

DOCUMENTO 1

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Vicerrectoría de Investigación y Extensión

Dirección de Proyectos

Informe Final

**Horticultura protegida en tres zonas
agroecológicas de Costa Rica**

Escuela de Agronomía

Sede Regional, San Carlos

Junio 2012

Tabla de Contenidos

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Objetivos | 4 |
| 2.1. Objetivo general | 4 |
| 2.2. Objetivos específicos | 5 |
| 3. Revisión de Literatura | 5 |
| 4. Metodología | 6 |
| 4.1 Capacitar a cuatro grupos de agricultores en temas relacionados a la horticultura protegida | 6 |
| 4.1.1 Grupos Beneficiarios y Posibles Usuarios | 6 |
| 4.1.2 Cultivos desarrollados | 11 |
| 4.1.3 Producción de las Plántulas | 11 |
| 4.1.4 Capacitación de Grupos sobre temas relacionados a la Horticultura Protegida | 12 |
| 4.2 Diseño y construcción de los invernaderos | 13 |
| 4.3 Evaluación Genotipo Ambiente de cultivos hortícolas en ambiente protegido | 15 |
| 4.3.1 Recolección de información ambiental | 15 |
| 4.3.2 Evaluación y validación de diferentes variedades de hortalizas | 15 |
| 4.3.3 Validación de materiales genéticos de Chile dulce | 22 |
| 4.4 Análisis de diferentes tipos de sustratos orgánicos y minerales usados para cultivo hidropónico | 22 |
| 4.5 Registro de información para producción de hortalizas bajo cultivo protegido | 23 |
| 5. Resultados | 24 |
| 5.1 Capacitación a cuatro grupos de agricultores en temas relacionados a la horticultura protegida | 24 |
| 5.1.1 Siembra y seguimiento de los cultivos en invernadero | 24 |
| 5.1.2 Capacitación sobre temas relacionados a la horticultura protegida | 26 |

| | |
|--|----|
| 5.2 Diseño Agronómico y construcción de los invernaderos | 30 |
| 5.3 Evaluación de la interacción Genotipo Ambiente de cultivos hortícolas en ambiente protegido | 33 |
| 5.3.1 Recolección de información ambiental | 33 |
| 5.3.2 Evaluación y validación de diferentes variedades de hortalizas | 36 |
| 5.4 Análisis de diferentes tipos de sustratos orgánicos y minerales, que pueden ser usados para cultivo hidropónico en ambientes controlados | 37 |
| 5.5 Registro de la información de producción de hortalizas bajo ambientes controlados | 37 |
| 5.5.1 Control de mano de obra y labor | 37 |
| 5.5.2 Conceptos de la Hoja de Trabajo | 38 |
| 5.5.3 Anotaciones de actividades | 39 |
| 5.5.4 Otros conceptos de la Hoja de Trabajo | 41 |
| 5.5.5. Anotaciones de actividades | 42 |
| 5.6 Disposiciones relativas a la calidad | 43 |
| 5.7 Requisitos mínimos | 43 |
| 6. Conclusiones y recomendaciones | 44 |
| 7. Bibliografía | 46 |
| 8. Anexos | 50 |

Lista de Cuadros

| Cuadro | Título | Página |
|---------------|--|---------------|
| Cuadro 1 | Descripción de tres localidades utilizadas para un experimento de producción de tomate en cultivos protegidos. | 17 |
| Cuadro 2 | Evaluación Tratamientos factoriales, tres genotipos de tomate con diferente hábito de crecimiento por tres zonas agroecológicas de Costa Rica. | 19 |
| Cuadro 3 | Descripción de las variables evaluadas durante el experimento, para tres híbridos de tomate en tres localidades de Costa Rica. | 20 |
| Cuadro 4 | Descripción climática de las tres localidades involucradas en el proyecto horticultura protegida en tres zonas agroecológicas de Costa Rica. | 21 |
| Cuadro 5 | Charlas ofrecidas a beneficiarios del proyecto horticultura protegida en tres zonas agroecológicas de Costa Rica. | 27 |

Lista de Figuras

| Figura | Título | Página |
|---------------|--|---------------|
| Figura 1 | Charla de capacitación para la asociación de mujeres activas del INVU de Peñas Blancas llevada a cabo en el salón comunal de la comunidad. | 26 |
| Figura 2 | Preparación de la solución nutritiva completa para ser aplicada por el sistema de riego por goteo, como capacitación para la asociación de productores de San Juan de Peñas Blancas. | 28 |
| Figura 3 | Actividad taller de capacitación sobre tutorado de plantas de chile dulce en invernadero en San Juan de Peñas Blancas. | 30 |
| Figura 4 | Construcción del invernadero de la Asociación de Productores Agropecuarios de San Juan de Peñas Blancas. | 32 |
| Figura 5 | Actividades de Inauguración del invernadero de la Asociación de Productores Agropecuarios de San Juan de Peñas Blancas. | 32 |
| Figura 6 | Interior del invernadero del ITCR-SSC, donde se muestra el piso de color blanco y uso de los contenedores con sustrato para sistema de cultivo hidropónico abierto. | 33 |
| Figura 7 | Software de clima desarrollado para activar a un grupo de sensores climáticos (desarrollado por Arys Carrasquilla, Ing. Ilectrónica ITCR). | 35 |
| Figura 8 | Sensor de clima múltiple autónomo con antena para captación de la información vía bluetooth. | 36 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 9 | Hoja de registro de control de mano de obra y labor Proyecto Horticultura Protegida ITCR-ICE. | 40 |
| Figura 10 | Hoja de Control de Producción Proyecto de Horticultura ITCR-ICE. | 43 |

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Vicerrectoría de Investigación y Extensión
Dirección de Proyectos
Informe final de proyectos de investigación y extensión

Título del proyecto:

“Horticultura protegida en tres zonas agroecológicas de Costa Rica”

Investigadores:

Ing. Carlos Ramírez Vargas, Licenciado, coordinador, Escuela de Agronomía SSC. caramirez@itcr.ac.cr

Ing. Arys Carrasquilla Batista MSc, Escuela de Ingeniería Electrónica, ITCR sede central, acarrasquilla@itcr.ac.cr

Ing. Oscar Córdoba MAE, Escuela de Administración de Empresas, SSC, ocartavia@gmail.com

Resumen

Durante los años 2007 al 2009 se desarrolló un proyecto de investigación y extensión a cargo de la Escuela de Agronomía del ITCR, que consistió en la implementación del sistema de cultivo protegido de hortalizas en tres diferentes zonas agroecológicas: Huetar Norte, Pacífico Norte y Valle Central Occidental. Se construyeron invernaderos, se involucraron como beneficiarios a tres asociaciones de productores y a un productor independiente, a los cuales se les capacitó a través de charlas magistrales y talleres prácticos en tópicos relacionados con horticultura protegida y registro de la información del cultivo y sus labores. Participaron como contraparte el Instituto mixto de ayuda social (IMAS) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), ambos financiaron la construcción de dos invernaderos. El ICE participó con apoyo logístico y en la compra de materiales y equipo necesario para la implementación del sistema. Se desarrolló investigación para determinar la interacción genotipo-ambiente en el cultivo de tomate y en el uso de sustratos para hidroponía, se construyó un sensor de variables climáticas por parte de la Escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR para uso dentro de los invernaderos. Se logró obtener asociaciones capacitadas en el cultivo protegido de chile dulce y tomate, registro de información del desarrollo de la actividad, interpretación y utilización para la toma de decisiones, así como conocimiento acerca del comportamiento de las especies de cultivo dentro de sistemas protegido de cultivo en tres diferentes zonas agroecológicas.

Palabras Claves

Horticultura protegida, Hidroponía, Sustratos, Invernadero, Chile Dulce, Tomate.

1. Introducción

El cultivo de hortalizas en Costa Rica se ha desarrollado principalmente a campo abierto en la región denominada Valle Central, que es una zona agroecológica con condiciones ambientales y de suelo aptas para esta clase de cultivos, sin embargo esta región presenta un alto crecimiento urbanístico, industrial y comercial, por tal razón las zonas de cultivo han sido desplazadas a áreas menos apropiadas donde la población no tiene una cultura hortícola desarrollada.

El desarrollo de nuevas tecnologías de cultivo podrían facilitar la producción de hortalizas en ambientes no aptos para su cultivo, tal es el caso de los sistemas de cultivo protegido, de riego localizado, climatización, uso de sustratos e hidroponía, que proveen a las plantas de cultivo un ambiente óptimo de crecimiento disminuyendo el impacto negativo que el entorno puede tener para su desarrollo y producción. La horticultura protegida surge como una alternativa de producción en condiciones extremas de bajas temperaturas como es el norte de Europa, donde en países como Holanda la tecnología de cultivo en invernaderos a llegado a tal grado de avance que es posible cultivar en condiciones de total control climático con automatización de todos los sistemas y que garantizan la provisión de hortalizas a lo largo de todo el año (Bastida y Ramírez, 2002).

Los cultivos protegidos, no son necesariamente aquellos en que se utiliza una estructura llamada invernadero para su cultivo y mantenimiento, sino que se ha dado esta denominación a cultivos que también han implementado tecnologías de manejo del suelo, como lo es la plasticultura y el uso de micro túneles, así como la sustitución del suelo para cultivo o bien la modificación de éste. El cultivo protegido es un sistema especializado donde las condiciones

de suelo y climáticas son modificadas en cierta medida con el objetivo de obtener productos de alto valor agregado como los son flores, ornamentales de follaje, hortalizas, frutas y especias entre otras, así como hacer un uso más eficiente del agua y aprovechar al máximo el terreno por aumento en las productividades (Castilla, 2005).

En Costa Rica, como se mencionó anteriormente, la horticultura a campo abierto está perdiendo terreno, y para algunas especies de hortalizas la factibilidad de siembra en otras regiones distintas al Valle Central es casi nula por las condiciones ambientales y de suelo, con excepción de algunos cultivos como el Melón y la Sandía que son cultivados con éxito en regiones como Guanacaste, aunque restringido a la estación seca. Para el caso de otros tipos de actividad como el cultivo de tomate y chile dulce, agricultores entrevistados por el investigador, mencionan tres problemas principales de la horticultura a campo abierto, que son: 1- Plagas insectiles y enfermedades provocadas por bacterias y hongos del suelo, que obligan a hacer aplicaciones excesivas de plaguicidas que incrementan los costos de producción, 2- La fertilidad de los suelos, y sus condiciones particulares de fijadores de nutrientes, lo que afecta la eficiencia de los fertilizantes aplicados, y por último: 3- El Mercado, que es impredecible y muy fluctuante, y que no hace diferenciación entre un producto proveniente de invernadero y uno de campo abierto, esto es cierto principalmente para el mercado nacional que es a dónde va la mayoría de la producción de estas hortalizas¹

Con el aumento de la población y la mala infraestructura vial para el transporte dentro del país, la provisión de hortalizas de calidad a las regiones alejadas del Valle Central se dificulta, la alternativa de producción y consumo local dependerá de la factibilidad de la implementación de sistemas de cultivo que hagan exitosa la producción de hortalizas y su comercialización.

¹ Castillo M.; Carvajal A.; Jaen M. 2005. Comunicación Personal

En Costa Rica la mayoría de las hortalizas se comercializan en el mercado de mayoreo conocido como CENADA ubicado en el Valle Central, y de donde se distribuyen las hortalizas al resto del país con un costo importante en intermediación y transporte.

La producción local de hortalizas en zonas alejadas del Valle Central se dificulta por sus condiciones agroecológicas; sin embargo, sería posible con la implementación de sistemas de cultivo protegido producirlas en estas regiones a lo largo del año. El reto de la implementación de esta tecnología en el trópico, requiere entre otras cosas, la evaluación del sistema en términos de los materiales vegetales a utilizar, las condiciones climáticas imperantes, el diseño agronómico de la estructura de cultivo y del sistema en su totalidad. La horticultura protegida en el trópico no puede ser una extrapolación directa de los sistemas desarrollados en zonas templadas, sin embargo, si se pueden tomar en cuenta el desarrollo tecnológico en términos de estructuras, materiales y equipo, para su implementación, modificación y validación para las condiciones tropicales.

Debido a la alta inversión inicial que implica el desarrollo de proyectos en Horticultura Protegida, es necesaria la investigación sobre validación del sistema en diferentes condiciones posibles de expansión futura de la actividad, se hace necesario la investigación que aporte resultados que busquen el desarrollo de técnicas para condiciones particulares de una zona en cuestión, que implique desde la evaluación y selección de materiales genéticos que nos garantice una alta productividad y calidad, así como su relación con el ambiente (modificado ahora con el uso del ambiente controlado) a lo largo del ciclo del cultivo, manejo alternativo de plagas agrícolas, nutrición vegetal, riego y fertirriego, así como la factibilidad económica de la actividad, todo esto para disminuir el riesgo de implementación por desconocimiento de tecnologías aplicadas en otros países con condiciones de clima y de mercado muy disímiles al nuestro.

Se hace necesaria también la acción conjunta entre el investigador y el horticultor, a través de actividades de capacitación y de investigación que generen

diferentes apreciaciones frente a un problema, en miras a la búsqueda de soluciones que implica la implementación de una tecnología relativamente nueva como lo es el cultivo de hortalizas en ambientes protegidos.

El proyecto se plantea desde la óptica de investigación y extensión, con el fin de validar en el campo la tecnología y el aporte social a las comunidades destinatarias, para tal efecto se diseña una estructura de cultivo base tomando en cuenta las condiciones ambientales, una vez construido el prototipo de invernadero, se implementará la tecnología para su funcionamiento, además se formará a los destinatarios, mediante capacitación como talleres, pruebas de campo, lecciones teóricas y otras.

Además se dará acompañamiento durante todo el ciclo del cultivo en la parte técnica y administrativa. Se desarrollará un instrumento de medición ambiental, que nos ayudará a la toma de decisiones técnicas en base en registro de información de clima como temperatura, humedad relativa, luz y concentración de CO₂, aprovechando el conocimiento generado en la escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR.

Para desarrollar la temática se plantearon los siguientes objetivos:

2. Objetivos:

2.1. Objetivo General:

Evaluar el efecto de la implementación del sistema de producción bajo ambiente controlado en la productividad de cultivos hortícolas en diferentes zonas agroecológicas del país.

2.2. Objetivos Específicos:

- Capacitar a cuatro grupos de agricultores en temas relacionados a la horticultura protegida.
- Diseñar y construir una estructura de cultivo bajo ambiente controlado (Invernaderos) para tres zonas agroecológicas distintas, que son: Región Huetar Norte, Pacífico Norte y Valle Central.
- Evaluar la interacción Genotipo Ambiente de cultivos hortícolas en ambiente protegido
- Analizar los diferentes tipos de sustratos orgánicos y minerales, que pueden ser usados para cultivo hidropónico en ambientes controlados.
- Registrar la información de producción de hortalizas bajo ambientes controlados.

3. Revisión de Literatura

Para tal efecto se redactó un artículo referido a la situación de la horticultura protegida en Costa Rica, este artículo corresponde al anexo 3 y se titula **Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica**

4. Metodología

4.1. Capacitación a cuatro grupos de agricultores en temas relacionados a la horticultura protegida.

4.1.1. Grupos Beneficiarios y Posibles Usuarios

En el proyecto involucró a cuatro grupos de productores, de los cuales dos fueron asociaciones, sin experiencia demostrada en producción de hortalizas, otra asociación con experiencia, pues trabajó en el cultivo de hortalizas a campo abierto desde hace seis años, un cuarto beneficiario correspondió a un empresario hortícola que siempre ha trabajado sus cultivos a campo abierto, y desea implementar el sistema de producción bajo ambiente controlado como una alternativa a futuro para la producción de sus hortalizas.

Los grupos involucrados con el proyecto fueron:

-Asociación de Productores Agrícolas de San Juan de Peñas Blancas, ubicados en el Distrito de Peñas Blancas, cantón de San Ramón, provincia de Alajuela.

Este grupo de productores está integrado de forma mixta por familias de productores agrícolas, con experiencia en actividades pecuarias y de siembra de raíces y tubérculos, en años pasados habían desarrollado pequeñas siembras de chiles picantes y tomate a campo abierto y con relativo éxito, teniendo inconvenientes de clima por la excesiva precipitación de la zona, dentro del interés mostrado por los miembros de la asociación, que asciende a 18, está involucrar a los estudiantes de la telesecundaria de la comunidad en el aprendizaje y desarrollo de una actividad de horticultura protegida.

El nivel de escolaridad del grupo es bajo, la mayoría de sus miembros adultos apenas cursaron la escuela primaria, sin embargo los hijos de muchos de

ellos cursan actualmente la educación secundaria, los cuales están motivados en ingresar a la universidad.

El grupo, al igual que el de mujeres del Invu, contactaron al ITCR a través del ICE con el compromiso de esta última institución de financiar la construcción del invernadero.

La comunidad de San Juan de Peñas Blancas se desarrolló a partir del sistema de parcelas del IDA en los 80s y 90s, están integrados gracias a asociaciones de desarrollo comunal, evidenciándose que el tipo de liderazgo se traslada del grupo comuna al grupo productivo.

El terreno disponible para la construcción del invernadero, fue cedido por uno de los integrantes del grupo, que es uno de los líderes.

La asociación demuestra además que tiene capacidad de organización porque cuenta con una soda que administran y generan recursos que aportan a su actividad en el invernadero.

-Asociación de Mujeres Activas del INVU de Peñas Blancas, ubicado en el Distrito de Peñas Blancas, cantón de San Ramón, provincia de Alajuela.

Este grupo está constituido únicamente por mujeres con un número de 16 integrantes, su nivel de escolaridad promedio es bajo, básicamente ninguna de ellas ha cursado la educación secundaria y apenas pudieron cursar unos años de educación primaria, la mayoría de ellas se ha dedicado a las labores domésticas o bien trabajando como empleadas ocasionales en plantas empacadoras de raíces y tubérculos, las edades de las integrantes oscilan entre los 25 y 75 años, predominando la edad entre 35 y 50 años de edad.

Como asociación de mujeres han tenido inconveniente de organización y aceptación local debido en mucho al carácter machista de la sociedad en que se encuentran, pese a ello la presidenta ha tenido la capacidad de liderazgo

suficiente para mantener al grupo unido y motivado con miras a la superación constante como grupo.

Este grupo no tenía experiencia en labores agrícolas y menos en labores hortícolas y mucho menos aún en sistemas de cultivo protegido, pese a ello existió una actitud positiva al aprendizaje de una actividad nueva para ellas aunque no tan ajena, porque la mayoría han trabajado en plantas empacadoras donde adquirieron el conocimiento de la transformación y valor agregado de un producto, en su mayoría raíces y tubérculos.

Tomando en cuenta que por tratarse de un grupo femenino con deseos de superación, y que busca la equidad de género, ellas propusieron la idea de construir un invernadero para producción de chile dulce al Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS), quienes le hicieron ver la necesidad de que la actividad debía contar con un “acompañamiento” de tipo técnico para que funcionara, por tal razón contactaron a la unidad de manejo de la cuenca del río Peñas Blancas del ICE, quienes le mencionaron la idea de proyecto a realizar con el ITCR acerca de la producción hortícola en invernaderos, y para que les ayudaran en la gestión de construir el invernadero y desarrollar la actividad productiva. Por decisión unánime de las integrantes de la asociación, se decidió trabajar únicamente con el cultivo de chile dulce, ya que tienen la posibilidad de comercializarlo a través de la feria del agricultor de la Fortuna de San Carlos y venta directa en la comunidad.

-Asociación de Horticultores de San Blas, ubicados en San Blas del cantón de Carrillo, provincia de Guanacaste.

Esta asociación tiene más de 10 años de existencia, y se ha dedicado desde su fundación al cultivo de chile jalapeño a campo abierto, manteniendo al menos dos hectáreas de este cultivo al año.

Los integrantes de esta asociación son finqueros de la zona que decidieron cambiar de actividad, ya que se dedicaban anteriormente al cultivo de la caña de

azúcar y a la cría de ganado de engorde de tipo extensiva. La motivación al cambio de actividad se dio por la baja rentabilidad que tenían con esas actividades, y desde el momento en que se concretó como asociación empezaron la actividad hortícola con miras a la expansión y uso intensivo de las tierras.

Como parte de las actividades paralelas de la actividad hortícola a campo abierto, decidieron gestionar la construcción de un invernadero para la producción de plántulas para sus siembras y ofrecer al servicio de confección a otros productores de la zona. Por tal razón se integraron al proyecto denominado Prodapen, que tenía como objetivo el desarrollo económico de la península de Nicoya, y fue a través de este proyecto que se consiguió el financiamiento de la construcción de un invernadero y la asesoría técnica para el manejo del mismo, este invernadero cuenta con un área de 480 m² con todo el equipamiento para riego.

Esta asociación cuenta, entonces, con experiencia en la actividad hortícola, y sus miembros cuentan con un nivel de escolaridad relativamente alto, donde hay integrantes con educación universitaria en administración de empresas, educación, medicina y otras profesiones.

-Señor Humberto López, Zapote de Alfaró Ruiz agricultor independiente.

Este productor se ha dedicado a la producción y comercialización de varios productos de tipo agropecuario, él cuenta con dos galpones de gallinas ponedoras, tres invernaderos y una hectárea de terreno donde siembra hortalizas a campo abierto.

Dentro de los cultivos que siembra dentro de los invernaderos ha predominado las especias como albahaca, orégano, tomillo y otras, sin embargo ha tenido interés en sembrar hortalizas como chile dulce y tomate, éste último con interés en el cultivo hidropónico con uso de control biológico.

Los tres invernaderos suman un área total de cerca de los 1000 m², y posee infraestructura de riego por goteo y sistema de inyección de fertilizantes, es un invernadero donde se ha hecho uso intensivo del suelo, por lo que el productor desea probar otros sistemas de producción donde no haya dependencia del suelo con el objetivo de darle “un descanso” al terreno.

Este productor tiene la ventaja de que cuenta con una línea de comercialización directa de sus productos a diferentes supermercados del valle central y la zona atlántica.

