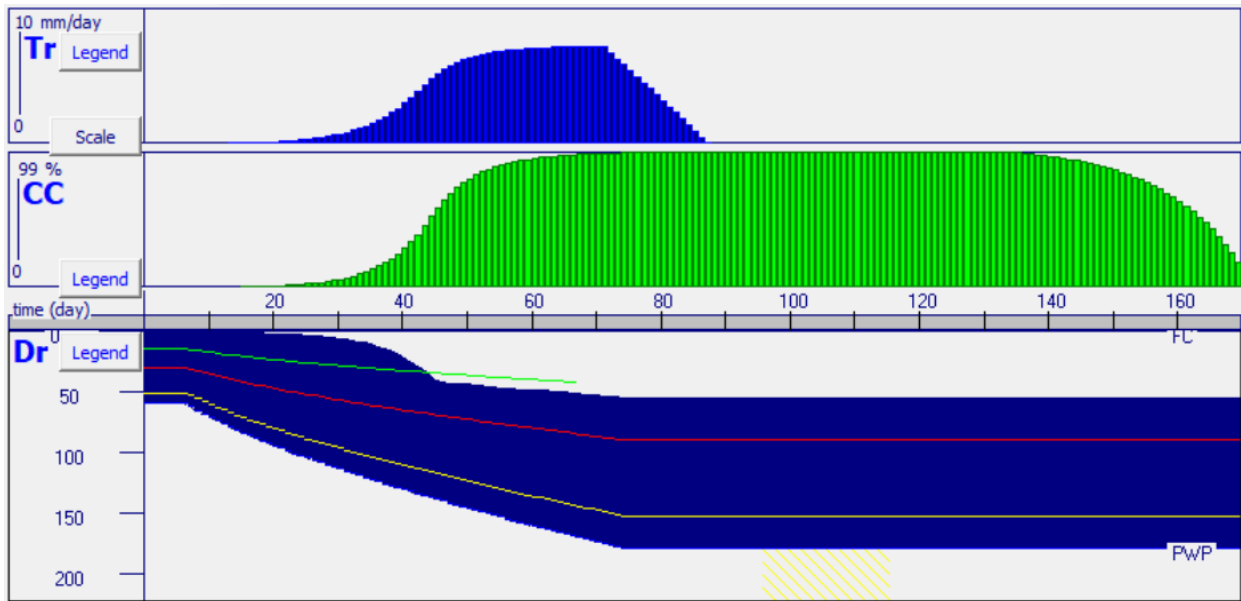


Figura 64. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 30.

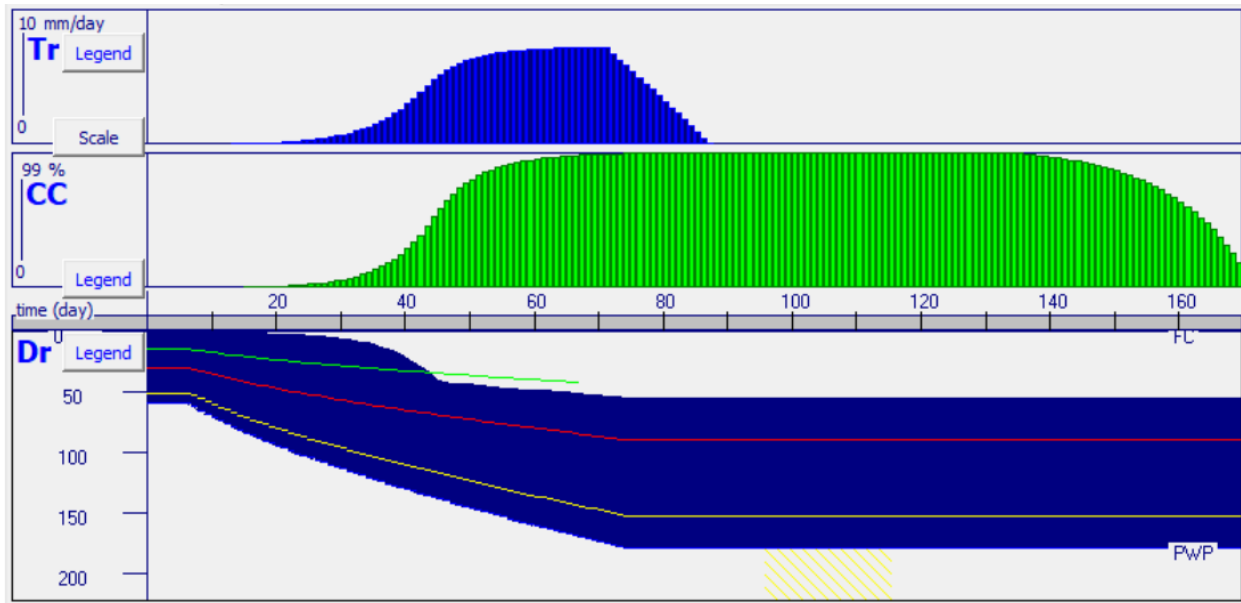


Figura 65. Resumen de resultados obtenidos del programa AquaCROP para la unidad productiva 24.