Para el caso de las asociaciones ubicadas en el Distrito de Peñas Blancas, existió el compromiso por parte la Unidad de Manejo de la Cuenca del Río Peñas Blancas del Instituto Costarricense de Electricidad, para el aporte del dinero con el que se construyeron los invernaderos de tales asociaciones, así como el involucramiento de profesionales en Agronomía y Sociología Rural, para el apoyo y seguimiento del proyecto.

Todos los grupos involucrados, se comprometieron a llevar a cabo el proyecto tal como se planteó, siguiendo las indicaciones de los profesionales a cargo, aportando de parte de ellos la mano de obra necesaria para todas las actividades. El producto del cultivo de las hortalizas fue de dichos grupos, todos ellos tuvieron claro y asegurado su destino comercial, para el caso de las asociaciones de Peñas Blancas, poseen puestos de ventas en Ferias del Agricultor de la zona, en el caso de la asociación de Horticultores de San Blas, ellos poseen contratos fijos de compra de las hortalizas por parte de un hotel de la zona, y el señor Humberto López posee contratos de distribución en supermercados.

4.1.2. Cultivos desarrollados:

El interés manifestado por los diferentes grupos involucrados en cuanto a las especies de hortalizas a cultivar fue variable, para el caso de las asociaciones de Peñas Blancas, les gustaría producir variabilidad de hortalizas, con el fin de aprovechar el espacio comercial que tienen en las Ferias del Agricultor, de modo que pueden ofrecer cualquier tipo de producto; sin embargo hicieron énfasis en el chile dulce y en tomate, pero adicional también el cultivo de lechugas y otras hortalizas de hoja como culantro. Los otros grupos fueron bastante puntuales en tomate, chile dulce y chile Jalapeño, éste último de interés particular de la Asociación de Horticultores de San Blas ya que es el cultivo que han desarrollado desde su formación hace seis años. El señor Humberto López tiene interés principal en tomate y chile dulce. Resumiendo, los cultivos de mayor interés de parte de todos los grupos involucrados fueron:

- Tomate (*Lycopersicon sculentum*)
- Chile dulce y Jalapeño (*Capsicum annum*)

4.1.3. Producción de las Plántulas:

Las hortalizas mencionadas en el apartado anterior, requieren del uso del sistema de producción de plántulas en invernadero, esto debido al alto precio de la semilla, así como la prevención de problemas fitosanitarios, y también para asegurar una calidad de planta en el proceso de propagación.

Para el proceso de germinado de la semilla y de la producción de las plántulas se requiere de un invernadero especializado para este propósito, se acondicionó un estructura de 120 metros cuadrados en la Sede Regional del Instituto Tecnológico de Costa Rica en San Carlos, o bien se contrató el servicio a un invernadero especializado.

4.1.4. Capacitación de Grupos sobre temas relacionados a la Horticultura Protegida:

Se llevaron a cabo una serie de charlas y talleres de capacitación a los agricultores del proyecto sobre temas concernientes a Horticultura Protegida, gran parte de estas charlas se ofrecieron previo a la construcción de los invernaderos y a las siembras de los cultivos, con el objetivo de que ellos conocieran las razones por las que el sistema de cultivos en ambientes controlados implica un cambio de mentalidad y por consiguiente un cambio de paradigma, que siempre trae consigo cierto grado de oposición.

Las actividades se llevaron a cabo en locales o sitios cercanos a la zona de cada uno de los grupos, y también se usaron las instalaciones y equipo audiovisual de la Sede Regional del ITCR, algunas de las charlas y talleres prácticos se realizaron *in situ*, procurando que los agricultores se familiarizaran con la nueva tecnología de cultivo (aprender haciendo).

Temario para las charlas de capacitación

- Razones y justificación de la producción de hortalizas bajo ambientes controlados, concepto de cultivos protegidos, ¿Qué son los invernaderos?
- Nutrición de las plantas.
- Fertilización de los cultivos bajo invernadero.
- Cultivo hidropónico, concepto y uso de sustratos para cultivo.
- Riego y fertirrigación.
- Prácticas culturales hortícolas dentro de un ambiente controlado.
- Protección de cultivos: concepto de plaga y enfermedad, porque se dan.
- Manejo alternativo de plagas y enfermedades en la horticultura

- Uso de semillas mejoradas en la horticultura.
- Uso de registro controles de producción, mano de obra e insumos utilizados en el cultivo.
- Definición de los parámetros y especificaciones de calidad .

Temario de talleres prácticos de capacitación:

- Trasplante y uso de semillas en la horticultura.
- Como regar y fertirrigar, uso de inyectores y otros equipos.
- Monitoreo de plagas y enfermedades.
- Evaluación de sustratos para el cultivo hidropónico.
- Confección soluciones nutritivas y uso de instrumentos de medición.
- Podas, deshijas, tutorado, manejo de la arquitectura y biomasa de la planta.

4.2. Diseño y construcción de los invernaderos

De acuerdo a las condiciones ambientales predominantes de cada una de las zonas donde se encontraban ubicados los grupos destinatarios del proyecto, se propuso un diseño agronómico de los invernaderos, donde se tomó como factores determinantes la velocidad y dirección de los vientos predominantes, la velocidad y dirección de los vientos más fuertes, la intensidad lumínica a lo largo del año, las temperaturas mínimas y máximas durante el año y durante el día así como su fluctuación, la humedad relativa, la precipitación y la evapotranspiración.

A través del uso de fórmulas y tomando en cuenta las consideraciones particulares de los cultivos hortícolas, se diseñó el invernadero dando principal énfasis a los siguientes aspectos: Cubierta plástica del techo, cubierta de las paredes, tipo de malla antiinsectos, cobertura del suelo, anclaje de la estructura, materiales a utilizar para los postes y el sistema de tutorado, además de la ventilación cenital, las dimensiones de la estructura también se determinarán

utilizando los factores climáticos como referencia. El área propuesta para cada invernadero fue de 300 metros cuadrados.

Para efectos de ayuda en el diseño, se contó con la colaboración del estudiante de doctorado en horticultura protegida de la Universidad Autónoma de Chapingo, el M.Sc. Antonio Morales Maza

Se propuso diseñar y construir tres invernaderos: el de la Asociación de Mujeres Activas del Invu de Peñas Blancas, el de la Asociación de Productores Agropecuarios de San Juan de Peñas Blancas y el invernadero de la Sede Regional del I.T.C.R. en Santa Clara.

La Asociación de Horticultores de San Blas, tenía un invernadero acondicionado para la producción de plántulas, por lo que se acondicionó para la producción de hortalizas. Las características de este invernadero eran: una estructura de 480 metros cuadrados, con dimensiones de 10 metros de ancho 48 de largo y 7 de alto a la cumbrera con un monitor de 1 metro de ancho, esta estructura está ubicada a lo largo de norte a sur, las paredes son de malla blanca de nylon anti insectos (32 x 32 hilos por pulgada lineal), el techo cubierto con plástico transparente con protección para rayos ultravioleta, el piso del invernadero está cubierto con una alfombra plástica de color negro que permite el drenaje de líquidos conocida como "grown cover", este invernadero fue diseñado y construido por el coordinador del proyecto en el año 2001, y financiado mediante el proyecto Prodapen.

El señor Humberto López, también tenía ya construido sus invernaderos, el cuenta con tres módulos que suman en total cerca de los 1000 metros cuadrados, cada módulo es de 10 metros de ancho por 33 de largo, con una altura de cumbrera de 6 metros con monitor de 0,8 metros de ancho, uno de los módulos está cubierto con "grown cover" de color blanco y los otros se utiliza el suelo con incorporación de abono orgánico. La cobertura de paredes y el techo es igual que el de la asociación de San Blas.

Para el caso de los demás grupos beneficiarios, los invernaderos se construyeron con el aporte en mano de obra de los miembros de las asociaciones, los materiales utilizados fueron tubos de hierro galvanizado para la estructura básica, y la cobertura del invernadero se hizo con plásticos y malla anti insectos de calibre según determinación previa del diseño.

Respecto al sistema de riego y fertirriego, se instaló un sistema por goteo, que incluyó desde los inyectoros hasta la tubería de distribución, para este sistema se valoró previamente la disponibilidad de agua y la fuente de la misma, así como el caudal y la presión disponible, con esta información se escogió el tipo de cinta de riego por goteo a implementar y la automatización a través del uso de válvulas eléctricas conectadas a un sistema automático de frecuencia de riego.

4.3. Evaluación Genotipo Ambiente de cultivos hortícolas en ambiente protegido

4.3.1. Recolección de información ambiental:

Se desarrolló un sistema electrónico de sensores para recolección de datos climáticos, especialmente adaptado al modelo de invernadero. Los datos recolectados fueron: temperatura, humedad relativa, luz y concentración de CO₂.

4.3.2. Evaluación y Validación de Diferentes variedades de hortalizas:

Para la evaluación de los materiales genéticos disponibles en el mercado de semillas del país, se llevaron a cabo ensayos formales con el objetivo de determinar la interacción Genotipo-Ambiente, y buscar con ello los materiales de semillas que funcionaran mejor en ambiente controlado, debido al interés principal en el cultivo del tomate, es que se planteó un ensayo formal de investigación donde se evaluaron una serie de variables, que incluyeron lo relacionado a la

productividad y las variables asociadas al crecimiento del cultivo, todo esto para las tres zonas de influencia del proyecto.

Se planteó un experimento como parte de la tesis doctoral del investigador principal que se denominó:

“Crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo cultivo protegido hidropónico en tres localidades de Costa Rica”

La metodología para tal experimento se describe a continuación:

Descripción general:

Se sembraron en tres localidades de Costa Rica, tres híbridos de tomate con diferente hábito de crecimiento dentro de invernaderos bajo sistema hidropónico; se mantuvo el cultivo durante seis meses, y se hicieron evaluaciones de variables de crecimiento y producción. En cada una de las localidades, se utilizó un invernadero construido según las condiciones climáticas y se midieron variables ambientales a lo interno de la estructura. El experimento consistió de tres ensayos idénticos, uno en cada localidad seleccionada y se sembraron de forma consecutiva, no simultáneamente.

Localización del experimento y período de estudio:

Las tres localidades de Costa Rica seleccionadas fueron: San Blas de Carrillo, provincia de Guanacaste, Santa Clara de San Carlos, provincia de Alajuela y Zapote de Zarceros provincia de Alajuela. Los períodos en que se llevaron a cabo los ensayos fueron: Para San Blas del 20 de julio al 20 de diciembre del 2007, en Santa Clara, del 1 de julio al 6 de diciembre del 2008, y por último en Zapote de Zarceros del 2 de marzo al 2 de agosto del 2009. Se escogieron estas localidades por sus diferencias climáticas, de altitud y zonas de vida según Holdbridge (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de tres localidades utilizadas para un experimento de producción de tomate en cultivos protegidos.

| Localidad | Altitud (msnm) | Temp. (°C) (min y max) | Precipitación anual (mm) | Zona de vida según Holdridge |
|--|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| San Blas de Carrillo, Guanacaste | 50 | 17 – 32 | 1500 | Bosque seco tropical |
| Santa Clara de San Carlos, Zona norte | 170 | 15 – 30 | 3500 | Bosque húmedo tropical |
| Zapote de Zarcero, Valle Central occidental | 1500 | 10 – 22.5 | 2000 | Bosque húmedo premontano |

Fuente: http://www.imn.ac.cr/mapa_clima/altas_clima/

Descripción de los invernaderos

Los invernaderos utilizados en el experimento fueron similares entre sí, todos tenían diseño tipo capilla con monitor o ventana cenital en la parte superior de la estructura y techo en forma de arco. Las paredes estaban cubiertas de malla antiáfidos de nylon color blanco (Arrigoni, Italia), con una densidad de 32 x 32 hilos por pulgada lineal. El techo del invernadero estaba cubierto de plástico transparente con revestimiento para el filtraje de las radiaciones ultravioleta (Lirsa, Italia). El piso del invernadero estaba cubierto con una alfombra plástica semipermeable (Agritela, arrigoni, Italia); se utilizó de color blanco (Agritela Reflex,

Arrigoni, Italia) en los invernaderos de Santa Clara y Zapote de Zarcero, y de color negro (Agritela Nera, Arrigoni, Italia) en el invernadero de San Blas de Carrillo, se escogió estos dos tipos de cobertura, principalmente porque en las localidades de Santa Clara y Zapote la luminosidad es más baja que en la localidad de San Blas, el color blanco de la cobertura favorece la reflectancia de la luz.

Las dimensiones de los invernaderos variaron ligeramente según la localidad, para el invernadero de San Blas de Carrillo las medidas fueron de 10 metros de ancho por 48 metros de largo, con apertura cenital de 1 metro de ancho, una altura de pared de 5 metros y una altura total de 7 metros. El de Santa Clara de San Carlos fue de 9 metros de ancho, un largo de 30 metros, una altura de paredes de 4,5 metros, con una altura total de 7,5 metros, la apertura cenital es de 1,2 metros de ancho. El invernadero de Zapote de Zarcero tiene 3,5 metros de altura de pared, una altura total de 6,5 metros, tiene monitor cenital de 0,8 metros de ancho, con un ancho de 10 metros y una longitud de 30 metros.

Material experimental

El material vegetal utilizado consistió de tres híbridos de tomate tipo bola (*Lycopersicon esculentum* M), estos fueron: Híbrido “LSL 449” (Divine Ripe, Israel) con hábito de crecimiento semideterminado, híbrido “Qualyt 21” (Syngenta Rogers Seeds, Estados Unidos) con hábito de crecimiento determinado y el híbrido “Sabbia” (Nunhems seeds, Holanda) con hábito de crecimiento indeterminado.

Diseño experimental, tratamientos y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue un irrestricto al azar; un factorial 3 x 3, donde interactuaron los tres híbridos con las tres localidades, para nueve tratamientos resultantes de la interacción (Cuadro 2). El número de repeticiones por tratamiento fue de cinco, o sea 15 unidades experimentales por localidad y un

total de 45 unidades. La unidad experimental consistió de una hilera de 10 plantas, con una parcela útil de seis plantas, las cuatro restantes fueron una sub-muestra utilizada para muestreos destructivos.

El modelo del experimento fue el siguiente: $Y_{ij} = \mu + t_i + l_j + (t^*l)_{ij} + \varepsilon_{ij}$

Donde “t” son los híbridos de tomate, “l” las localidades, “(t*l)” a la interacción híbridos (genotipos) con las localidades, “μ” es la media general, y “ε” es el error.

Cuadro 2. Tratamientos factoriales, tres genotipos de tomate con diferente hábito de crecimiento en tres zonas agroecológicas de Costa Rica.

| <i>Interacción</i> | <i>Nombre genotipo</i> | <i>Hábito crecimiento</i> | <i>Localidad</i> | <i>Abreviación</i> |
|-------------------------|------------------------|---------------------------|------------------|--------------------|
| Gte x determinado | Qualyt 21 | Determinado | Guanacaste | Gte-Det |
| Gte x Semideterminado | LSL 449 | Semideterminado | Guanacaste | Gte-SemiDet |
| Gte x Indeterminado | Sabbia | Indeterminado | Guanacaste | Gte-Indet |
| Sn Carlos x Determinado | Qualyt 21 | Determinado | San Carlos | SC-Det |
| Sn Carlos x Semidet | LSL 449 | Semideterminado | San Carlos | SC-SemiDet |
| San Carlos x Indet | Sabbia | Indeterminado | San Carlos | SC-Indet |
| Zarcero x Determinado | Qualyt 21 | Determinado | Zarcero | Zar-Det |
| Zarcero x Semidet | LSL 449 | Semideterminado | Zarcero | Zar-Semidet |
| Zarcero x Indeterminado | Sabbia | Indeterminado | Zarcero | Zar-Indet |

VARIABLES EVALUADAS

En el cuadro 3 se presentan las variables evaluadas en el experimento.

Cuadro 3. Descripción de las variables evaluadas durante el experimento, para tres híbridos de tomate en tres localidades de Costa Rica

| Variable | Abreviación | Unidad de medición | Frecuencia medición |
|--|--------------------|---------------------------|----------------------------|
| Peso seco total | PST | Gramos/planta | Mensual |
| Peso seco follaje | PSF | Gramos/planta | Mensual |
| Peso seco de tallo | PSTLL | Gramos/planta | Mensual |
| Peso seco de raíz | PSR | Gramos/planta | Mensual |
| Peso seco vegetativo | PSV | Gramos/planta | Mensual |
| Peso seco de frutos | PSFr | Gramos/planta | Mensual |
| Relación vegetativa entre productiva | Veg/Frut | Sin unidades | Mensual |
| Altura de planta | AltPlant | Centímetros | Semanal |
| Grosor de tallo | Grosor | Centímetros | Semanal |
| Hojas por planta | H/PI | Número de hojas | Semanal |
| Racimos por planta | Rc/PI | Número de racimos | Semanal |
| Flores abiertas por planta | FI/PI | Número de flores | Semanal |
| Frutos por planta | Fr/PI | Número de frutos | Semanal |
| Flores promedio por racimo | FI/Rac | Número de flores | Semanal |
| Frutos promedio por racimo | Fr/Rac | Número de frutos | Semanal |
| Peso total de frutos por planta | Grs/PI | Gramos | Semanal |
| Peso promedio de frutos | Pfrut | Gramos | Semanal |
| Producción en Kilogramos de frutos por metro cuadrado | Kg/m ² | Kilogramos | Semanal |
| Índice de área foliar * | IAF | Sin unidades | Semanal |

* Método sugerido por Blanco y Folegatti (2003)

Variables asociadas a la medición del ambiente dentro de los invernaderos:

La temperatura en grados Celsius y humedad relativa en porcentaje, mínimas y máximas, se tomaron a diario a las 7:30 am con un higrotermómetro digital (Precision, USA) ubicado en medio del cultivo a una altura de 1,5 metros. La luminosidad se midió en luxes diariamente dentro de los invernaderos a las 12:00 m, y se utilizó un luxómetro (Luxom Precision, USA).

Cuadro 4. Descripción climática de tres localidades utilizadas para un experimento de producción de tomate en cultivos protegidos

| Localidad | Altitud (msnm) | Temperaturas (min y max) | Precipitación anual (mm) | Zona de vida según Holdridge |
|---|----------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| San Blas de Carrillo, Guanacaste | 50 | 17 – 32 | 1500 | Bosque seco tropical |
| Santa Clara de San Carlos, Zona norte | 170 | 15 – 30 | 3500 | Bosque húmedo tropical |
| Zapote de Zarcero, Valle Central occidental | 1500 | 10 – 22.5 | 2000 | Bosque húmedo premontano |

Fuente: http://www.imn.ac.cr/mapa_clima/altas_clima/

Análisis estadístico:

Se llevó a cabo un análisis de componentes principales para entender las relaciones entre las variables (Borrego *et al*, 2001). Para cada una de las variables seleccionadas, se llevaron a cabo análisis de variancia y pruebas de diferencias entre medias (Tuckey, $p=0,05$). Se utilizó el programa JMP de SAS Institute versión 8 para el análisis estadístico.

Manejo agronómico del cultivo y sistema de siembra

Los cultivos se manejaron de manera similar para las tres localidades, el sistema de cultivo fue de tipo hidropónico con uso de sustrato inorgánico en maceteros individuales. Se utilizaron plántulas de 30 días de edad al momento del trasplante, y se les aplicó *Trichoderma* spp incorporado en el sustrato (Germination Mix, Fafard, Canadá), y Confidor 70 WG (Imidacloprid) (Bayer, Alemania) como insecticida preventivo.

Se trasplantó una planta por maceta de 10 litros, el sustrato utilizado fue arena de los ríos Peñas Blancas para los invernaderos de San Carlos y Zarcero, y del río Tempisque para el de Guanacaste. Luego se aplicó riego por goteo con solución hidropónica completa a una frecuencia de nueve riegos diarios de 2 a 5 minutos cada uno programados con un temporizador (Nelson timer, USA). A las plantas se les dejó dos ramas o guías principales, que se tutoraron con dos cuerdas por planta y se podaron los brotes laterales.

Las macetas se colocaron en hileras de nueve metros de largo, con una distancia entre ellos de 0,4 metros y entre hileras de 1,5 metros, para una densidad de 16 665 plantas por hectárea.

Manejo de plagas y enfermedades:

Las plagas y enfermedades se manejaron usando control biológico y químico cuando fue necesario, se usaron de manera preventiva aplicaciones de hongos antagonistas y entomopatógenos, como *Trichoderma* spp *Paecilomyces* spp y *Metarrhizium* spp, y los insecticidas Imidacloprid (Confidor 70 WG) y Abamectina (Vertimec), además de los fungicidas Metalaxil (Ridomil MZ) y Sportak (Bayer, Alemania).

4.3.3. Validación de materiales genéticos de Chile Dulce:

Material de chile dulce (*Capsicum annum*):

Tomando en cuenta el mercado y la factibilidad del cultivo, se evaluó el material genético híbrido Natalie de la casa de semillas norteamericana Syngenta Roger-Seeds.

4.4. Análisis de diferentes tipos de sustratos orgánicos y minerales, usados para cultivo hidropónico.

Para llevar a cabo la evaluación de diferentes tipos de sustratos en el cultivo de hortalizas bajo sistema protegido, se asignaron dos trabajos de investigación con la colaboración de estudiantes de la carrera de agronomía del ITCR-SSC.

4.5. Registro de información para producción de hortalizas bajo cultivo protegido.

Debido a la importancia en la toma de datos y levantamiento de registros, se llevó a cabo una capacitación continua en el uso de herramientas para registro de información, para lo cual se contó con la colaboración del MAE Oscar Córdoba de la carrera de Administración de Empresas del ITCR-SSC. Se propuso diseñar una tabla de recolección de información pertinente a los registros de producción, mano de obra, labores propias del cultivo y horas trabajadas. Todo para recolectar datos que proporcionen información al sistema de costos de mano de obra, ventas y calidad.

5. Resultados

5.1. Capacitación a cuatro grupos de agricultores en temas relacionados a la horticultura protegida

5.1.1. Siembra y seguimiento de los cultivos en invernadero

Luego de haber establecido los invernaderos, de haber instalado y probado los sistemas de riego y haber recibido capacitación tanto de charlas como de talleres prácticos, se planificó un cronograma de siembras y actividades a lo largo del año para cada uno de los grupos, basados en programas de fertilización, monitoreo de plagas y enfermedades, así como un presupuesto de insumos a utilizar, semilla o almácigo necesario para programar para la siembra en el invernadero de producción de almácigos. Se procedió a hacer las siembras de los cultivos elegidos y de los ensayos de validación de materiales.

Para cada uno de los grupos involucrados en el proyecto se sembraron los cultivos de interés y en la época factible para dar inicio, se hicieron bitácoras de control fenológico y crecimiento del cultivo, monitoreo de plagas y enfermedades, gastos de insumos y mano de obra, controles de cosechas y ventas, el seguimiento de los cultivos generó una serie de registros con información cuantificable.

Las visitas de los profesionales encargados de los proyectos, se hicieron semanal o quincenal.

Los cultivos seleccionados por las asociaciones beneficiarias, y que se desarrollaron con mayor seguimiento y comercialización fueron chiledulce y tomate.

Como material vegetal se utilizaron plántulas desarrolladas en invernaderos especializados para tal efecto. Por razones de falta de materiales y ocupación de uno de los invernaderos el ITCR-SSC, se pagaron a confeccionar las plántulas en

la empresa Almacigos de San Juan ubicada en Naranjo de Alajuela, allí se especializan en la producción de almacigos de hortalizas y producen almacigos de alta calidad libres de plagas y enfermedades.

Una vez listas las plantas para el trasplante, se llevaron a los respectivos invernaderos donde se trasplantaron según indicaciones previas de distancia de siembra y colocación y prueba del sistema de riego por goteo, seleccionado para mejorar el uso del agua y la aplicación de los fertilizantes.

Los invernaderos de la Asociación de Horticultores de San Blas (Guanacaste) y el del señor Humberto López (Zarcero), utilizaron el sistema hidropónico con uso de sustrato, en los invernaderos de la Asociación de Mujeres del INVU de Peñas Blancas y de San Juan de Peñas se sembró directamente en el suelo, para ambos casos se prepararon los lomillos y se les incorporó lombricompost producido en el ITCR-SSC.

Una vez hecho el trasplante de las plántulas, se realizaron aplicaciones de controladores biológicos como los hongos *Trichoderma* spp, *Beauveria* spp y *Metarrhizium* spp, estas aplicaciones se hicieron tanto foliar como al suelo o sustrato.

La duración del ciclo de cultivo de las especies seleccionadas fue variable, para el chile dulce su ciclo total de producción fue de 6 a 8 meses, en cambio el tomate fue de 4 meses en promedio, presentando problemas de marchitez bacteriana causado por *Pseudomonas solanacearum* en los invernaderos en que se usó suelo, que fueron los de la Zona Huetar Norte, específicamente Invu y San Juan de Peñas Blancas.

Durante las visitas de seguimiento, a los productores se les indicó las labores a desarrollar en el cultivo, a la vez que se les capacitó “*in situ*” sobre manejo de las plantas, fertilización, riego y otros aspectos.

Mientras fue posible, a los productores, se les proveía parte de los insumos que necesitaran, sin embargo, buena parte de ellos aportaba lo que iban necesitando a lo largo del cultivo.

5.1.2 Capacitación sobre temas relacionados a horticultura protegida

Se llevaron a cabo una serie de actividades de capacitación, los tipos de actividades variaron según la temática y la disponibilidad de los invernaderos ya construidos. Inicialmente se iniciaron actividades realizando charlas magistrales con participación de todos los grupos por regiones, dentro de los temas importantes estaban algunos relacionados con principios fisiológicos y de crecimiento de las plantas, temas expuestos de la manera más simple posible para el entendimiento de todos los participantes, utilizando presentaciones hechas en Power Point.



Figura 1. Charla de capacitación para la asociación de mujeres activas del INVU de Peñas Blancas llevada a cabo en el salón comunal de la comunidad

Para la Región Huetar Norte, las asociaciones involucradas (Asociación de Mujeres Activas del INVU de Peñas Blancas y de San Juan de Peñas Blancas) fueron las que participaron en las charlas (Figura 1) y contaron que con el apoyo logístico del personal del ICE (sección de manejo de la cuenca del Río Peñas

Blancas) en particular de parte del Ing. Herbert Villalobos, quien se encargó de conseguir las instalaciones, proyector, pantalla y mobiliario para llevar a cabo las actividades, así como facilitar el transporte, se contó además con la presencia de los miembros de las asociaciones, con estudiantes de la telesecundaria de San Juan.

En el caso de la zona de Guanacaste con la Asociación de Horticultores de San Blas, y Zapote de Alfaro Ruiz (con la participación del productor Humberto López), las charlas tuvieron un carácter más personalizado ya que los miembros ofrecían sus casas de habitación para las exposiciones.

Las charlas ofrecidas y los temas tratados se resumen en el cuadro 5

Cuadro 5. Charlas ofrecidas a beneficiarios del proyecto Horticultura protegida en tres zonas agroecológicas de Costa Rica

| Título de la charla | Fecha | Localidad | Número participantes | Expositor |
|---|----------------------|--|----------------------|--------------------|
| Uso de los invernaderos en la horticultura | 21 de marzo del 2007 | San Isidro de Peñas Blancas, instalaciones de la Cruz Roja | 33 | Carlos Ramírez |
| Como crecen las plantas | 29 de marzo del 2007 | San Isidro de Peñas Blancas, instalaciones de la Cruz Roja | 31 | Carlos Ramírez |
| Riego y fertirriego | 18 de abril del 2007 | San Isidro de Peñas Blancas, instalaciones de la Cruz Roja | 28 | Carlos Ramírez |
| El agua en el suelo | 25 de abril del 2007 | ICR- sede San Carlos | 33 | Ing. Arnoldo Gadea |
| Nutrición y fertilización de cultivos en invernadero | 26 de mayo del 2007 | San Isidro de Peñas Blancas, instalaciones de la Cruz Roja | 14 | Carlos Ramírez |
| Nutrición y fertilización de cultivos en invernadero II | 30 de mayo del 2007 | San Isidro de Peñas Blancas, instalaciones de la Cruz Roja | 30 | Carlos Ramírez |
| Cultivo del chile dulce | 20 de junio del 2007 | San Isidro de Peñas Blancas, instalaciones de la Cruz Roja | 13 | Carlos Ramírez |

Otro tipo de actividades sumamente importante fueron los talleres prácticos, que se llevaron a cabo en los invernaderos de cada una de las asociaciones (Figura 2), así como en los invernaderos del ITCR sede San Carlos. Muchos de estos talleres prácticos trataron de capacitar “*in situ*” a los productores en el manejo de los cultivos hortícolas dentro de un invernadero.

Se trataron aspectos claves previos a la siembra de las plantas como lo es la preparación del suelo o del sustrato, la fertilización y fertirrigación a través del sistema de riego por goteo, así como del uso de soluciones nutritivas completas fueron básicas para llevar a cabo el proceso de aprendizaje, a los invernaderos donde se utilizó el suelo como medio natural para la siembra de las plantas. Éste se modificó con abono orgánica y arena para facilitar el crecimiento de las planta, en esta temática se llevó a cabo un taller para demostrar el manejo del suelo de un invernadero con solo el agua aplicada por el sistema de riego, y que esto es precisamente una de las condiciones ventajosas del sistema de cultivo protegido, donde es posible tener control de algunas variables edáficas a través del riego y la fertilización ya sea orgánica o mineral.



Figura 2. Preparación de la solución nutritiva completa para ser aplicada por el sistema de riego por goteo, como capacitación para la asociación de productores de San Juan de Peñas Blancas.

Otras temáticas importantes fueron el monitoreo, identificación y control de plagas y enfermedades dentro de los invernaderos. Se capacitaron a los diferentes productores en el monitoreo, identificación y control de plagas y enfermedades en los invernaderos. Se utilizó manuales y fotografías para identificar los síntomas y daños, para el monitoreo se recomendó llevar un monitoreo y para el control se estimuló al control biológico y cultural, mientras que la alternativa química se recomendó como una opción extrema, aún así los productos recomendados fueron aquellos que no tuvieran alta toxicidad y baja residualidad, ya que dentro del invernadero cualquier aplicación puede retenerse por más tiempo por el carácter de confinamiento que tiene la estructura.

El manejo de la biomasa de los cultivos hortícolas, fue fundamental para que los productores entendieran el concepto de distribución de productos fotosintéticos dentro de la planta. El tutorado de las plantas, la poda de hijos, la deshoja y la técnica de amarre de tallos fueron tareas llevadas a cabo a modo de taller en las plantaciones de los mismos productores durante el desarrollo de los cultivos, en muchas de estas prácticas participaron miembros de las comunidad, como el caso de los estudiantes de secundaria, ya que esta labor es de mucho cuidado y requiere mucha mano de obra (Figura 3).



Figura 3. Actividad taller de capacitación sobre tutorado de plantas de chile dulce en invernadero en San Juan de Peñas Blancas

En el caso de la Asociación de Horticultores de San Blas y del señor Humberto López de Zapote de Alfaro Ruiz, ellos decidieron trabajar de manera hidropónica abierta utilizando sustrato en contenedores o macetas. Considerando esta situación, la capacitación para ellos fue más exhaustiva en lo que se refirió al acondicionamiento del invernadero, instalación del sistema de riego, el uso de temporizadores, bombas de agua y tanques de solución, así como el cálculo y preparación de soluciones hidropónicas. Estos fueron casos en los que la capacitación fue relativamente fácil, ya que ambos grupos tenían experiencia en el uso de fertirriego a campo abierto con uso de inyectores y bombas de agua.

5.2 Diseño Agronómico y construcción de los invernaderos

Los invernaderos diseñados y construidos fueron los correspondientes a la Región Huetar Norte, o sea los de las Asociaciones de Mujeres activas del INVU de Peñas Blancas y la Asociación de Productores Agropecuarios de San Juan de

Peñas Blancas, otro invernadero construido fue el de la Sede regional del ITCR en Santa Clara. Para el diseño de los invernaderos, se contó con la colaboración del estudiante de doctorado Antonio Morales Maza de la Universidad Autónoma de Chapingo

El diseño propuesto para esta región tomó en cuenta lo siguiente: la zona es de alta precipitación anual (3000 mm), el promedio de temperaturas es alto (25 C) y los vientos predominantes no son tan fuertes (20-30 Km/h); también se consideró que debido a estas condiciones los invernaderos debían ser capaces de soportar equipamiento e infraestructura interna de riego y tutorado de plantas. Dado que las temperaturas dentro de la estructura podrían llegar a niveles altos, se decidió diseñar la estructura lo suficiente alta y con monitor en la cumbre de al menos 1,2 metros de ancho para facilitar la evacuación del calor.

El diseño propuesto después de analizadas las condiciones de clima y las necesidades de cultivos a desarrollar fue el siguiente: Altura de 7,5 metros, con paredes de 4,5 metros de alto, monitor de 1,2 metros de ancho, ancho de 9 metros con proyecciones laterales de 1,75 metros (“enaguas”), éstas últimas para facilitar la movilización dentro de la estructura y además para ayudar a contrarrestar las fuertes corrientes de aire cuando los vientos sean fuertes, el piso, cuando los invernaderos no se usa suelo, cubiertos de “grown cover” de color blanco para favorecer la reflectancia de la luz, ya que es una zona de baja luminosidad, las paredes se decidió utilizar malla antiinsectos 32 x 32, y de techo plástico transparente con protección a los rayos ultravioleta.

Para el financiamiento de la construcción de estos invernaderos se recurrió a varias fuentes, la Asociación de Mujeres recurrió al Instituto Mixto de Ayuda social, donde, se logró obtener una ayuda para construir un invernadero de 150 metros cuadrados, ubicado en la localidad del Invu de Peñas Blancas en una propiedad arrendada por la asociación a un finquero de la zona. En el caso de la Asociación de Productores Agropecuarios de San Juan de Peñas Blancas, el ICE financió la totalidad de la construcción, pero con participación de los miembros ya que tienen experiencia en construcción. El invernadero de esta asociación fue hecho de

manera modular en las instalaciones del ICE en La Garita de Alajuela, el área de este invernadero es de 330 metros cuadrados (Figura 4 y 5).



Figura 4. Construcción del invernadero de la Asociación de Productores Agropecuarios de San Juan de Peñas Blancas



Figura 5. Actividades de Inauguración del invernadero de la Asociación de Productores Agropecuarios de San Juan de Peñas Blancas

Por último, el ITCR-SSC, financió la construcción del invernadero con fondos propios y este fue de un área de 300 metros cuadrados. Este invernadero no se utilizó el suelo para cultivo, sino que se cubrió con “grown cover” blanco, este invernadero sirvió para el desarrollo de cultivos como tomate y chile dulce (Figura 6).



Figura 6. Interior del invernadero del ITCR-SSC, donde se muestra el piso de color blanco y uso de los contenedores con sustrato para sistema de cultivo hidropónico abierto

El diseño básico del invernadero propuesto para las asociaciones involucradas en el proyecto, se describe en el anexo 8

5.3 Evaluación de la interacción Genotipo Ambiente de cultivos hortícolas en ambiente protegido

5.3.1 Recolección de información ambiental

El desarrollo de sensores “ambientales”, estuvo a cargo de la Ing. Arys Carrasquilla de la Escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR. La información obtenida por los sensores nos ayudó a validar el diseño agronómico de los invernaderos, así como correlacionar el comportamiento fenológico de los cultivos

con el comportamiento de las principales variables ambientales medidas dentro de las estructuras durante el período de desarrollo de los cultivos.

Para la toma de decisiones respecto a cómo se está manejando el clima interno de un invernadero, es necesario llevar un registro de la información ambiental, básicamente variables como temperatura, humedad relativa, luminosidad y hasta concentración de CO₂, resultan importantes para explicar el comportamiento de los cultivos y cambiar o modificar prácticas programadas.

Para recoger la información climática, tradicionalmente se ha utilizado instrumentos tales como termómetros, higrómetros, luxómetros, etc, sin embargo, resulta de mucha utilidad conocer la información climática acumulada a lo largo del día o de períodos predeterminados, para tal efecto se utilizan sistemas de almacenamiento de información como los llamados “data logger”, que lo que hacen es almacenar la información que va midiendo un determinado sensor. Para esto, la tecnología en electrónica ha diseñado aparatos o dispositivos capaces de hacer estas labores, incluso de activar sistemas ante condiciones extremas predeterminadas por el investigador.

Como parte del proyecto, se incorporó al equipo de investigadores a la Ing. Arys Carrasquilla para que desarrollara un dispositivo electrónico capaz de almacenar información ambiental de temperatura, humedad relativa, luminosidad y concentración de CO₂. y pudiera eventualmente registrarse o hasta patentarse. Los trabajos de investigación relacionados con esta área se presentan en el Anexo 1.

En un principio, se desarrolló un aparato que medía las variables mencionadas, y además a través de un software se programaba la caja el conjunto de sensores para que empezara su labor de toma de datos, el inconveniente con este primer prototipo es que no era autónomo, necesitaba de corriente eléctrica a 110 voltios en forma constante y dependía de un cable para enviar la información a una computadora que debía pasar encendida todo el tiempo y activada (Figura 7).

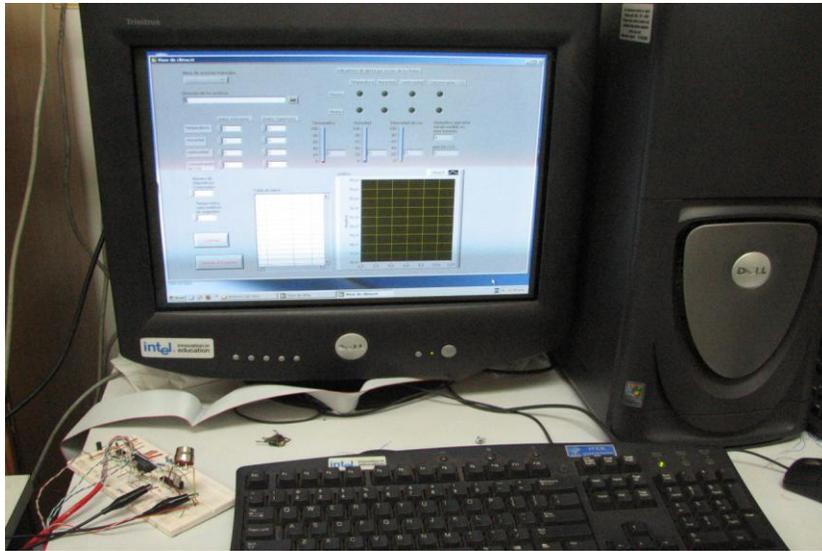


Figura 7. Software de clima desarrollado para activar a un grupo de sensores climáticos (desarrollado por Arys Carrasquilla, Ing. Electrónica ITCR)

Debido al problema de tipo práctico como depender de la corriente de manera constante, además del cable que requería para transportar la información, se lanzó el reto de diseñar un aparato que hiciera las mismas funciones pero que fuera autónomo e inalámbrico, que la información pueda recopilarse con ayuda de una llave de almacenamiento masivo o bien vía internet. De allí salió la idea que se desarrolló de un sensor equivalente que era autónomo, inalámbrico y se puede bajar la información vía “bluetooth” o bien con una llave “malla”, este dispositivo está en modo prototipo pero se ha estado validando con éxito hasta el momento ver anexo 1 artículo de (Arys Carrasquilla) (Figura 8).



Figura 8. Sensor de clima múltiple autónomo con antena para captación de la información vía bluetooth

5.3.2 Evaluación y validación de diferentes variedades de hortalizas

En este tópico, la investigación se centró en la validación de tres materiales de tomate con diferente hábito de crecimiento sembrados en sistema hidropónico abierto, en invernaderos de las tres localidades de influencia del proyecto. Este tema se abordó como la tesis doctoral del investigador principal y se presenta como anexos en forma de los artículos que se publicaron para tal efecto; que son los siguientes:

Evaluación del crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo cultivo protegido en tres localidades de Costa Rica y Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. Ver anexos 2 y 3 respectivamente.

5.4 Análisis de diferentes tipos de sustratos orgánicos y minerales, que pueden ser usados para cultivo hidropónico en ambientes controlados.

Para este efecto se desarrollaron dos tesis de Licenciatura en Agronomía del ITCR, estas tesis fueron desarrolladas por Melissa Campos Ocampo y Ana Sofía Monge Cerdas, la primera fue en producción comercial, y la a nivel de invernadero para producción de plántulas de tomate y chile dulce; donde se probaron diferentes sustratos con y sin inoculación del hongo antagonista *Trichoderma harzianum*. Los documentos de ambas tesis se encuentran en el anexo 4y 5 respectivamente.

5.5 Registro de la información de producción de hortalizas bajo ambientes controlados

Se diseñaron dos hojas de recolección de información (Control de mano de Obra y Labor y Control de producción). a continuación se detallan sus componentes.

5.5.1 Control de mano de obra y labor

Esta hoja especifica las labores que fueron planeadas con la fecha respectiva, con las horas necesarias para realizar tal labor, mencionando el inicio y la finalización, así como el nombre del responsable, y por último un espacio donde se pueden realizar anotaciones u observaciones (Figura 9). El objetivo de este documento fue registrar tanto las labores que se realizaban en el invernadero así como las horas que se invirtieron en cada una de éstas, con esto se obtuvo la

base para calcular y pagar la mano de obra, asignar labores y controlar los procesos de producción y darle.

5.5.2 Conceptos de la Hoja de Trabajo

Fecha de trasplante:

Después de haber realizado el debido tratamiento en los semilleros a las plántulas, estas deben pasar a su lugar de campo definitivo, a este proceso se le conoce como trasplante, y se debe indicar en la hoja de control, el día, el mes y año en que se realiza dicho proceso.

Cultivo:

Deberá especificarse qué clase de cultivo se está trasplantado, como ejemplo: Chile, Tomate, Pepino, etc.

Variedad:

Se refiere a las variantes que puede tener un cultivo, por ejemplo: el cultivo de chile, variedades: habanero, cayenne, piquín, serrano, etc.

Densidad de siembra:

Es la cantidad de plantas en un área determinada, es decir, el número de plantas que ocupan un espacio, por ejemplo: 9 plantas de chile por metro cuadrado.

Numero de plantas:

Se debe especificar la cantidad de plantas sembradas, para así llevar un control sobre la producción, mortandad de plantas y calidad del producto.

5.5.3 Anotaciones de actividades

Fecha:

Anotar el día, mes y año de realización.

Trabajo:

El tipo de acondicionamiento o labor que se hará al cultivo, como ej: fertilización, escarda, riego, etc.

- **Hora de inicio:**

Se deberá anotar la hora a la que se empieza la práctica al cultivo.

- **Hora final:**

Se debe indicar la hora en que se termina la actividad que se realizó.

- **Total de horas:**

Se debe anotar la cantidad de horas que se laboró.

- **Nombre:**

Para obtener mejor control de quien realiza las prácticas, se debe anotar el nombre de la persona quien realiza la actividad.

- **Observaciones:**

Debe anotar las anomalías, características poco comunes o algún otro caso particular que se observe en las plantas o infraestructura.

- **Secuencia numérica:**

No se debe dejar espacios entre número y número en la hoja de control, es preferible usar la secuencia de los números para realizar las anotaciones.

En la Figura 9 se pueden observar los puntos detallados anteriormente.

Posterior al valor total, se deberá mencionar el motivo que originó el desecho del producto, y por último el nombre del trabajador que estuvo encargado de la cosecha.

5.5.4 Otros conceptos de la Hoja de Trabajo

Fecha de trasplante:

Después de haber realizado el debido tratamiento en los semilleros a las plántulas, estas deben pasar a su lugar de campo definitivo, a este proceso se le conoce como trasplante, y se debe indicar en la hoja de control, el día, el mes y año en que se realiza dicho proceso.

Cultivo:

Deberá especificarse qué clase de cultivo se está transplantado, como ejemplo: Chile, Tomate, Pepino, etc.

- **Variedad:**

Se refiere a las variantes que puede tener un cultivo, por ejemplo: el cultivo de chile, variedades: habanero, cayenne, piquín, serrano, etc.

- **Densidad de siembra:**

Es la cantidad de plantas en un área determinada, es decir, el número de plantas que ocupan un espacio, por ejemplo: 9 plantas de chile por metro cuadrado.

- **Numero de plantas:**

Se debe especificar la cantidad de plantas sembradas, para así llevar un control sobre la producción, mortandad de plantas y calidad del producto.

5.5.5 Anotaciones de actividades.

- **Fecha de cosecha:**

Debe indicarse el día, el mes y el año en que se empieza a cosechar el cultivo.

- **Producto:**

Debe especificarse que producto se está sacando, ej: chile dulce, tomate saladette, pepino, etc.

- **Cantidad:**

Se debe poner en el cuadro requerido si se trata de un producto A, B o C. y a qué precio se venderá.

- **Sub total:**

Debe anotar la resultante de multiplicar el precio por la cantidad de producto de cierta clasificación, ej: 10 kg de chile "C" por su precio.

- **Total valor:**

Es la cantidad total resultante de la suma de los su totales.

- **Motivos de desecho:**

Se debe anotar si existe producto que no tenga la suficiente calidad para el mercado y la razón por la que se le considera así, ej: chile malformado.

- **Nombre del trabajador:**

Se anotará el nombre de la persona que realice las labores correspondientes a la producción.

En la siguiente Figura se observan los puntos detallados:

| INVERNADERO | | | | | | | Código | CP-001 | | |
|---|--------------------|----------|----------------------|---|---|--------|-----------------|-------------|--------------------|-------------------|
| PROYECTO HORTICULTURA PROTEGIDA, ITCR-ICE | | | | | | | Versión | 1 | | |
| Control de producción | | | | | | | No. Consecutivo | | | |
| 1 | Fecha Transplante: | | | | | | Original | | | |
| 2 | Cultivo: | | Densidad de siembra: | | | | Copia | | | |
| 3 | Variedad: | | Numero de planta: | | | | | | | |
| 6 | Fecha de cosecha | Producto | cantidad | | | Precio | sub total | total valor | motivos de desecho | nombre trabajador |
| | | | A | B | C | | | | | |
| | 1 | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | |

Figura 10 Hoja de Control de Producción Proyecto de Horticultura ITCR-ICE

5.6 Disposiciones relativas a la calidad

Se hizo necesario desarrollar parámetros de calidad que permitieran evaluar el sistema de producción y proporcionar la clasificación del producto para la venta, para esto se desarrolló una serie de esquemas para la clasificación de los frutos por calidad (ver anexo 7)

5.7 Requisitos mínimos

En toda producción de chiles, si se quiere tener una comercialización lo más eficiente posible será necesario realizar una clasificación de los mismos, tomando en cuenta parámetros que permitan obtener la mejor calidad. Los siguientes

puntos fueron referencia para una buena clasificación de chiles de acuerdo a aspectos cuantitativos y cualitativos:

- Chiles enteros
- Sanos y exentos de podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptos para el consumo.
- Limpios y prácticamente exentos de cualquier materia extraña visible.
- Exentos de plagas y daños causados por ellas que puedan dañar la imagen y aspecto físico del producto.
- Exentos de humedad anormal en el producto.
- Aspecto fresco.
- Brillo.

Por otra parte, el desarrollo y condición de los chiles deberán ser tales que:

- Permitan soportar la manipulación y transporte.
- Llegar sanos a su destino de mercado.

6 Conclusiones y Recomendaciones:

Conclusiones

-Se logró capacitar a tres grupos de productores y un agricultor independiente en tópicos relacionados con la horticultura protegida en tres zonas agroecológicas diferentes de Costa Rica

-La capacitación en horticultura protegida debe ser llevada a cabo paralela al proceso productivo para reforzar el concepto de “aprender haciendo”

-El uso de diferente tipo de sustratos para uso en horticultura protegida, es posible considerando sus características físicas, químicas y biológicas, así como la inoculación con hongos benéficos como *Trichoderma* spp.

- La interacción genotipo-ambiente quedó demostrada para el cultivo de tomate, cuando se evaluaron tres diferentes genotipos en tres ambientes bajo sistema de cultivo protegido hidropónico

-Se desarrolló una tabla para registro de la información concerniente al cultivo de chile dulce bajo sistema protegido.

Recomendaciones

-Se requiere generar más conocimiento a través de la investigación para adaptar e implementar con éxito la tecnología de la horticultura protegida en el trópico.

-El producto debe desarrollarse en toda la cadena productiva, desde la siembra hasta la comercialización.

-Se debe establecer una vía de comunicación por parte de instituciones gubernamentales para atender problemas puntuales en el desarrollo del cultivo o la actividad.

Agradecimientos:

Este proyecto fue posible realizarlo gracias a la colaboración de las siguientes personas e instituciones:

-Vicerrectoría de Investigación Instituto Tecnológico de Costa Rica

-Instituto Costarricense de Electricidad

-Instituto Mixto de Ayuda Social

-Asociación de Horticultores de San Blas

-Asociación de Mujeres Activas del Invu de Peñas Blancas

-Asociación de vecinos productores de San Juan de Peñas Blancas

-Señor Humberto López, Zapote de Zarcero

-Ing. Herbert Villalobos Soto

7. Bibliografía

Alfaro, R: 2008. Comunicación personal, entrevista sobre producción de chile dulce a campo abierto, San Antonio de Belén, Heredia, Costa Rica.

Altieri, M; Nichols, C: 2000. Agroecología teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1er. Edición, México.

Asociación de Horticultores de San Blas: 2007. Comunicación personal con la presidenta Doña Marita Jaen Rivera, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.

Asociación de Mujeres activas del Invu de Peñas Blancas, 2008: comunicación personal con la presidenta Doña Adonay Palma. Peñas Blancas, San Ramón Costa Rica.

Barraza, F; Fischer, G y Cardona, C. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el valle del Sinú medio, Colombia. Agronomía colombiana. Vol 22 No. 1 p 81-90

Benton Jones, J. 2008. Tomato Plant Culture in the field, Greenhouse, and Home Garden. CRC Press. EUA. 2da edición. 397 p

Bertsch, F: 2006. El Recurso tierra en Costa Rica. Agronomía Costarricense 30(1):133-156

Blanco, F ; Folegatti, M. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. Horticultura Brasileira. Vol. 21 No. 4 p

Borrego, F ; López, A ; Fernández, J.M ; Murillo, M ; Rodríguez, S.A ; Reyes, A ; Martínez, J.M . 2001. Evaluación agronómica de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Agronomía Mesoamericana. Vol 12 No. 1 pp 49-56

Cámara de Importadores de Insumos Agropecuarios: 2006. Informe anual de labores. San José, Costa Rica

Campos, M: 2008. Efecto de la inoculación de sustratos con *trichoderma* sobre el crecimiento y producción de plantas de chile dulce (*capsicum annuum*) bajo ambiente protegido, tesis licenciatura en Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Catellanos, J.Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Celaya, Gto, MX. Intagri. S.C. 460 p.

Castilla, N.: 2004. Invernaderos de plástico tecnología y manejo. Mundi Prensa, España, 457p

Consejo Nacional de Producción, 2008. Tomate Costa Rica, Subgerencia de desarrollo agropecuario, dirección de mercadeo y agroindustria, Boletín No. 1, <http://mercanet.cnp.go.cr>

Coto, R: 2003. Informe ministerial en salud y agricultura. Organización panamericana de la Salud

Departamento fitosanitario del Estado: 2007, Comunicación personal de agentes de extensión, Guanacaste, Costa Rica

Dogliotti, S. 2002. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Material de apoyo al Módulo Hortícola, Universidad de la República, Ciclo de formación central agronómica, Curso de fisiología de los cultivos. Uruguay

Estado de la Nación: 2003. Noveno Informe 2002. San José, Costa Rica

Figaro. Gas Sensors [en línea] [visitado el 24 de julio de 2010] Disponible en: http://www.figaro.co.jp/en/data/pdf/20100114174521_42.pdf

Gil-Vázquez, I ; Sánchez del Castillo, F y Miranda-Velázquez, I: 2003. Producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Serie de publicaciones Agribot, Chapingo, México. 90p

Heuvelink, E. 1995. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. *Scientia horticultrae* Vol 61 p 77-99

Heuvelink, E. 1996. Dry matter partitioning in tomato: validation of dynamic simulation model. *Annals of botany*. 77: 71-80

Heuvelink, E. 2005. Diplomado Internacional en Horticultura protegida, Universidad Autónoma de Chapingo, Notas de clase, México.

Honeywell. Sensing and Control [en línea] [visitado el 24 de Julio de 2010] Disponible en: http://sensing.honeywell.com/index.cfm/ci_id/140570/la_id/1/document/1/re_id/0

Instituto Meteorológico Nacional: 2008. Comunicación personal. San José, Costa Rica

Intersil. Sensor ISL29010 [en línea] [visitado el 06 de octubre de 2010] Disponible en: <http://www.intersil.com/products/deviceinfo.asp?pn=ISL29010>

La Costeña S.A. : 2007. Información del gerente agrícola a cargo de la producción de melón, comunicación personal

La Nación, 2005: "Ticos comen vegetales con exceso de plaguicidas", periódico del 20 del 2005, escrito por Vanessa Loaiza

Maxim-IC. RTC DS1307 [en línea] [visitado el 06 de octubre de 2010] Disponible en: <http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/2688>

Microchip. PIC18f4550 [en línea] [visitado el 26 de julio de 2010] Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21941B.pdf>

Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2004: Listado de plagas en cultivos de importancia económica de Costa Rica, San José Costa Rica, en www.proteconet.go.cr/laboratorios/plagcul/cultivop.htm

Murillo, M. 2008. Entrevista productores de Zarcero, comunicación personal, Zarcero Costa Rica

National. LM35 [en línea] [visitado el 24 de julio de 2010] Disponible en: www.national.com/ds/LM/LM35.pdf

Paez, A ; Paz, V y López, J.C. 2000. Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río Grande en la época mayo-julio. Efecto del sombreado. Ev. Fac. Agron (LUZ). Vol 17 p 173-184

Poincelot, R: 2004. Sustainable Horticulture today and tomorrow. Prentice Hall, USA

RadioShack, Termómetro para interiores y exteriores, con indicador de humedad para interiores [en línea] [visitado el 3 de noviembre de 2010] Disponible en: http://support.radioshack.com/support_meters/doc68/68295.pdf

Ramírez, C: 2006. Comunicación personal, Heredia, Costa Rica

Rodríguez-Cano, J. 2009. Estadística Análisis de componentes principales. Universidad de Viña del Mar, Escuela de Ciencias Sociales, carrera de Sociología, Apuntes de curso.

Rodríguez-Fuentes, H ; Muñoz-López,S y Alcorta-García, E: 2006. El Tomate Rojo Sistema Hidropónico. Trillas, México. 78p

Rodríguez-Rojas, O. 2009. Análisis en Componentes Principales. En http://oldemarrodriguez.com/yahoo_site_admin/assets/docs/cap2.23380802.pdf

Salisbury, Frank B., Ross, Cleon W. 1994. Fisiología Vegetal. Trad. V González. Iberoamérica. D.F. México. 759 p.

Santiago, J ; Mendoza, M y Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. Agronomía mesoamericana. Vol. 9 No. 1 p 59-65

Segura, D ; Villalobos, M y Hidalgo, N: 1999. Producción de tomate en invernadero. Congreso agronómico nacional de Costa Rica

Sena. ESD 200/210 [en línea] [visitado el 26 de julio de 2010] Disponible en: www.sena.com/download/datasheet/ds_parani_esd.pdf

Sirefor. 2007. En:

http://www.google.co.cr/imgres?imgurl=http://www.sirefor.go.cr/imagenes/cr.JPG&imgrefurl=http://www.sirefor.go.cr/biodiversidad.html&usg=__8RB4zkz0D613AInjeB9hLeOpua8=&h=455&w=485&sz=41&hl=es&start=1&sig2=yb0LO7emWmlpR55IWkaaTQ&um=1&itbs=1&tbnid=ofcWKGv_KZ_6PM:&tbnh=121&tbnw=129&prev=/images%3Fq%3Dmapa%2Bcosta%2Brica%2B%25C3%25A1reas%2Bde%2Bvida%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DG%26tbs%3Disch:1&ei=uYcCTOmZN4KB8gaa8oyiDQ

Tomatico S.A. 2008. Comunicación personal con el gerente Milton Castillo. Heredia, Costa Rica

Vicente-Vilardon, JL. _____. Análisis de componentes principales. Departamento de Estadística, Universidad de Salamanca, notas de curso

Villalobos-Rodríguez, E. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales, procesos fisiológicos básicos. Fascículo I. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 1era edición, San José, Costa Rica. 228p

Vinculum. VDRIVE [en línea] [visitado el 24 de julio de 2010] Disponible en: www.vinculum.com/documents/datasheets/DS_VDRIVE2.pdf

Wittwer, S.H y Castilla, N. 1995. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. HortTechnology. Vol 5 No. 1 p 6-22

8 Anexos

8.1 Anexo 1. Sistema autónomo para la adquisición y almacenamiento de las condiciones ambientales en un invernadero con transmisión de datos y configuración remota a través de la tecnología Bluetooth.

Sistema autónomo para la adquisición y almacenamiento de las condiciones ambientales en un invernadero con transmisión de datos y configuración remota a través de la tecnología Bluetooth

Ing. Franklin Barquero Monge, Ing. Arys Carrasquilla Batista

Resumen — Para realizar un análisis cuantitativo de las condiciones ambientales en la horticultura protegida, es de suma importancia contar con un sistema adecuado para la recolección de datos que se adapte a las condiciones de un invernadero, que realice su trabajo con un número pequeño de componentes y que utilice la menor cantidad de energía posible. Ante la falta de un sistema que cumpla con los requerimientos acotados anteriormente, este proyecto busca innovar los sistemas de adquisición de datos, con el fin de involucrar nuevas tecnologías a este tipo de sistemas.

Índice de términos — Bluetooth, sistema autónomo, dióxido de carbono (CO₂), humedad relativa, luminosidad, microcontrolador, sensor, temperatura, Universal Serial Bus (USB)

1 INTRODUCCIÓN

La horticultura protegida es una industria joven y ha evolucionado paulatinamente gracias a la adopción de nuevas tecnologías, a la utilización de nuevos sistemas de cultivo y a la investigación del entorno que involucra este tipo de producción.

Para realizar el estudio de las condiciones ambientales del invernadero, el ingeniero o investigador debe realizar un análisis cuantitativo del medio que envuelve la horticultura protegida. A pesar de que en el mercado se encuentra el equipo tecnológico necesario para realizar este análisis cuantitativo, no siempre cumple con los requerimientos y facilidades que desea el investigador para realizar esta tarea.

Si se requiere un análisis cuantitativo de las condiciones ambientales existentes en el invernadero utilizado para la horticultura protegida, deben utilizarse sensores para obtener los datos de la temperatura, la humedad relativa, del CO₂ y la luminosidad. Aunque en el mercado existe el equipo y los sensores necesarios para obtener los datos de estas condiciones, es difícil encontrar en un solo dispositivo todo lo que el usuario desearía para realizar su análisis. Esta es la principal problemática del proyecto, pues no se cuenta con un dispositivo personalizado que se adapte a las necesidades requeridas.

Otro factor a tomar en cuenta es el hecho de que manejar un sólo dispositivo es más práctico que manejar tres o cuatro. Por ejemplo, cada sensor puede tener una forma distinta de extraer los datos (a través del protocolo RS-232, USB, entre otros.), generalmente cuentan con un software diferente para visualizar las lecturas y además es posible que a cada sensor se le deban hacer ajustes en sus tiempos de lectura, fechas de inicio y finalización de muestreo.

Además, si se cuenta con sensores que no tienen la capacidad de guardar sus lecturas, el usuario tendrá que estar asistiendo al invernadero cada vez que necesite realizar una medición de las variables, mientras que en un sistema autónomo se requiere únicamente configurar los parámetros de tiempos de lectura y el sistema automáticamente realizará las mediciones sin intervención del usuario.

Debido a las condiciones no aptas del invernadero para contar con un computador con el que se logre visualizar los datos recolectados, se hace sumamente necesario dotar al sistema con una técnica de transferencia de datos que no requiera cables u otro equipo y que consuma la mínima cantidad posible de energía para llevar los datos hasta el usuario. Con este requerimiento surge la opción de adaptar al diseño un sistema de transferencia de datos inalámbrica, además de implementar un sistema almacenamiento de datos a través de USB.

2 Desarrollo del sistema autónomo

2.1 Descripción general del sistema

El sistema autónomo desarrollado consta de 5 secciones:

- Banco de sensores: esta etapa cuenta con los dispositivos necesarios para tomar las condiciones ambientales en el invernadero. Dichas condiciones son: temperatura, humedad, dióxido de carbono y luminosidad.
- Almacenamiento de datos: esta sección se compone de dos dispositivos principales, estos son: una memoria EEPROM y una interfaz de memoria de almacenamiento masivo USB. La memoria EEPROM tiene la función de guardar los datos recolectados por los sensores con sus respectivos tiempos de lectura. La memoria USB se utiliza en caso de que el usuario desee almacenar los datos obtenidos en un dispositivo de almacenamiento masivo.
- Transmisión de datos: Esta formado por un módulo de tecnología inalámbrica Bluetooth el cual se encarga de realizar la gestión de transferencia de datos entre el sistema de adquisición y el dispositivo móvil. La transferencia de datos se realiza a solicitud del usuario. Con este dispositivo se establecen los parámetros de tiempo para el funcionamiento del sistema.

- Alimentación del sistema: cuenta con los componentes necesarios para realizar la conexión a la red eléctrica, además tiene un sistema de respaldo de energía en caso de fallo en la red eléctrica.
- Controlador del sistema: Es el encargado de dirigir el funcionamiento de todo el dispositivo. Se implementa con un microcontrolador PIC, entre sus funciones está la lectura y almacenamiento de los datos provenientes de los sensores de acuerdo a la configuración de tiempos de muestreo, se encarga de enviar y recibir los datos del módulo de Bluetooth cuando se requiera y coordina el envío de datos a la memoria USB.

La Figura 9 muestra la composición de los elementos que conforman el sistema de adquisición de datos.

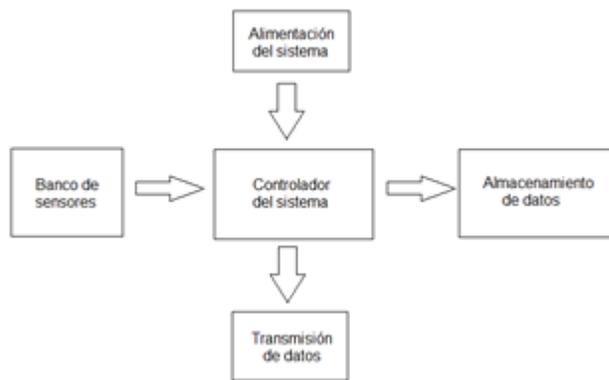


Figura 9 Descripción general del sistema

2.2 Componentes del sistema

Sensores

Los sensores que integran el sistema de adquisición de datos cumplen con ciertas características las cuales son necesarias para adaptarse al tipo de ambiente en el que van a funcionar. Entre estas características se encuentran: bajo consumo de corriente, un adecuado rango de medición, una comunicación que sea capaz de interactuar con un microcontrolador y una precisión aceptable. En la Tabla 9 se muestran las características de estos sensores.

TABLA 9

SENSORES UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS [1][2][3][4]

| Especificación | HIH-4000-001 | LM 35 | ISL29010 | CDM4161A |
|-----------------------------|---------------------|--------------|------------------|------------------|
| Fabricante | Honeywell | National | Intersil | Figaro |
| Rango de medición | 0 – 100 (%RH) | 0 – 100 (°C) | 0 – 128000 (lux) | 400 – 4500 (ppm) |
| Voltaje de alimentación (V) | 4 - 5.8 | 4 - 20 | 2.5 - 3.3 | 5.0 |
| Consumo de corriente (mA) | 0.2 | 0.0915 | 0.25 | 200 |
| Comunicación | Analógica | Analógica | I ² C | Analógico |

Reloj de tiempo real (RTC)

En un sistema de adquisición de datos es de suma importancia establecer los tiempos en que se muestrean las señales físicas, para comprender su comportamiento durante el transcurso del día. Para realizar este trabajo se utiliza un reloj de tiempo real el cual permite ajustar la hora, los minutos y los segundos del sistema de adquisición.

El RTC elegido es el DS1307 de Dallas Semiconductor (Maxim), es una buena solución cuando se necesita trabajar con eventos que requieren puntualidad y exactitud a lo largo del tiempo. Su popularidad en el mercado se basa en la sencillez de uso y confiabilidad a largo plazo. En la Tabla 10 se muestran algunas de sus características, tomadas de su hoja de datos.

TABLA 10

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL RTC DNS130N [5]

| Especificación | DS1307N |
|-----------------------------|---|
| Fabricante | Maxim |
| Voltaje de alimentación (V) | 4.5 - 5.5 |
| Consumo de corriente (mA) | 1.5mA |
| Comunicación | I ² C |
| Velocidad (KHz) | 100KHz |
| Formato de Fecha | Segundos, minutos, horas, fecha, mes, día de semana y año |

Controlador de USB

El VDRIVE es el dispositivo necesario para el respaldo en una memoria USB de los datos recolectados, cuenta con varios tipos de comunicación (USART, SPI, I²C), que son compatibles con cualquier microcontrolador. En la Tabla 11 se presentan otras especificaciones importantes de este controlador .

TABLA 11

ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR DE USB [6]

| Especificación | VDRIVE |
|-------------------------------------|----------------|
| Fabricante | FTDI |
| Velocidad máxima de operación (MHz) | 48 |
| Voltaje de alimentación (V) | 5 |
| Consumo de corriente (mA) | 25 |
| Comunicación | SPI-USART-FIFO |

Memoria interna

La memoria EEPROM utilizada es la 24AA1025 de Microchip. Su consumo de corriente para escrituras es de 5mA, para lecturas su consumo es de 500 μ A y en modo de espera consume 100nA, dichos datos se dan cuando el circuito integrado opera a 400 KHz en sus conexiones del I2C y 5V de alimentación. También cuenta con otras características como protección de escritura mediante hardware, 200 años como máximo de retención de datos y trabajar en modo de cascada con 4 memorias más.

Módulo de Bluetooth

El módulo de Bluetooth Parani ESD-210 cuenta con el perfil de SPP (Serial Port Profile), esto significa que el módulo reemplaza a un cable serial el cual provee las condiciones necesarias para emular una comunicación con RS-232

TABLA 11

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MÓDULOS DE BLUETOOTH [7]

| Especificación | Parani ESD-210 |
|-----------------------------|-----------------------|
| Fabricante | Sena |
| Voltaje de alimentación (V) | 3.3 |
| Consumo de corriente (mA) | 40 |
| Comunicación | USART |
| Perfiles | GAP,SPP |

Además este módulo integra una antena que le permite tener un alcance de 50m en un área abierta, la cual es una distancia similar a los dispositivos clase 1 (dispositivos con alcances cercanos a los 100m). Otras características del módulo es su interoperabilidad con dispositivos móviles (PDA y laptops) y fácil configuración utilizando herramientas de software disponibles en el ambiente de Windows

Microcontrolador

El microcontrolador utilizado es el PIC 18F4550 de Microchip, el cual cuenta con las características adecuadas para el funcionamiento del sistema y tiene la capacidad de reducir el consumo de potencia durante el proceso de muestreo.

El microcontrolador será el encargado de manejar los dispositivos citados anteriormente, es por ello que este microcontrolador debe cumplir con ciertos requisitos, como lo son [8]:

- Poseer canales analógicos
- Manejar el protocolo I2C

- Enviar y recibir datos a través del UART
- Tener entradas y salidas digitales
- Manejar interrupciones externas

Los canales analógicos se utilizan para el manejo del sensor de temperatura, de humedad y de CO₂. El uso del protocolo I2C es útil en la conexión del reloj de tiempo real, la memoria EEPROM y el sensor de luz. Las entradas y salidas digitales se utilizan para muestrear alguna señal ya sea en bajo o en alto, además de ser útiles para la etapa de visualización en la que se manejan LED's. Por último, el microcontrolador debe manejar 2 UARTS para enviar y recibir datos del módulo de Bluetooth y del controlador de memoria USB.

3 Resultados

3.1 Validación de los valores obtenidos con los sensores de temperatura y humedad

Con el fin de obtener una validación de los datos de humedad relativa y de temperatura ambiental, se utilizó como parámetro el dispositivo llamado RadioShack 63-1032, el cual cuenta con un termómetro para interiores y exteriores, así como un indicador de humedad para interiores. La Figura 10 muestra el sensor mencionado. Para utilizar este dispositivo se debió tomar en cuenta ciertas características, como lo son: el intervalo de humedad que va desde 25% al 95% (con una incertidumbre de $\pm 5\%$), el intervalo de temperatura que está entre -5 a 50 °C (con una exactitud de 0,1°C) y un ciclo de muestreo aproximado de 10s.

Figura 10 Sensor RadioShack 63-1032.[9]



De acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 12 y basándose principalmente en el cálculo del porcentaje de error se demuestra que los valores medidos por el sistema se asemejan a los datos tomados como referencia, tanto en condiciones normales como en cambios bruscos de temperatura. Como se observa en la tabla, la máxima diferencia entre los sensores no supera un grado centígrado y el máximo porcentaje de error apenas supera el 1%. Por otro lado en la validación del sensor de humedad, el mayor porcentaje de error es de 2.48%, si se toma en cuenta que el dispositivo tomado como referencia tiene una incertidumbre del 5%, se concluye

que los valor recolectados por el sensor HIH 4000-001 se encuentra entre este rango y por lo tanto la medición es aceptable.

TABLA 12

DATOS DE TEMPERATURA OBTENIDOS PARA VALIDAR EL SENSOR LM35DT

| Valor de temperatura del sensor 63-1032 (°C) | Valor de temperatura del sensor LM35DT (°C) | % Error |
|---|--|----------------|
| 23,1 | 22,96 | 0,61 |
| 23,1 | 23,21 | 0,48 |
| 23,2 | 23,21 | 0,04 |
| 23,3 | 23,23 | 0,30 |
| 23,4 | 23,18 | 0,94 |
| 23,3 | 23,06 | 1,03 |
| 23,2 | 23,1 | 0,43 |
| 23,3 | 23,25 | 0,21 |
| 23,3 | 23,24 | 0,26 |
| 23,2 | 23,14 | 0,26 |
| 23,1 | 23,18 | 0,35 |

TABLA 13

DATOS DE HUMEDAD RELATIVA OBTENIDOS PARA VALIDAR EL

SENSOR HIH 4000-001

| Valor de humedad del sensor 63-1032 (%H.R.) | Valor de humedad del sensor 4000-001 (%H.R) | % Error |
|--|--|----------------|
| 72 | 72,46 | 0,64 |
| 73 | 73,27 | 0,37 |
| 73 | 71,41 | 2,18 |
| 72 | 72,52 | 0,72 |
| 73 | 72,49 | 0,70 |
| 73 | 73,4 | 0,55 |
| 73 | 74,38 | 1,89 |
| 73 | 72,49 | 0,70 |
| 73 | 73,15 | 0,21 |
| 73 | 74,44 | 1,97 |
| 74 | 74,72 | 0,97 |
| 74 | 74,76 | 1,03 |
| 74 | 72,98 | 1,38 |

3.2 Validación de los valores obtenidos con sensor de luminosidad

Para verificar los datos tomados por el sensor ISL29010, se utilizó el dispositivo LX-102 Light meter de la compañía Lutron. Este dispositivo tiene la posibilidad de trabajar con tres diferentes escalas y su máxima lectura es de 50000 lux.

La Tabla 14 muestra los datos recolectados por el sensor ISL29010 y el medidor de lux LX-102. La validación se llevó a cabo a diferentes horas del día a diferentes condiciones climáticas. Como se observa en la Tabla 14, se obtiene que el mayor porcentaje de error es 2,74% y el promedio de error es 0,86. Considerando que el sensor LX-210 tiene una incertidumbre del 5%, se puede decir que los valores obtenidos son aceptables.

TABLA 14

DATOS DE LUMINOSIDAD A DIFERENTES HORAS DEL DÍA

| Condición | Valor de luminosidad del sensor LX-210 (lux) | Valor de luminosidad del sensor ISL29010 (lux) | % Error |
|-------------------------------|---|---|----------------|
| Mañana nublada | 1103 | 1075 | 0,09 |
| | 1058 | 1067 | 0,09 |
| | 1117 | 1134 | 1,52 |
| | 1195 | 1181 | 1,17 |
| Mediodía parcialmente nublado | 10353 | 10302 | 0,49 |
| | 10034 | 10050 | 0,16 |
| | 9342 | 9356 | 0,15 |

| | | | |
|----------------------------------|------|------|------|
| | 9123 | 9146 | 0,25 |
| Tarde parcialmente nublada | 5012 | 4992 | 0,40 |
| | 4023 | 4089 | 1,64 |
| | 3942 | 3834 | 2,74 |
| | 3209 | 3154 | 1,71 |

3.3 Análisis de la potencia de la señal de Bluetooth con respecto a la distancia

Uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta en este análisis, es el funcionamiento del Bluetooth ya que es de vital importancia determinar como se comporta el módulo a diferentes distancias y con obstáculos. Para ello se realizaron varias pruebas con el fin de determinar el alcance y la potencia del Bluetooth.

La primera prueba consistió en tres pasos: determinar la potencia de recepción, configurar el dispositivo y recibir los datos recolectados vía Bluetooth; todo esto a diferentes distancias del sistema de adquisición de datos y sin ningún obstáculo de por medio. La Tabla 15 muestra los datos obtenidos.

TABLA 15

ALCANCE Y POTENCIA DE RECEPCIÓN DE LA SEÑAL DE BLUETOOTH SIN NINGÚN OBSTÁCULO DE POR MEDIO

| Distancia (m) | Potencia (dBm) | Pérdida de datos durante configuración y recepción |
|----------------------|-----------------------|---|
| 0 | -20 | No |
| 1 | -45 | No |
| 3 | -49 | No |
| 5 | -56 | No |
| 7 | -61 | No |
| 10 | -63 | No |
| 13 | -66 | No |
| 15 | -67 | No |
| 20 | -68 | No |
| 23 | -72 | No |

Como se muestra en la tabla anterior, conforme se aumentó la distancia del sistema de adquisición con respecto al dispositivo móvil al cual estaba conectado, la potencia fue disminuyendo. Esto es lógico pues la señal se va atenuando conforme se aleja del punto de origen. Estos datos del alcance de la señal también son coherentes con lo establecido en la hoja de datos

del módulo de Bluetooth, pues en esta se especifica que la máxima distancia entre el módulo y el otro dispositivo de Bluetooth es aproximadamente 30 metros, siempre y cuando no haya obstáculos de por medio. En este caso no se siguió aumentando la distancia pues en el lugar de medición ya se presentaban obstáculos de por medio, que interferían con el objetivo de esta prueba.

Otro dato que fue comprobado es el de la potencia de recepción, pues según la hoja de datos la potencia mínima para establecer una transmisión inalámbrica es de -80dBm. De acuerdo a los datos mostrados, a -69 dBm no hubo pérdida de datos y ni desconexión del dispositivo, lo que confirma el dato establecido.

El objetivo de la segunda prueba fue determinar el alcance de la señal de Bluetooth cuando existe un obstáculo de por medio. En este caso el obstáculo fue una pared de madera. En esta prueba se realizaron los mismos pasos que en la prueba anterior: se determinó la potencia, se configuró el sistema y se recibió los datos muestreados a través de Bluetooth. Los resultados se muestran en la Tabla 16. Como es de esperar, el alcance de la señal disminuyó considerablemente al tener un obstáculo de por medio. Ahora el alcance de la señal no supera los 10 metros, se presentan problemas de conexión y por lo tanto pérdida de datos. A esta distancia la potencia está muy próxima a los -80 dBm, establecidos como potencia mínima para establecer una conexión, por lo que esto explica los problemas de transmisión.

TABLA 16

ALCANCE Y POTENCIA DE RECEPCIÓN DE LA SEÑAL DE BLUETOOTH DEL SISTEMA CON UNA PARED DE MADERA COMO OBSTÁCULO

| Distancia (m) | Potencia (dBm) | Observaciones |
|--------------------------|---------------------------|--|
| 1 | -59 | No hay pérdida de datos ni hay desconexión |

| | | |
|----|-----|--|
| 3 | -63 | No hay pérdida de datos ni hay desconexión |
| 5 | -69 | No hay pérdida de datos ni hay desconexión |
| 7 | -73 | No hay pérdida de datos ni hay desconexión |
| 10 | -79 | Se pierde conexión continuamente |
| 13 | - | No se recibe señal |
| 15 | - | No se recibe señal |

3.4 Capacidad de almacenamiento de datos del sistema

Dado que el sistema diseñado tiene una memoria EEPROM que tiene un máximo de almacenamiento de datos, se hace prudente determinar el tiempo máximo que el dispositivo puede guardar datos, sin que se reescriban los mismos. Para esto es necesario tomar en cuenta la capacidad máxima de memoria y los bits que corresponden a cada dato almacenado.

Según los datos mostrados en la Tabla 17, para el menor tiempo entre cada muestra, que es de un minuto, se puede guardar los datos de 3 días, mientras que para el máximo de tiempo entre cada muestra, el cual es 59 minutos, se logra almacenar datos durante casi 180 días, aproximadamente 6 meses. Esta información es importante pues le establece al usuario cuando es necesario guardar los datos recolectados, para evitar que sean sustituidos por otros nuevos.

TABLA 17

CAPACIDAD DEL ALMACENAMIENTO DE LA MEMORIA EEPROM DEL SISTEMA

| Tiempo entre cada | Capacidad de almacenamiento |
|-------------------|-----------------------------|
| 1 | 3,04 |
| 5 | 15,26 |
| 10 | 30,45 |
| 20 | 60,9 |
| 30 | 91,35 |
| 45 | 137,03 |
| 59 | 179,66 |

3.5 Prototipo Final

Como parte final del diseño, se logró crear un prototipo funcional del sistema. La Figura 3 muestra la parte superior del prototipo (en la que se encuentran los sensores de temperatura, humedad, dióxido de carbono y luminosidad). En la parte interior se observan componentes como el microcontrolador, la memoria EEPROM, el módulo de Bluetooth y demás dispositivos necesarios para el funcionamiento del sistema autónomo.

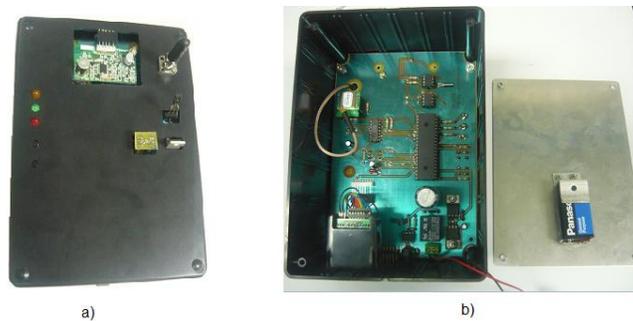


Figura 11 a) Parte superior del prototipo, b) Parte interior del prototipo

4 Conclusiones

Una vez finalizado el diseño del sistema de adquisición de datos es necesario establecer las principales conclusiones que se han alcanzado. La primera es la implementación de una conexión inalámbrica entre el sistema de adquisición de datos y un dispositivo móvil (laptop o smartphone) con un alcance de 23 metros sin obstáculos de por medio. Se estableció una comunicación inalámbrica, a través de una pared de madera, con un alcance máximo de 10 metros.

Además, se logró establecer una comunicación a través de USB, la cual permitió crear en una memoria de almacenamiento masivo un archivo de texto (.txt) con los datos recolectados, con un formato que contiene la fecha y la hora a la cual se realizaron los muestreos de las condiciones ambientales.

Es importante mencionar que la configuración del sistema de adquisición de datos se realizó con diferentes dispositivos móviles y con diferentes aplicaciones tipo Terminal tanto para Windows (XP, 7) como para Windows Mobile, con un resultado satisfactorio en ambos casos.

Una vez realizadas todas las actividades de validación de los dispositivos, se creó un prototipo final que cumplía con las características y requerimientos establecidos desde un principio.

REFERENCIAS

- [1] National. LM35 [en línea] [visitado el 24 de julio de 2010] Disponible en:
www.national.com/ds/LM/LM35.pdf
- [2] Honeywell. Sensing and Control [en línea] [visitado el 24 de Julio de 2010] Disponible en:
http://sensing.honeywell.com/index.cfm/ci_id/140570/la_id/1/document/1/re_id/0
- [3] Figaro. Gas Sensors [en línea] [visitado el 24 de julio de 2010] Disponible en:
http://www.figaro.co.jp/en/data/pdf/20100114174521_42.pdf
- [4] Intersil. Sensor ISL29010 [en línea] [visitado el 06 de octubre de 2010] Disponible en:
<http://www.intersil.com/products/deviceinfo.asp?pn=ISL29010>
- [5] Maxim-IC. RTC DS1307 [en línea] [visitado el 06 de octubre de 2010] Disponible en:
<http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/2688>
- [6] Vinculum. VDRIVE [en línea] [visitado el 24 de julio de 2010] Disponible en:
www.vinculum.com/documents/datasheets/DS_VDRIVE2.pdf

[7] Sena. ESD 200/210 [en línea] [visitado el 26 de julio de 2010] Disponible en:
www.sena.com/download/datasheet/ds_parani_esd.pdf

[8] Microchip. PIC18f4550 [en línea] [visitado el 26 de julio de 2010] Disponible en:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21941B.pdf>

[9] RadioShack, Termómetro para interiores y exteriores, con indicador de humedad para interiores [en línea] [visitado el 3 de noviembre de 2010] Disponible en:
http://support.radioshack.com/support_meters/doc68/68295.pdf

Franklin Barquero Monge. Nació el 17 de abril de 1984. Obtuvo su título de bachiller en el Colegio Científico Costarricense. Sus estudios superiores los realizó en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, obteniendo el título de Licenciado en Ingeniería Electrónica. Actualmente trabaja en SOFTTEK de Costa Rica en conjunción con HP, en el área de Research & Development HP Networking.

Arys Carrasquilla Batista. Obtuvo su título de bachiller en Ingeniería Electrónica (1995) y Máster en Computación con énfasis en Telemática (2001) en el Instituto Tecnológico de Costa Rica – ITCR, Cartago, Costa Rica.

Es profesora asociada e investigadora en la Escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR (2002) y Coordinadora de la Carrera de Ingeniería Mecánica.(2010).

La Ing. Carrasquilla es miembro del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) de Costa Rica y ha sido galardonada en los premios EuropeAid a la innovación (2007, 2009, 2010) en el categoría de Tecnología de la Información y la Comunicación en las áreas de Aprendizaje a Distancia, Telecomunicaciones y Electrónica.

8.2 Anexo 2. Artículo “Evaluación del crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo cultivo protegido en tres localidades de Costa Rica.”

Evaluación del crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo cultivo protegido en tres localidades de Costa Rica

Carlos Ramírez-Vargas, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede San Carlos, caramirez@itcr.ac.cr, (506) 2401 3129, estudiante del doctorado en ciencias naturales para el desarrollo (DOCINADE).

James Nienhuis, Departamento de Horticultura, Universidad de Wisconsin, nienhuis@wisc.edu, (608) 262 6975

Palabras clave: horticultura, tomate, cultivo protegido, componentes principales, hábito de crecimiento, genotipo, ambiente.

Keywords: horticulture, tomato, protected culture, principal components, grow habit, genotype, environment.

Resumen

Se llevó a cabo un experimento que consistió en la evaluación de crecimiento y productividad de tres genotipos de tomate en tres localidades de Costa Rica en sistema de cultivo protegido, las comunidades fueron San Blas de Carrillo, provincia de Guanacaste, Santa Clara de San Carlos, Provincia de Alajuela y Zapote de Zarcero provincia de Alajuela. Se evaluaron 19 variables fisiológicas de crecimiento y productividad para 9 tratamientos o interacciones. A los datos obtenidos se les hizo un análisis de componentes principales, como resultado de este análisis se seleccionaron los dos primeros componentes que explican más del 70 % de la variabilidad total, se determinó que el componente principal 1 explica el crecimiento del cultivo y su variable representativa fue el peso seco de tallos, el componente 2 representa el rendimiento y su variable representativa fue el peso seco de frutos. Se encontró también interacción de los genotipos con los ambientes pese a ser cultivados en invernadero, lo que demuestra una adaptación específica de los genotipos a las localidades que mostraron datos climáticos diferentes. La productividad de los genotipos también fue influenciada por los ambientes, sin embargo no superaron los 10 kgrs de fruta fresca por planta.

Abstract

An experiment that involved the assessment of growth and productivity of tomato genotypes in three locations in Costa Rica in protected cultivation system was carried out. Communities were San Blas de Carrillo, Guanacaste Province; Santa Clara, San Carlos and Zapote, Alfaro Ruiz in the province of Alajuela. 19 physiological variables were evaluated for growth and productivity for 9 treatments or interactions. The data obtained were made to a principal components analysis. As a result of this analysis, the first two components explained 70% of the total variability; it was determined that the principal component 1 explains the growth of the crop and variable representative was dry stem weight; component 2 represents the proxy performance and was the dry weight of fruit. It was also found interaction of genotypes with

environments despite being grown in the greenhouse, demonstrating a specific adaptation of genotypes to the locations that showed different climate data. The productivity of the genotypes was also influenced by the environments, but did not exceed 10 kgs of fresh fruit per plant.

Introducción

La horticultura en Costa Rica se lleva a cabo principalmente en el valle central a campo abierto con uso intensivo del suelo; que conlleva a una serie de problemas acumulativos como consecuencia del cultivo a lo largo de todo el año, circunstancia que puede verse como ventajosa en el trópico. Sin embargo, la presión de plagas y enfermedades se incrementa conforme el agricultor siembra en una misma zona un único cultivo, y con un control de plagas y enfermedades centrado en el uso de plaguicidas químicos.

Otras formas de producción de hortalizas como los sistemas de cultivo protegido, suponen una ventaja comparativa respecto al campo abierto, ya que el sistema favorece la alta productividad y el control de plagas y enfermedades, donde se puede hacer uso de infraestructura y equipo en busca de un ambiente controlado. En el trópico la implementación de esta tecnología, tendría que solucionar problemas como las altas precipitaciones, alta temperatura y humedad relativa, y de protección ante las plagas y enfermedades.

Una de las hortalizas más importantes en Costa Rica es el tomate, para la temporada 2006-2007, se sembraron un total de 945,7 hectáreas, donde la mayor concentración está en la región central occidental (provincias de Heredia y Alajuela) con 585 hectáreas, y únicamente 20 bajo sistema de cultivo protegido (Ministerio de Agricultura y Ganadería, citado por Información alternativa El Occidente, año 15 Número 124. Mayo 2009, Consejo Nacional de Producción, 2008), en Centroamérica la producción la encabeza Guatemala, Honduras y Costa Rica con 187.000, 53.000 y 50.000 toneladas métricas respectivamente durante ese mismo año (Benton-Jones, 2008).

La limitación de zonas con clima y suelos aptos para la producción de esta hortaliza de origen mesoamericano, nos plantea el reto de implementar sistemas de producción donde se pueda tener un mejor control del medio edáfico-climático (Castilla, 2004), y así plantear la necesidad de investigación y validación de sistemas de cultivo protegido en un ambiente tropical como el de Costa Rica. Se debe investigar su adaptación al sistema en regiones no tradicionales para tomate, evaluando en primera instancia genotipos que presenten adaptabilidad a diferentes regiones, con características que permitan su manejo en búsqueda de altas productividades.

El objetivo del siguiente trabajo fue determinar la interacción entre tres cultivares de tomate con diferente hábito de crecimiento y tres localidades de Costa Rica, bajo sistema de cultivo protegido, mediante la evaluación de su crecimiento y productividad.

Materiales y métodos

-Descripción general:

Se sembraron en tres localidades de Costa Rica, tres híbridos de tomate con diferente hábito de crecimiento dentro de invernaderos bajo sistema hidropónico; se mantuvo el cultivo durante seis meses, y se hicieron evaluaciones de variables de crecimiento y producción. En cada una de las localidades, se utilizó un invernadero construido según las condiciones climáticas y se midieron variables ambientales a lo interno de la estructura. El experimento consistió de tres ensayos idénticos, uno en cada localidad seleccionada y se sembraron de forma consecutiva, no simultáneamente.

-Localización del experimento y período de estudio:

Las tres localidades de Costa Rica seleccionadas son: San Blas de Carrillo, provincia de Guanacaste, Santa Clara de San Carlos, Provincia de Alajuela y Zapote de Zarcero provincia de Alajuela. Los períodos en que se llevaron a cabo los ensayos fueron: Para San Blas del 20 de julio al 20 de diciembre del 2007, en Santa Clara, del 1 de julio al 6 de diciembre del 2008, y por último en Zapote de Zarcero del 2 de marzo al 2 de agosto del 2009. Se escogieron estas localidades por sus diferencias climáticas, de altitud y zonas de vida según Holdbridge (tabla 1).

Tabla 1. Descripción de tres localidades utilizadas para un experimento de producción de tomate en cultivos protegidos

| Localidad | Altitud (msnm) | Temperaturas (min y max) | Precipitación anual (mm) | Zona de vida según Holdridge |
|---|----------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| San Blas de Carrillo, Guanacaste | 50 | 17 – 32 | 1500 | Bosque seco tropical |
| Santa Clara de San Carlos, Zona norte | 170 | 15 – 30 | 3500 | Bosque húmedo tropical |
| Zapote de Zarcero, Valle Central occidental | 1500 | 10 – 22.5 | 2000 | Bosque húmedo premontano |

Fuente: http://www.imn.ac.cr/mapa_clima/altas_clima/

-Descripción de los invernaderos

Los invernaderos utilizados en el experimento son similares entre sí, todos tienen diseño tipo capilla con monitor o ventana cenital en la parte superior de la estructura y techo en forma de arco. Las paredes están cubiertas de malla antiáfidos de nylon color blanco (Arrigoni, Italia), con una densidad de 32 x 32 hilos por pulgada lineal. El techo del invernadero está cubierto de plástico transparente con revestimiento para el filtraje de las radiaciones ultravioleta (Lirsa, Italia). El piso

del invernadero está cubierto con una alfombra plástica semipermeable (Agritela, arrigoni, Italia); se utilizó de color blanco (Agritela Reflex, Arrigoni, Italia) en los invernaderos de Santa Clara y Zapote de Zarcero, y de color negro (Agritela Nera, Arrigoni, Italia) en el invernadero de San Blas de Carrillo, se escogió estos dos tipos de cobertura, principalmente porque en las localidades de Santa Clara y Zapote la luminosidad es más baja que en la localidad de San Blas, el color blanco de la cobertura favorece la reflectancia de la luz.

Las dimensiones de los invernaderos varían ligeramente según la localidad, para el invernadero de San Blas de Carrillo las medidas son de 10 metros de ancho x 48 metros de largo, con apertura cenital de 1 metro de ancho, una altura de pared de 5 metros y una altura total de 7 metros. El de Santa Clara de San Carlos es de 9 metros de ancho y un largo de 30 metros, y tiene una altura de paredes de 4,5 metros, y la altura total es de 7,5 metros, la apertura cenital es de 1,2 metros de ancho. El invernadero de Zapote de Zarcero tiene 3,5 metros de altura de pared y una altura total de 6,5 metros, tiene monitor cenital de 0,8 metros de ancho, y es de 10 metros de ancho y 30 metros de longitud.

-Material experimental

El material vegetal utilizado consistió de tres híbridos de tomate tipo bola (*Lycopersicon esculentum* M), estos son: Híbrido “LSL 449” (Divine Ripe, Israel) con hábito de crecimiento semideterminado, híbrido “Qualyt 21” (Syngenta Rogers Seeds, Estados Unidos) con hábito de crecimiento determinado y el híbrido “Sabbia” (Nunhems seeds, Holanda) con hábito de crecimiento indeterminado.

-Diseño experimental, tratamientos y análisis estadístico

El diseño experimental corresponde a un irrestricto al azar; un factorial 3 x 3, donde interactúan los tres híbridos con tres localidades, para 9 tratamientos resultantes de la interacción, el número de repeticiones por tratamiento fue de 5, o sea 15 unidades experimentales por localidad y un total de 45 unidades. La unidad experimental consistió de una hilera de 10 plantas, con una parcela útil de 6 plantas, las cuatro restantes fueron una submuestra utilizada para muestreos destructivos. El modelo del experimento fue el siguiente: $Y_{ij} = \mu + t_i + l_j + (t * l)_{ij} + \epsilon_{ij}$

Donde “t” son los híbridos de tomate, “l” las localidades, “(t*l)” a la interacción híbridos (genotipos) con las localidades, “μ” es la media general, y “ε” es el error.

Tabla 2. Tratamientos factoriales, tres genotipos de tomate con diferente hábito de crecimiento por tres zonas agroecológicas de Costa Rica.

| Interacción híbrido | localidad | x | Híbrido | Hábito de crecimiento | Localidad | Abreviación |
|---------------------|-----------|-------------|-----------|-----------------------|------------|-------------|
| Guanacaste | x | determinado | Qualyt 21 | Determinado | Guanacaste | Gte-Det |

| | | | | |
|------------------------------|-----------|-----------------|------------|-------------|
| Semideterminado | LSL 449 | Semideterminado | Guanacaste | Gte-SemiDet |
| Guanacaste x Indeterminado | Sabbia | Indeterminado | Guanacaste | Gte-Indet |
| San Carlos x Determinado | Qualyt 21 | Determinado | San Carlos | SC-Det |
| San Carlos x Semideterminado | LSL 449 | Semideterminado | San Carlos | SC-SemiDet |
| San Carlos x Indeterminado | Sabbia | Indeterminado | San Carlos | SC-Indet |
| Zarcero x Determinado | Qualyt 21 | Determinado | Zarcero | Zar-Det |
| Zarcero x Semideterminado | LSL 449 | Semideterminado | Zarcero | Zar-Semidet |
| Zarcero x Indeterminado | Sabbia | Indeterminado | Zarcero | Zar-Indet |

-Variables evaluadas

Tabla 3. Descripción de las variables evaluadas durante el experimento, para tres híbridos de tomate en tres localidades de Costa Rica

| Variable | abreviación | Unidad de medición | Frecuencia medición |
|--------------------------------------|-------------|--------------------|---------------------|
| peso seco total | PST | Gramos/planta | Mensual |
| peso seco follaje | PSF | Gramos/planta | Mensual |
| peso seco de tallo | PSTLL | Gramos/planta | Mensual |
| Peso seco de raíz | PSR | Gramos/planta | Mensual |
| Peso seco vegetativo | PSV | Gramos/planta | Mensual |
| Peso seco de frutos | PSFr | Gramos/planta | Mensual |
| Relación vegetativa entre productiva | Veg/Frut | Sin unidades | Mensual |
| Altura de planta | AltPlant | Centímetros | Semanal |
| Grosor de tallo | Grosor | Centímetros | Semanal |
| Hojas por planta | H/PI | Número de hojas | Semanal |

| | | | |
|---|-------------------|-------------------|---------|
| Racimos por planta | Rc/PI | Número de racimos | Semanal |
| Flores abiertas por planta | Fl/PI | Número de flores | Semanal |
| Frutos por planta | Fr/PI | Número de frutos | Semanal |
| Flores promedio por racimo | Fl/Rac | Número de flores | Semanal |
| Frutos promedio por racimo | Fr/Rac | Número de frutos | Semanal |
| Peso total de frutos por planta | Grs/PI | Gramos | Semanal |
| Peso promedio de frutos | Pfrut | Gramos | Semanal |
| Producción en Kilogramos de frutos por metro cuadrado | Kg/m ² | Kilogramos | Semanal |
| Índice de área foliar * | IAF | Sin unidades | Semanal |

* Método sugerido por Blanco y Folegatti (2003)

-Variables asociadas a la medición del ambiente dentro de los invernaderos:

La temperatura en grados Celsius y humedad relativa en porcentaje, mínimas y máximas, se tomaron a diario a las 7:30 con un higrotermómetro digital (Precision, USA) ubicado en medio del cultivo a una altura de 1,5 metros. La luminosidad se midió en luxes diariamente dentro de los invernaderos a las 12:00 m, y se utilizó un luxómetro (Luxom Precision, USA).

-Análisis estadístico:

Se llevó a cabo un análisis de componentes principales para entender las relaciones entre las variables (Borrego et al, 2001). Para cada una de las variables seleccionadas, se llevaron a cabo análisis de variancia y pruebas de diferencias entre medias (Tuckey, $p=0,05$). Se utilizó el programa JMP de SAS Institute versión 8 para el análisis estadístico.

-Manejo del cultivo y sistema de siembra

Los cultivos se manejaron de manera similar para las tres localidades, el sistema de cultivo fue de tipo hidropónico con uso de sustrato inorgánico en contenedores individuales. Se utilizaron plántulas de treinta días de edad al momento del trasplante, y se les aplicó *Trichoderma* spp incorporado en el sustrato (Germination Mix, Fafard, Canadá), y Confidor 70 WG (Imidacloprid) (Bayer, Alemania) como insecticida preventivo.

Se trasplantó una planta por contenedor de 10 litros, el sustrato utilizado fue arena de los ríos Peñas Blancas para los invernaderos de San Carlos y Zarcero, y del río Tempisque para el de Guanacaste. Luego se aplicó riego por goteo con solución hidropónica completa a una frecuencia de 9 riegos diarios de 2 a 5 minutos cada uno programados con un temporizador (Nelson timer,

USA). A las plantas se les dejó dos ramas o guías principales, que se tutoraron con dos cuerdas por planta y se podaron los brotes laterales.

Los contenedores se colocaron en hileras de 9 metros de largo, con una distancia entre ellos de 0,4 metros y entre hileras de 1,5 metros, para una densidad de 16 665 plantas por hectárea.

-Manejo de plagas y enfermedades:

Las plagas y enfermedades se manejaron usando control biológico y químico cuando fue necesario, se usaron de manera preventiva aplicaciones de hongos antagonistas y entomopatógenos, como *Trichoderma* spp *Peaaccelomyces* spp y *Metarrhizium* spp, y los insecticidas Imidacloprid (Confidor 70 WG) y Abamectina (Vertimec), además de los fungicidas Metalaxil (Ridomil MZ) y Sportak (Bayer, Alemania).

Resultados y Discusión:

Se llevó a cabo un análisis de correlación entre las variables, obteniéndose como resultado un alto nivel entre muchas de ellas, en la figura 2 se presenta un conglomerado de las correlaciones obtenidas, se puede observar como muchas de las variables presentan alta correlación, y se forman grupos o conglomerados que corresponden a las variables que están altamente correlacionadas.

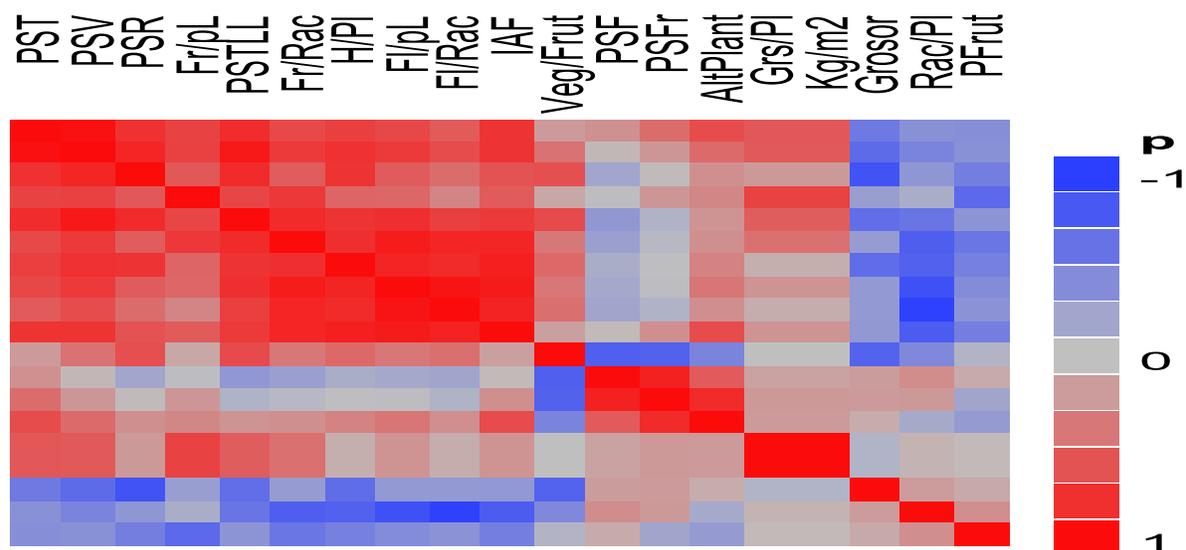


Figura 2. Cluster o conglomerado de correlaciones de diecinueve variables evaluadas para tres hábitos de crecimiento de tomate en tres localidades bajo sistema de cultivo protegido

Con base en la matriz de correlaciones se realizó un análisis de componentes principales (Rodríguez-Cano y Rodríguez, 2009), donde las variables se estandarizan, de manera que la varianza total en los resultados del experimento sea igual al número total de variables.

El análisis de componentes principales tiene como objetivo reducir la dimensión de la variabilidad perdiendo la menor cantidad posible, cada componente es una combinación lineal de las variables originales estandarizadas (Rodríguez-Rojas, 2009).

Cada uno de los componentes principales es independiente porque no están correlacionados entre sí, y van a poseer un valor que corresponde a la varianza que éste explica, e indica el nivel de contribución que tiene a la variabilidad total, esta valor se denomina Eigenvalue, en la tabla 4 se muestran esos valores para ocho componentes principales resultantes del análisis, siempre el primer componente es el que explica la mayor variabilidad, el segundo explica la que no se explicó en el primero, y su eigenvalue va disminuyendo sucesivamente para el resto de los componentes, también se muestra el porcentaje acumulado de la variabilidad explicada por cada uno.

Según los resultados, los dos primeros componentes explican el 70,052 % de la variabilidad total, considerando el principio de “parsinomia”, se pueden seleccionar para nuestro análisis estos dos primeros componentes ya que explican la mayor variabilidad posible con el mínimo posible de componentes (Rodríguez-Cano, ____).

Tabla 4. Proporción de la varianza explicada por ocho componentes principales para diecinueve variables de respuesta para tres hábitos de crecimiento de tomate en tres localidades

| Componente principal | Eigenvalue | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|----------------------|------------|------------|----------------------|
| 1 | 9.4734 | 49.860 | 49.860 |
| 2 | 3.8364 | 20.192 | 70.052 |
| 3 | 2.3721 | 12.485 | 82.537 |
| 4 | 1.5596 | 8.209 | 90.745 |
| 5 | 1.1642 | 6.127 | 96.873 |
| 6 | 0.3576 | 1.882 | 98.755 |
| 7 | 0.1674 | 0.881 | 99.636 |
| 8 | 0.0692 | 0.364 | 100.000 |

Cada componente reúne a variables altamente correlacionadas, y es posible elegir la(s) variable(s) representativa(s) de cada componente tomando en cuenta que su valor sea alto en el componente elegido y bajo en los otros.

En cada uno de los componentes principales, las variables que los componen tienen un peso o magnitud dentro de cada uno, también llamado coeficiente, y definen en cierta medida al componente y le dan su significado, ese valor o magnitud es denominado “eigenvector”.

Según los resultados presentados en la tabla 5, las siete variables con mayor eigenvector asociado al componente principal 1 (CP1) son: peso seco de tallos (PSTLL), peso seco vegetativo (PSV), número de hojas por planta (H/PI), índice de área foliar (IAF), número de frutos por racimo (Fr/Rac), flores por planta (Fl/PI) y peso seco total (PST), éstas fueron seleccionadas como representativas del CP1 no solo por su valor de eigenvector, sino también por el significado que éstas tienen desde el punto de vista de crecimiento de la planta, ya que representan medidas directas del crecimiento (Salisbury y Ross, 1994).

Tabla 5. Eigenvectors para las variables de repuesta de los componentes 1 y 2 para tres genotipos de tomate en tres localidades

| Variable | Componente 1 | Componente 2 |
|----------|-----------------|-----------------|
| PST | <i>0.28444*</i> | 0.19723 |
| PSF | -0.04261 | <i>0.43273*</i> |
| PSTLL | <i>0.30576*</i> | -0.06593 |
| PSR | 0.26259 | -0.06366 |
| PSV | <i>0.30484*</i> | 0.08361 |
| PSFr | 0.02682 | <i>0.47512*</i> |
| Veg/Frut | 0.15573 | -0.40254 |
| AltPlant | 0.13600 | <i>0.36813*</i> |
| Grosor | -0.18267 | 0.17286 |
| H/PI | <i>0.29238*</i> | -0.08929 |
| Rac/PI | -0.22010 | 0.18491 |
| Fl/pl | <i>0.29020*</i> | -0.05528 |
| Fr/pl | 0.23387 | 0.16011 |
| Fl/Rac | 0.26596 | -0.12197 |
| Fr/Rac | <i>0.29496*</i> | -0.03473 |
| Grs/PI | 0.14340 | <i>0.23736*</i> |

| | | |
|-------|----------|----------|
| PFrut | -0.16751 | -0.03026 |
| Kg/m2 | 0.14340 | 0.23736* |
| IAF | 0.29207* | 0.06888 |

**valores con mayor peso seleccionados para describir al componente*

Tanto los pesos secos de las diferentes fracciones y su totalidad, así como el número de órganos, reflejan a nivel fisiológico los cambios bioquímicos que se manifiestan como un aumento irreversible en tamaño de los organismos (Barraza et al,2004). Este componente principal 1 (CP1), podría denominarse como el componente que explica el crecimiento del cultivo o componente del crecimiento del cultivo, debido a que representa el aumento en biomasa y número de órganos en la planta.

En el componente 2 (CP2) las cinco variables de mayor magnitud son: peso seco de frutos (PSFr), peso seco del follaje (PSF), altura de planta (AltPlant), gramos de frutos cosechados por planta (Grs/Pl) y kilogramos de frutos por metro cuadrado (Kg/m2). Éstas últimas dos variables están asociadas al rendimiento, así como el acúmulo de materia seca a nivel de frutos (PSFr) con mayor magnitud en este componente, también tenemos dos variables importantes que son peso seco de follaje (PSF) y altura de planta (AltPlant), relacionadas con crecimiento y desarrollo del cultivo; pero sobre todo el peso seco del follaje (PSF).

Existe una relación denominada fuente/sumidero, que hace referencia a la traslocación de asimilados fotosintéticos de la fracción vegetativa (fuente) de la planta hacia la fracción reproductiva (sumidero), en este caso la fracción vegetativa está representada por el PSF y la reproductiva por el PSFr, esta relación es muy directa y/o paralela entre el tamaño de la fuente y el tamaño alcanzado por el sumidero que posee habilidad competitiva por atraer asimilados fotosintéticos del follaje (Dogliotti, 2002 ; Villalobos-Rodríguez, E. 2001).

El componente 2 (CP2) tiene variables asociadas a la parte reproductiva como lo son las relacionadas a los frutos y al rendimiento, además del crecimiento de la planta, por lo que sería un componente con un significado mixto, con un aporte importante de las variables productivas y vegetativas asociadas al crecimiento, podemos decir que es un componente que representa al rendimiento, ya que se asocian variables que lo explican en función de la relación fuente/sumidero y producción por planta, y da significado al efecto que tiene el peso seco del follaje en el acúmulo de biomasa por parte los frutos.

Considerando las variables con mayor peso en estos dos primeros componentes principales, queda en evidencia la importancia que tienen las variables asociadas al acúmulo de materia seca y a la productividad del cultivo del tomate dentro de los resultados de este experimento.

La variable peso seco total (PST), es una variable compuesta de la suma de las fracciones de materia seca de la planta, Heuvelink (1996) estudió la partición de la materia seca del cultivo de tomate a través de un modelo de simulación representando la relación entre la materia seca

reproductiva con la vegetativa. En nuestro caso la variable que representa el acúmulo de materia seca de los frutos (PSFr) es de gran peso en el componente 2 y las de acúmulo de materia seca vegetativa, peso seco vegetativo (PSV) y peso seco de tallos (PSTLL) son de mayor importancia en el componente 1, esta partición de la materia seca es importante para demostrar la eficiencia de la planta en distribuir sus asimilados producto de la fotosíntesis y que ha de manifestarse al final en la productividad del cultivo (Dogliotti, 2002).

El peso seco del follaje (PSF) resultó ser más importante en el componente principal 2 que en el componente 1 donde tienen mayor peso las variables de materia seca vegetativa (PSTLL y PSV); siendo las hojas los principales órganos encargados de la fotosíntesis y acúmulo de sus productos, y conociendo la relación fuente/sumidero, podemos entender la importancia la relación del PSF con el PSFr, y que es una relación directa con la productividad final del cultivo, Heuvelink (1995) encontró que del total de materia seca acumulada por planta de tomate bajo invernadero, el 54 al 60 % era distribuida a los frutos, y que de ésta más del 50% proviene de las hojas más que de los tallos o de otro órgano de la planta. La importancia de la variable Altura de planta en el componente 2, podría explicarse en términos de la acción del sumidero, ya que conforme se da la traslocación de asimilados fotosintéticos de la parte vegetativa hacia los frutos, el crecimiento se detiene, sobretodo en plantas de ciclo anual como el tomate, donde la cosecha se concentra al final de su ciclo de vida (Villalobos et al, 2001; Castilla, 2005).

Otra consideración importante, es que las variables representativas del componente 1 (CP1) se refieren a estructuras de la planta con crecimiento de tipo indeterminado, que depende de la acción de un meristemo con potencial de continuar en división celular (Salisbury y Ross, 1994) como es el caso del tallo de las plantas; por otra parte, en el componente 2 (CP2), sus variables representativas corresponden a estructuras de la planta con un crecimiento determinado, o sea que alcanzan un cierto tamaño y luego senecen y mueren, como es el caso de las hojas y frutos, esto hace una diferencia entre ambos componentes, y que ayuda a caracterizarlos como los componentes que explican uno el crecimiento y el otro el rendimiento.

Borrego et al (2001), encontraron a través del uso de análisis de componentes principales, que en el cultivo de tomate en invernadero uno de los componentes se asociaba a las características del rendimiento, y otro a variables fisiológicas de crecimiento, similares a los resultados descritos.

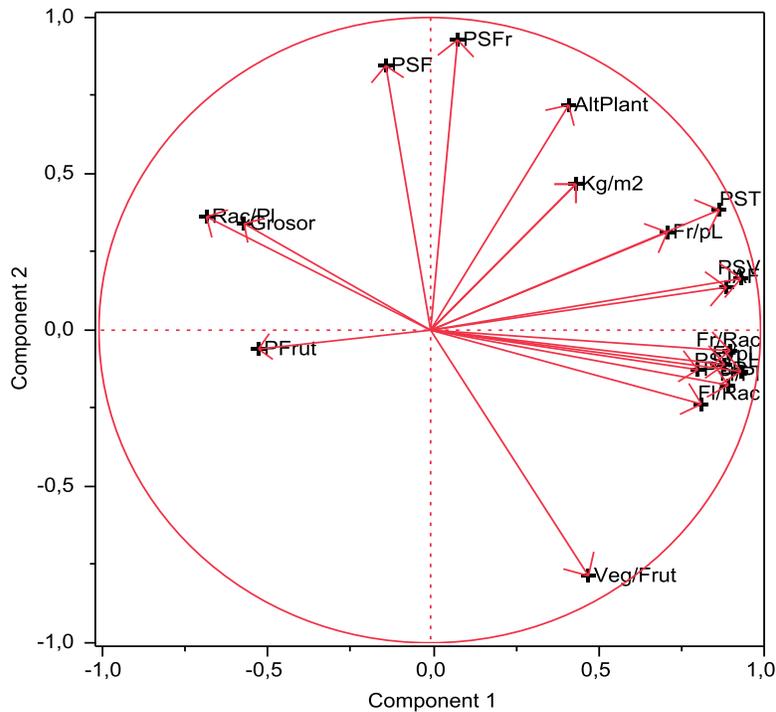


Figura 3. “Loadings” o “factores de carga” de diecinueve variables para los componentes 1 y 2 evaluadas para tres hábitos de crecimiento de tomate en tres localidades bajo sistema de cultivo protegido.

En la figura 3 se presentan las posiciones de cada variable respecto a los componentes 1 y 2, los puntos de cada variable son la intersección de los “loadings” (factor de carga) de cada una de ellas para cada componente; como los componentes se relacionan entre sí de forma perpendicular u ortogonal, cada punto que representa a una variable genera un vector con una magnitud que refleja el peso de la variable y la dirección que indica el componente al cual es afín.

La suma de cuadrados de los “loadings o pesos” de un componente es la cantidad de varianza que explica el componente o sea su eigenvalue, y existe una relación directa entre éstos y los eigenvectors para cada variable, dada por la ecuación:

$$\text{factor de carga (loading)} = \text{eigenvector} * \text{eigenvalue}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Vicente Villardón____, y Rodríguez-Rojas, 2009})$$

Algunas variables como el PSFr posee un “loading” alto para CP2 y su vector correspondiente en la figura indica su magnitud y su afinidad hacia ese componente, ya que es casi paralelo a éste; igualmente para la variable PSTLL que corresponde a la variable con mayor peso para CP1, este vector resultante se orienta prácticamente paralelo al eje que representa al componente.

Las variables PSFr y PSTLL son las significativas de los componentes 1 y 2 por tener su máximo eigenvector, y por representar desde el punto de vista fisiológico dos modos de crecimiento de la planta como se mencionó anteriormente.

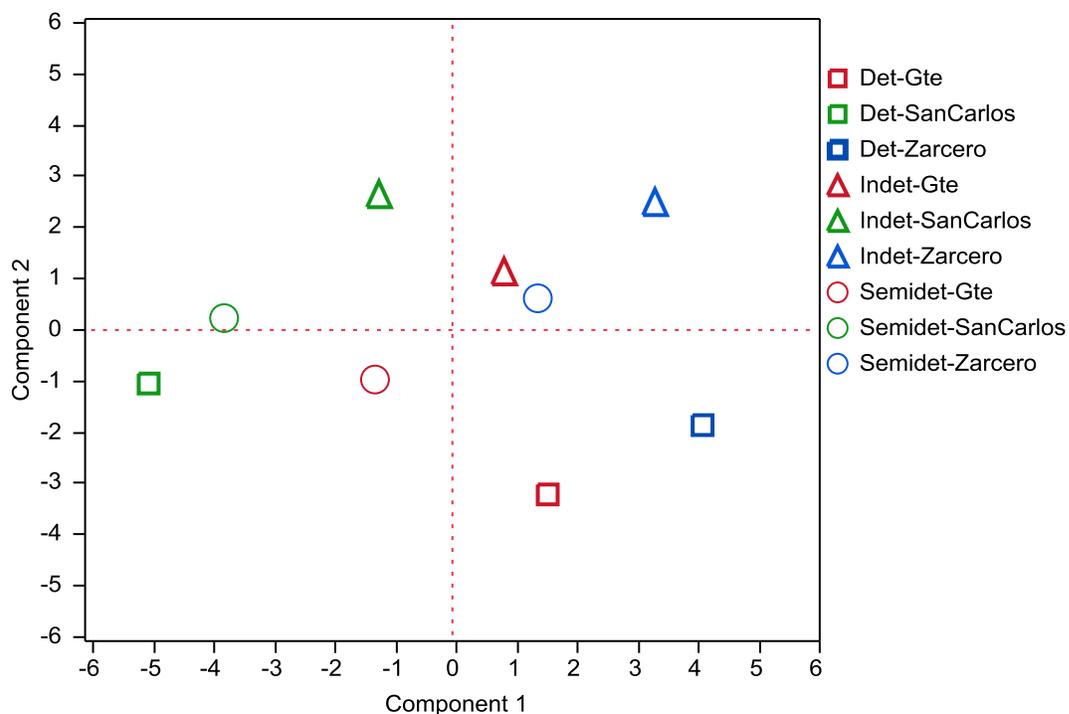


Figura 4. Relación entre los componentes 1 (49,68% variabilidad) y 2 (20.2 % variabilidad) para tres genotipos de tomate y tres localidades bajo sistema de cultivo protegido

La interacción de tres genotipos en tres localidades (tratamientos), también influyen en la variabilidad del sistema y tienen su peso dentro de los componentes principales, ese peso o magnitud (eigenvector) nos va a indicar cómo se comporta cada genotipo según el ambiente (localidad) y viceversa, y explican esa relación en función de los componentes principales 1 y 2. La posición de los tratamientos respecto a estos componentes principales se muestran en la figura 4.

Los tratamientos con mayor peso en el componente 1 son los genotipos evaluados en la localidad de Zarcero, y de menor peso los evaluados en San Carlos, y muestran un comportamiento intermedio los genotipos evaluados en Guanacaste.

Se puede apreciar también cierto nivel de agrupamiento por localidades con valores similares para el componente 1, y un comportamiento diferente entre genotipos iguales según el ambiente (localidades) donde se desarrollaron. Paez et al, (2000), encontraron diferencias en crecimiento y en distribución de la materia seca del tomate cultivar "Río Grande" cuando se cultivó en condiciones ambientales diferentes de luz y sombra, según nuestros resultados, un mismo genotipo presenta valores diferentes para el componente 1 que representa el crecimiento.

El distanciamiento entre genotipos para el componente 1, se da más en el genotipo de hábito determinado que en el de hábito indeterminado, con cierto grado de agrupamiento, el hábito de crecimiento indeterminado corresponde a una planta que mantiene un crecimiento sostenido durante su ciclo de vida, y su producción se presenta escalonadamente y no concentrada como en los genotipos determinados, que detienen su crecimiento en ese momento (Benton Jones, J. 2008 y Castellanos, 2009), este comportamiento natural de las plantas de tomate indeterminadas, podría explicar el poco distanciamiento que tiene este genotipo en las diferentes localidades respecto al genotipo de hábito determinado, que muestra un distanciamiento amplio según localidad para el componente 1 (CP1), Santiago et al (1998) evaluaron genotipos de tomate de tipo determinado en invernadero, obteniendo entre ellos diferencias en productividad y fotosíntesis, pese a tener el mismo hábito de crecimiento.

Para el caso del componente 2 (CP2), que representa el rendimiento, se puede observar también cierto nivel de agrupamiento por genotipos, mostrando mayores valores el genotipo indeterminado con valores similares independientemente de la localidad, el genotipo determinado presentó menores valores e intermedios el semideterminado; el componente 2 (CP2) es el asociado al rendimiento, y es el hábito indeterminado el que más aporta a este componente, y coincide con un mayor PSFr respecto a los otros hábitos de crecimiento (tablas 6 y 7).

Para el componente 2 (CP2), la variable AltPlant tiene un alto peso, y es una característica asociada al hábito de crecimiento, el hábito indeterminado es el que muestra valores altos, y es normal que este genotipo sea más alto que los determinados o semideterminados (Tabla 7), la altura de la planta asociada al hábito de crecimiento queda en evidencia en la distribución y agrupamiento de las interacciones en el componente 2 (CP2) mostradas en la figura 4.

Los genotipos mostraron un comportamiento diferenciado según localidad para el componente 1 (CP1), y para el componente 2 (CP2) las diferencias se mostraron más a nivel de localidades que de genotipos.

Los resultados de las variables más representativas de los componentes y su significancia se muestran en las tablas 6 y 7, para muchas variables resultó significativa la interacción hábito de crecimiento x localidad, al igual que en la figura 4 donde se mostró el distanciamiento entre tratamientos.

Tabla 6. Significancia estadística para las variables con mayor peso en los componentes principales uno y dos según análisis de varianza a $p=0,05$.

| Fte. Variación | Componente 1 | | | | | | Componente 2 | | | | | |
|--------------------|--------------|-----|-----|------|--------|-----|--------------|------|--------|-------|----------|--|
| | PSTLL | PST | PSV | H/PI | Fr/Rac | IAF | PSF | PSFr | Grs/PI | Kg/m2 | AltPlant | |
| Hábito crecimiento | ** | ** | ** | ** | NS | NS | ** | ** | ** | ** | ** | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|--|----|-----|-----|-----|-----|
| Localidad | ** | NS | ** | ** | ** | ** | | NS | NS | ** | ** | ** |
| Hábito crecimiento X | | | | | | | | | | | | |
| Localidad | *** | *** | *** | *** | NS | NS | | NS | *** | *** | *** | *** |

** y *** : presenta diferencias significativas,

NS : no presenta diferencias significativas

Tabla 7. Diferencias entre medias (Tuckey a $p=0,05$) para las variables con mayor peso en los componentes principales uno y dos según tratamientos

Componente 1

Componente 2

| Tratamientos | PSTLL (grs) | PST (grs) | PSV (grs) | H/PI | | PSF (grs) | PSFr (grs) | Grs/Pl | Kg/m ² | AltPlant (cms) |
|--------------|----------------|--------------------|--------------|-------|--|--------------|---------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Gte-Det | 246.8a | 441.6bc | 423.2ab | 34bc | | 113.2d | 38.46c | 5970.6cd | 7.46cd | 164.8e |
| Gte-SemiDet | 119.3c | 339.7d | 298.42c | 31.5c | | 160.84bc | 41.26bc | 5827.2d | 7.28d | 176.2de |
| Gte-Indet | 136.16c | 470.5bc | 385.72b | 38b | | 202.4a | 84.8a | 4649.7e | 5.81e | 270b |
| SC-Det | 44.02d | 221.7e | 185.22d | 22.6e | | 126.06cd | 36.5c | 4600.5e | 5.75e | 177de |
| SC-SemiDet | 105.12c | 338.9d | 296.62c | 25de | | 172.44c | 42.26bc | 6964.8bc | 8.71bc | 183.6de |
| SC-Indet | 136.16c | 470.5bc | 385.72b | 27d | | 202.4c | 84.8a | 7725.6ab | 9.66ab | 207.4c |
| Zar-Det | 269.8a | 489.2b | 463.2a | 43.4a | | 121d | 26d | 7005.3bc | 8.76bc | 187.8cd |
| Zar-Semidet | 196.6b | 429.6c | 382.2b | 31.6c | | 160bc | 47.4b | 8221.2a | 10.28a | 196.6cd |
| Zar-Indet | 256.6a | 558.8 ^a | 476a | 35bc | | 166.4ab | 82.8a | 8302.5 ^a | 10.38 ^a | 297.2 ^a |

*Letras iguales no muestran diferencias significativas entre tratamientos para cada variable

Las variables de mayor interés para cualquier productor, son las relacionadas al rendimiento (componente principal 2), en la tabla 7 se muestran las productividades para los diferentes tratamientos, que fueron mayores en los genotipos sembrados en la zona de Zarcero, con producciones por planta cercanos a los 10 Kgs/m² de fruta fresca, si se compara este dato con los reportados por Castilla (2005) de 18 Kg/m² para España y de 58 Kg/m² para Holanda, estaríamos muy por debajo de ellos, sin embargo esto no significa que todos los genotipos con los hábitos de

crecimiento estudiados, vayan a presentar productividades similares, ya que pueden tener adaptaciones distintas según localidad y al sistema de cultivo protegido en el trópico.

El genotipo de crecimiento indeterminado fue uno de los que presentó mejores producciones, y es coincidente con lo recomendado por muchos autores para uso en invernadero (Gil-Vázquez et al, 2003; Rodríguez-Fuentes et al, 2006), sin embargo en San Carlos, los genotipos determinado y semideterminado mostraron producciones similares al indeterminado y en Guanacaste el determinado tuvo la mayor producción, esto pudo ser influenciado por el ambiente, lo que sugiere que en el trópico podrían utilizarse genotipos determinados en invernadero contrario a lo recomendado.

El manejo del cultivo también puede condicionar su productividad, las podas y deshijas llevadas a cabo por igual para todos los genotipos varía la relación fuente/sumidero, porque al eliminar los brotes laterales se estimula el crecimiento de los frutos ante la falta de competencia por los asimilados fotosintéticos (Villalobos-Rodríguez, E. 2001; Castilla, N. 2004).

Pese a que se cultivó en un sistema de tipo hidropónico y que los invernaderos son estructuralmente similares, se presentaron diferencias climáticas a lo interno según localidad, en la tabla 8 se muestran esos datos; por ejemplo la temperatura mínima promedio, fue más baja en el invernadero de Zarcero, y se obtuvo una integral térmica menor como consecuencia de lo mismo, aunque las humedades relativas son bastante similares, si se ven diferencias en el promedio de luminosidad entre localidades, siendo menor en Zarcero; en las localidades de San Carlos y Guanacaste se presentaron temperaturas altas, que pudieron haber afectado el crecimiento de tallos y estructuras vegetativas de las plantas (Gil-Vázquez et al, 2003),

Tabla 8. Comportamiento de variables climáticas internas de los invernaderos, para tres localidades de Costa Rica durante el período de estudio

| Localidad | Temperatura promedio máxima | Temperatura promedio mínima | Humedad relativa promedio máxima | Humedad relativa promedio mínima | Integral térmica (grados día) | Luz promedio (luxes) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Guanacaste | 37,28 C | 22,64 C | 87,48 % | 48,02 % | 9573 | 41888,89 |
| San Carlos | 38,09 C | 21,71 C | 88,17 % | 40,66 % | 9502 | 30322,22 |
| Zarcero | 35,90 C | 12,34 C | 87,48 % | 48,02 % | 7719 | 24481,11 |

A pesar de que el experimento se realizó en invernaderos, se encontraron fuertes interacciones entre genotipos y ambientes, esto significa que los genotipos tienen una adaptación muy específica a las diferentes zonas agroecológicas o localidades, Borrego et al 2001 y Santiago et al 1998, encontraron diferencias importantes en producción entre genotipos evaluados bajo invernadero, representando para ellos una clara adaptación de algunos a sus condiciones de evaluación.

Las tres localidades donde se llevaron a cabo los ensayos, pertenecen a zonas de vida distintas según Holdbridge, las diferencias mostradas entre tratamientos para los componentes seleccionados, también se mostraron para sus variables representativas, todas esas diferencias mostradas entre genotipos, dejan claro la influencia del ambiente en la manifestación de ciertas variables asociadas al crecimiento y a la producción de los híbridos de tomate.

Conclusiones:

Bajo las condiciones en que se llevó a cabo el experimento, y con base en los resultados, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

El análisis de componentes principales mostró la importancia de las variables asociadas al crecimiento y al rendimiento, destacando las variables obtenidas a partir de la determinación de la materia seca.

Los componentes 1 y 2, representaron al crecimiento y la productividad, y sus variables representativas fueron Peso seco de tallos y peso seco de frutos respectivamente.

Se encontraron fuertes efectos de ambientes y genotipos, además de sus interacciones, lo que indica una adaptación específica de cada genotipo para las localidades seleccionadas pese a tener invernaderos similares.

Los niveles de producción máximos alcanzados en algunos de los tratamientos son muy inferiores a los reportados por la literatura para el cultivo de tomate en sistemas protegidos en otras latitudes.

En la localidad de Guanacaste el genotipo de hábito determinado mostró mayor producción que el hábito indeterminado

Recomendaciones

Realizar experimentos con base en los resultados, ampliando el rango de genotipos determinados para establecer el nivel de variancia entre ellos en un mismo ambiente

Para la localidad de Guanacaste sería conveniente verificar el resultado de mayor productividad del genotipo determinado sobre el indeterminado

Considerar en experimentos futuros variables asociadas para indicar la sostenibilidad del sistema de producción.

Literatura consultada

Barraza, F; Fischer, G y Cardona, C. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el valle del Sinú medio, Colombia. Agronomía colombiana. Vol 22 No. 1 p 81-90

Benton Jones, J. 2008. Tomato Plant Culture in the field, Greenhouse, and Home Garden. CRC Press. EUA. 2da edición. 397 p

Blanco, F ; Folegatti, M. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. Horticultura Brasileira. Vol. 21 No. 4 p

Borrego, F ; López, A ; Fernández, J.M ; Murillo, M ; Rodríguez, S.A ; Reyes, A ; Martínez, J.M . 2001. Evaluación agronómica de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Agronomía Mesoamericana. Vol 12 No. 1 pp 49-56

Catellanos, J.Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Celaya, Gto, MX. Intagri. S.C. 460 p.

Castilla, N. 2004. Invernaderos de plástico tecnología y manejo. Mundi Prensa, España, 457p

Consejo Nacional de Producción, 2008. Tomate Costa Rica, Subgerencia de desarrollo agropecuario, dirección de mercadeo y agroindustria, Boletín No. 1, <http://mercanet.cnp.go.cr>

Dogliotti, S. 2002. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Material de apoyo al Módulo Hortícola, Universidad de la República, Ciclo de formación central agronómica, Curso de fisiología de los cultivos. Uruguay

Gil-Vázquez, I ; Sánchez del Castillo, F y Miranda-Velázquez, I. 2003. Producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Serie de publicaciones Agribot, Chapingo, México. 90p

Heuvelink, E. 1995. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. Scientia horticulturae Vol 61 p 77-99

Heuvelink, E. 1996. Dry matter partitioning in tomato: validation of dynamic simulation model. Annals of botany. 77: 71-80

Heuvelink, E. 2005. Diplomado Internacional en Horticultura protegida, Universidad Autónoma de Chapingo, Notas de clase, México.

Paez, A ; Paz, V y López, J.C. 2000. Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río Grande en la época mayo-julio. Efecto del sombreado. Ev. Fac. Agron (LUZ). Vol 17 p 173-184

Rodríguez-Cano, J. 2009. Estadística Análisis de componentes principales. Universidad de Viña del Mar, Escuela de Ciencias Sociales, carrera de Sociología, Apuntes de curso.

Rodríguez-Fuentes, H ; Muñoz-López,S y Alcorta-García, E: 2006. El Tomate Rojo Sistema Hidropónico. Trillas, México. 78p

Rodríguez-Rojas, O. 2009. Análisis en Componentes Principales. En http://oldemarrodriguez.com/yahoo_site_admin/assets/docs/cap2.23380802.pdf

Salisbury, Frank B., Ross, Cleon W. 1994. Fisiología Vegetal. Trad. V González. Iberoamérica. D.F. México. 759 p.

Santiago, J ; Mendoza, M y Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. Agronomía mesoamericana. Vol. 9 No. 1 p 59-65

Vicente-Villardón, JL. _____. Análisis de componentes principales. Departamento de Estadística, Universidad de Salamanca, notas de curso

Villalobos-Rodríguez, E. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales, procesos fisiológicos básicos. Fascículo I. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 1era edición, San José, Costa Rica. 228p

Wittwer, S.H y Castilla, N. 1995. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. HortTechnology. Vol 5 No. 1 p 6-22

8.3 Anexo 3. Artículo “Cultivo Protegido de hortalizas en Costa Rica”

Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica

Carlos Ramírez-Vargas, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede San Carlos, caramirez@itcr.ac.cr, (506) 2401 3129, estudiante del doctorado en ciencias naturales para el desarrollo (DOCINADE).

James Nienhuis, Departamento de Horticultura, Universidad de Wisconsin, nienhuis@wisc.edu, (608) 262 6975

Palabras clave: Cultivo protegido, horticultura, plagas y enfermedades, campo abierto, invernadero

Keywords: Protected culture, horticulture, pest and diseases, open field, greenhouse

Resumen

La horticultura en Costa Rica se ha desarrollado principalmente a campo abierto, concentrada en el valle central donde predominan las actividades de expansión urbanística y comercial. Muchos de los problemas asociados a la producción hortícola se centran en la alta presencia de plagas y enfermedades que obligan al productor a utilizar plaguicidas químicos con consecuencias perjudiciales para el ambiente, la horticultura a campo abierto se vuelve muy contaminante e insostenible. Una alternativa productiva pueden ser los sistemas de cultivos protegidos, donde a través del uso de estructuras, materiales y equipo, es posible producir hortalizas en climas adversos, y facilitar el control de plagas y enfermedades, estos sistemas han sido ampliamente usados a nivel mundial con gran éxito, pero a nivel del trópico se hace necesario llevar a cabo investigación con el objetivo de implementar y/o modificar el sistema para que favorezca la producción sostenible de hortalizas.

Abstract

Horticulture in Costa Rica has been development mainly in open field system on the central valley, where the main activities are housing and marketing. Many of the problems associated to horticulture are pests and diseases; for this reason, the farmers use chemical pesticides with negative consequences for the environment. Open field horticulture turns polluting and unsustainable. Protected culture systems can become an option to produce; these systems use materials and equipment for the production of vegetables in difficult environments and to ease pest and disease control. These systems have been widely used successfully around the world. In the tropic, however, it is necessary to modify the system through research for the production of vegetables sustainably.

Introducción

Por mucho tiempo en Costa Rica, la producción de hortalizas se ha llevado a cabo a campo abierto y no en sistemas de cultivo protegido, esto se debe, entre otras razones, a las ventajas de un clima que permite sembrar a lo largo de todo el año, suelos fértiles con aptitud agrícola y una cultura hortícola desarrollada a nivel local. Sin embargo el cambio climático global, la presión de plagas y enfermedades, el crecimiento urbanístico y comercial han afectado también la actividad hortícola a campo abierto en las zonas tradicionales de cultivo.

Los sistemas de producción de hortalizas en Costa Rica han sido de tipo intensivo, donde se consume mucha mano de obra y se utilizan grandes cantidades de agroquímicos (La Nación, 2005), la topografía de los terrenos casi no permite el uso de maquinaria agrícola para preparación de suelos ni para cosecha, ha predominado la finca de tamaño pequeño que puede oscilar en un área promedio de 1 a 5 hectáreas y el horticultor ha desarrollado su actividad con el apoyo de mano de obra familiar. Como las fincas o predios son pequeños, es común encontrar en una comunidad hortícola a grupos asociados de productores uniendo esfuerzos para mejorar su capacidad comercial, y así facilitar el mercadeo de sus productos (Murillo 2008, comunicación personal).

Algunas hortalizas se han sembrado en sistemas de asocio de cultivos, como es el caso de el tomate (*Lycopersicum esculentum*) y chile dulce (*Capsicum annum*), que se cultivan asociados al cultivo de café (*Coffea arabica*). En las fincas es común encontrar plantaciones de tomate y chile dulce en lotes con plantas de café recién sembradas o podadas, que permiten el establecimiento temporal de un cultivo de ciclo anual como son estas solanáceas (Tomatico S.A. comunicación personal, 2008). También la rotación de cultivos ha sido una práctica común en el cultivo de

hortalizas de ciclo corto, donde se alternan en un mismo lote siembras de hortalizas de familias diferentes como por ejemplo papa (*Solanum tuberosum*) y col (*Brassica oleraceae*).

En Costa Rica, las principales áreas de cultivo de hortalizas se han concentrado en el Valle Central, ubicado en el centro del territorio, y a una altitud que oscila desde los 700 a los 2000 metros sobre el nivel del mar, los tipos de suelo predominantes son de origen volcánico de textura franco a franco limosa (Bertsch, 2006). Las principales ciudades del país están ubicadas allí donde el crecimiento urbanístico y comercial es cada vez mayor (Informe del estado de la nación, 2003). Las zonas tradicionales de cultivos hortícolas en Costa Rica se han cambiado por otras actividades, como lo son la construcción de residenciales y el desarrollo comercial e industrial, desplazando la agricultura a terrenos en zonas marginales o con aptitudes de suelo y clima inconvenientes para los cultivos hortícolas, esta situación es típica del cambio en el uso del suelo en países sin planificación territorial (Vasquez, 1993 citado por Bertsch, 2006), como consecuencia los terrenos se vuelven más escasos e injustificables desde el punto de vista económico para la actividad hortícola tradicional.

La agricultura a campo abierto puede ser muy contaminante, sobre todo cuando es afectada por condiciones climáticas adversas como fuertes lluvias, que incrementan la erosión de suelo a nivel superficial y por consiguiente de los fertilizantes y pesticidas aplicados. Las condiciones climáticas adversas provocan en la horticultura problemas de tipo fitosanitario que obliga al agricultor a usar pesticidas químicos en exceso; la horticultura a campo abierto en el trópico se vuelve arriesgada.



Figura 1. Cultivo de tomate a campo abierto asociado a plantaciones de Café en la provincia de Alajuela, Costa Rica (foto: Carlos Ramírez).

Condición agroecológica de Costa Rica

Costa Rica es un país situado en el istmo de América Central, con una topografía montañosa, las cadenas de montañas o cordilleras atraviesan el centro del país a todo lo largo, y esto produce una serie de condiciones ambientales muy diversas por influencia de las corrientes de aire que provienen del mar Caribe y del Océano Pacífico. La topografía montañosa genera también una serie de microclimas con altitudes que oscilan desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm. Estos microclimas permiten el desarrollo de muchas actividades agrícolas con muchos cultivos diferentes adaptados a las condiciones climáticas imperantes en cada zona, así por ejemplo el café se cultiva en altitudes superiores a los 1000 msnm y es predominante en el Valle Central, por otra parte en zonas de altitudes bajas predominan los cultivos de tipo más extensivo como los granos básicos, la caña de azúcar, palma aceitera, y algunos de exportación como la piña y el melón entre muchos otros.

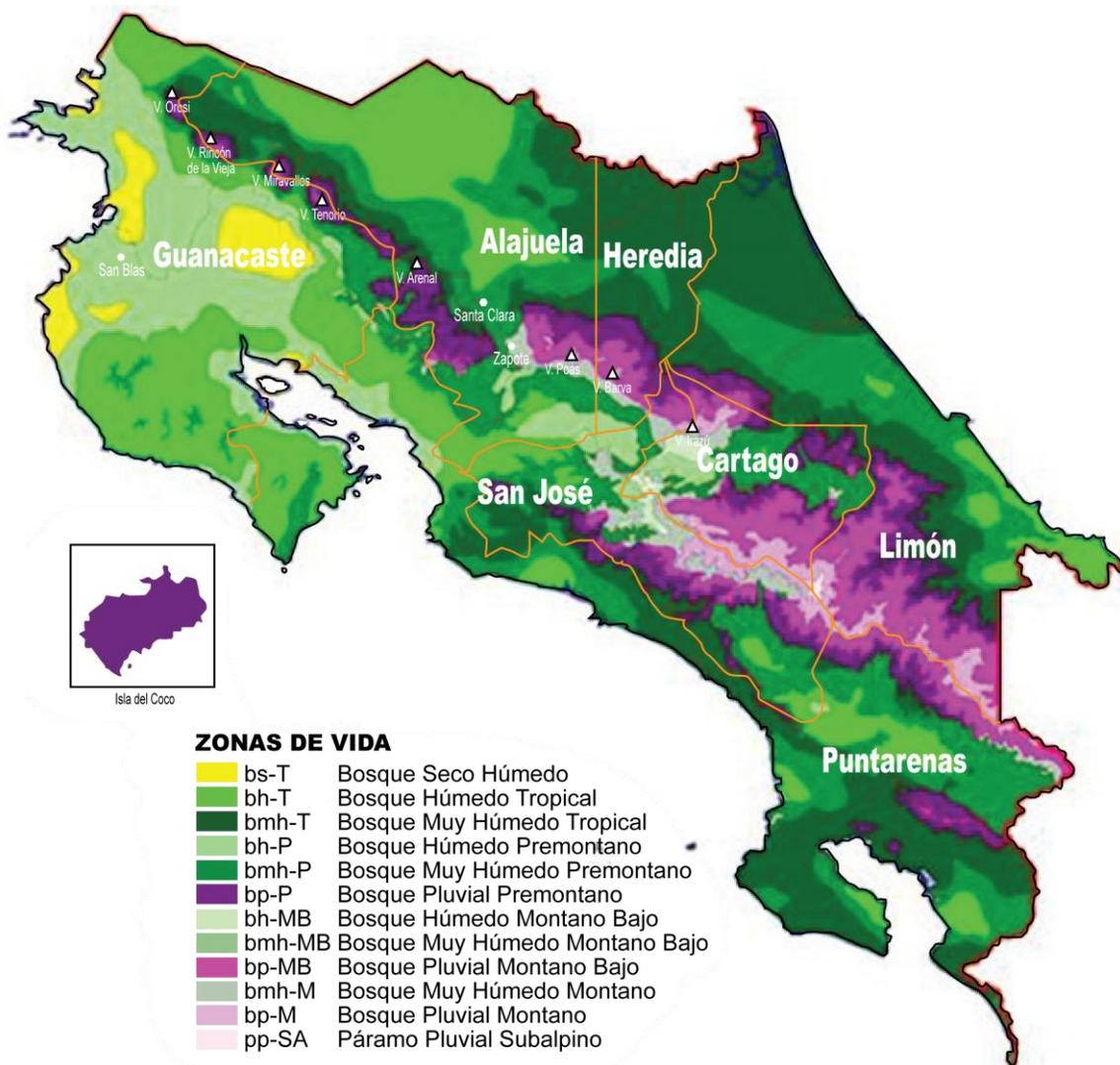


Figura 2. Mapa de Costa Rica con zonas de vida según Holdbridge (fuente: Inbio (2005) citado por SIREFOR (2007))

Problemática de la producción de hortalizas en Costa Rica

La mayoría de las siembras de cultivos hortícolas en Costa Rica no son estacionales, la presencia de plagas y enfermedades durante todo el año ocurre como consecuencia del constante cultivo que favorece la permanencia de inóculo en el campo, dentro de estas plagas tenemos insectos, ácaros, hongos, bacterias y virus. Las condiciones ambientales también las han favorecido, ya que se presentan altas temperaturas y precipitaciones, que favorecen el desarrollo de epifitias.

La presencia del cultivo a lo largo de todo el año y las condiciones ambientales favorables, provocan que la presión de plagas y enfermedades vaya en aumento; por esta razón, el horticultor se ve obligado a hacer aplicaciones de pesticidas químicos para tratar de recuperar su inversión, sin embargo las constantes aplicaciones provocan serios problemas ambientales, ya que en la horticultura a campo abierto la degradación del suelo es alta y la contaminación por exceso de aplicación se suma a este problema (Estado de la Nación, 2003).

El uso indiscriminado de pesticidas ha provocado una alta presión de selección sobre las plagas, y hay carencia de materiales genéticos resistentes a las principales plagas y enfermedades (Tomatico S.A. comunicación personal, 2008), en Costa Rica según informes de la Cámara de Importadores de Insumos Agropecuarios de Costa Rica, se importaron en el 2006 un equivalente a 14 kgrs de pesticidas sintéticos per capita. Debido al constante incremento en el costo de los pesticidas, el horticultor aplica los más baratos del mercado, siendo éstos en su mayoría productos no autorizados para sus cultivos o bien son de alta toxicidad y residualidad, el agricultor desconoce muchas veces como se dosifican y para qué se usan, por lo que es cuestionable el uso que hace de ellos (La Nación, 2005), la venta de agroquímicos en Costa Rica es libre por lo que cualquier persona puede tener acceso a los productos autorizados para la venta (Coto, 2003).

En los cuadros 1 y 2, se presentan unas listas de plagas y enfermedades para algunos cultivos hortícolas de Costa Rica, como se puede apreciar la lista es larga y la diversidad de individuos es alta, muchos de estos insectos crean problemas dobles al ser vectores de virus y otras enfermedades, como es el caso de *Myzus persicae* y *Bemisia tabaci*, muchas de estas plagas y enfermedades son específicas para algunos cultivos y otros tienen una amplia gama de hospederos. Su control se ha llevado a cabo tradicionalmente utilizando plaguicidas químicos, y en algunos casos se ha empezado a utilizar control biológico con hongos antagonistas. En localidades de cultivo intensivo y extensivo de algunos cultivos como melón y chile dulce, se han provocado infestaciones altas de estas plagas y se han salido de control, hasta tener que declarar la zona en cuarentena por alta incidencia de plagas (Departamento fitosanitario del estado costarricense, 2007).

Cuadro 1. Algunas plagas reportadas en cultivos hortícolas de Costa Rica (Ministerio de Agricultura de Costa Rica, 2004)

| Nombre de la plaga | Grupo taxonómico | Cultivo (s) hospederos |
|----------------------------------|---------------------|---|
| <i>Phyllophaga spp</i> | Col:Scarabaeidae | Hortalizas en general |
| <i>Myzus persicae</i> | Hom:Aphididae | <i>Lycopersicum esculentum</i> <i>Capsicum spp.</i> <i>Cucumis melo</i> |
| <i>Atta sp.</i> | Hym:Formicidae | Hortalizas en general |
| <i>Heliothis virescens</i> | Lep:Noctuidae | <i>Lycopersicum esculentum</i> <i>Capsicum spp.</i> <i>Cucumis melo</i> |
| <i>Spodoptera spp.</i> | Lep:Noctuidae | <i>Lycopersicum esculentum</i> <i>Capsicum spp.</i> <i>Cucumis melo</i> |
| <i>Trichoplusia ni</i> | Lep:Noctuidae | <i>Lycopersicum esculentum</i> <i>Capsicum spp.</i> |
| <i>Manduca sexta</i> | Lep:Sphingidae | <i>Lycopersicum esculentum</i> |
| <i>Polyphagotarsonemus latus</i> | Acari:Tarsonemidae | <i>Lycopersicum esculentum</i> <i>Capsicum spp.</i> |
| <i>Tetranychus urticae</i> | Acari:Tetranychidae | <i>Lycopersicum esculentum</i> <i>Capsicum spp.</i> <i>Cucumis melo</i> |
| <i>Diabrotica spp.</i> | Col:Chrysomelidae | Hortalizas en general |
| <i>Epitrix cucumeris</i> | Col:Chrysomelidae | Hortalizas en general |
| <i>Liriomyza sativae</i> | Dip:Agromyzidae | Hortalizas en general |

| | | |
|--------------------------------|--------------------|---|
| <i>Bemisia tabaci</i> | Hom:Aleyrodidae | <i>Lycopersicum esculentum</i> <i>Capsicum spp.</i> <i>Cucumis melo</i> |
| <i>Trialeurodes sp.</i> | Hom:Aleyrodidae | <i>Lycopersicum esculentum</i> <i>Capsicum spp.</i> <i>Cucumis melo</i> |
| <i>Keiferia lycopersicella</i> | Lep:Gelechiidae | <i>Lycopersicum esculentum</i> |
| <i>Agrotis spp</i> | Lep:Noctuidae | Hortalizas en general |
| <i>Anthonomus eugenii</i> | Col: Curculionidae | <i>Capsicum spp.</i> |

Cuadro 2. Algunas enfermedades reportadas en cultivos hortícolas de Costa Rica (Ministerio de Agricultura de Costa Rica, 2004).

| Nombre de la enfermedad | Agente causal |
|-------------------------|---|
| Marchitez bacteriana | <i>Ralstonia solanacearum</i> |
| Tizón tardío | <i>Phytophthora infestans</i> |
| Tizón temprano | <i>Alternaria solani</i> |
| Marchitez fungosa | <i>Fusarium oxysporum</i> |
| Marchitez fungosa | <i>Sclerotium rolfsii</i> |
| Peca bacteriana | <i>Pseudomonas syringae</i> |
| Mancha bacteriana | <i>Xanthomonas vesicatoria</i> |
| Mildiu veloso | <i>Pseudoperonospora cubensis</i> |
| Mildiu polvoso | <i>Liveillula taurica</i> |
| Esclerosis | <i>Sclerotinia sclerotium</i> |
| Mal del talluelo | <i>Pythium sp.</i> <i>Rhizoctonia solani</i> |

| | |
|----------------------|---------------------------|
| Pudrición bacteriana | <i>Erwinia carotovora</i> |
| Cercospora | <i>Cercospora capsici</i> |

Horticultura protegida como opción productiva

La horticultura protegida es una alternativa productiva para los horticultores de Costa Rica, el uso de invernaderos u otros sistemas de protección de plantas ha sido ampliamente usado alrededor del mundo con gran suceso (Wittwer y Castilla 1995).

Frente a condiciones climáticas adversas es posible sembrar dentro de estructuras diseñadas especialmente para poder modificar o controlar el clima circundante a las plantas de cultivo, el cultivo protegido supone la creación de un ambiente que proteja a las plantas y permita controlar al máximo factores de producción como lo son: el uso del agua, la fertilización, la luz, CO₂, temperatura y humedad (Castilla, 2005 ; Gil-Vázquez et al, 2003). La estructura básica para el cultivo protegido, llamada invernadero, permite el cultivo de hortalizas minimizando el efecto de las plagas y enfermedades en localidades con condiciones climáticas adversas. El cultivo protegido de hortalizas en el trópico nos permite disminuir sustancialmente las aplicaciones de plaguicidas químicos y puede potenciarse el uso del control biológico al tener un ambiente más controlado (Obregón, 2008, comunicación personal).

Los invernaderos son estructuras que deben ser diseñadas de acuerdo a las condiciones ambientales del lugar o localidad donde se van a establecer, así como considerar el cultivo a sembrar, por tal razón es de suma importancia que el diseño se adapte bien a las condiciones ambientales prevalecientes de la zona. Los diseños de invernaderos de clima templado pueden no funcionar en condiciones tropicales, por esta razón se hace necesario diseñar e investigar el comportamiento funcional de diferentes tipos de invernaderos dentro del ambiente tropical.

Debido a que en Costa Rica existen diversos tipos de microclimas generados por su condición topográfica (figura 2), los tipos de invernaderos deberán diseñarse y construirse tomando en cuenta el clima local, es muy importante considerar algunos principios del diseño agronómico de un invernadero, y uno muy importante es la ventilación, ésta se debe promover en la medida de lo posible a través del diseño mismo del invernadero y puede ser ayudado con accesorios o equipamiento para ventilación, otro aspecto importante es que el invernadero en el trópico debe ofrecer una adecuada protección para la lluvia.

En Costa Rica se vislumbran regiones potenciales para la producción de hortalizas en ambientes protegidos, una de ellas está ubicada en el noroeste del valle Central y corresponde a la comunidad de Zarcero, que es una localidad donde la población tiene una tradición hortícola muy fuerte y han sido precursores de sistemas alternativos de producción de hortalizas en el país como la horticultura orgánica, esta localidad está a una altitud que oscila entre los 1500 y los 1800 msnsm, con un régimen de lluvias moderado pero con dos estaciones definidas, una seca y otra lluviosa. Otras regiones con potencial son la Zona Norte y el Pacífico Norte, la primera caracterizada por las altas precipitaciones y temperaturas durante todo el año, con luminosidad variable, y la segunda por tener dos estaciones bien definidas, una de noviembre a mayo de condiciones secas de alta temperatura, luminosidad y viento, y otra estación lluviosa y de altas temperaturas, estas dos regiones no poseen una cultura hortícola desarrollada como es el caso de la localidad de Zarcero, pero se promueve un cambio en la cultura agrícola debido a la presión por diversificar sus actividades en miras a la seguridad alimentaria.

Aunque las condiciones ambientales sean muy diversas y haya ausencia de cultura hortícola, la tecnología de cultivo protegido ofrece un alto potencial para la horticultura protegida en estas regiones.



Figura 3. Daño causado por fuertes lluvias a una plantación de tomate a campo abierto en Alajuela (valle central), Costa Rica (foto: Carlos Ramírez)

Existen muchas razones por las que se justifica el uso de invernaderos en el trópico, desde el punto de vista técnico, los invernaderos permiten controlar mejor las variables de producción de los cultivos, como son el riego, la aplicación de fertilizantes, el manejo de la biomasa del cultivo a través del tutorado, la poda y el uso de sustratos para cultivo (en caso de no usar el suelo). Con esta tecnología se facilita la implementación de equipo y uso de materiales para modificar el ambiente, como lo son los ventiladores, los muros húmedos, el piso de color blanco para reflectancia de luz entre otros, el invernadero también permite la automatización de algunos procesos a través de dispositivos electrónicos de control como programadores de riego. En lugares donde el suelo no presenta condiciones aptas para los cultivos, ya sea por presencia de plagas y enfermedades o por problemas de tipo químico y físico; se puede hacer uso de la tecnología hidropónica abierta o cerrada, usando sustratos en contenedores que permiten sembrar las plantas evitando los problemas del suelo y así poder producir en localidades con suelos marginales o inadecuados.



Figura 4. Cultivo de tomate en un invernadero de la sede San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (zona norte de Costa Rica), utilizando contenedores individuales con sustrato y piso blanco para mejorar la reflectancia de la luz (foto: Carlos Ramírez)

Desde el punto de vista de sostenibilidad, los sistemas de producción hortícola a campo abierto en Costa Rica tienen muchos inconvenientes. De acuerdo con Altieri (2000) y Poincelot (2004), un aspecto a tomar muy en cuenta para establecer sistemas de producción sostenibles, es la disminución gradual del uso de pesticidas hasta llegar a utilizar controles naturales de plagas, en Costa Rica la presión de plagas y enfermedades es tan alta en cultivos a campo abierto, que obliga al agricultor a hacer uso de los plaguicidas como alternativa unilateral para el control.

Los sistemas de producción en ambientes protegidos o controlados son vistos por algunos como sistemas muy artificiales, pero no se pueden excluir de este tipo de sistemas los elementos naturales asociados al desarrollo de las plantas y su fisiología, la tecnología debe favorecer la sostenibilidad y promover prácticas acordes con la agricultura alternativa, la creación de microclimas favorables a la producción de hortalizas puede ser visto como una práctica favorable a favor de la sostenibilidad (Altieri, 2000 y Poincelot, 2004). Un sistema protegido de producción de hortalizas puede hacer una utilización más eficiente del recurso agua, se puede almacenar agua de lluvia recolectada por las canaletas del invernadero y ser utilizada como agua para riego o fertirriego, utilizando además sistemas de aplicación del agua de tipo localizado que favorecen la eficiencia de su uso.



Figura 5. Dos invernaderos en zonas con climas diferentes en Costa Rica, izquierda la localidad de Zarcero, y derecha para el Pacífico Norte (fotos: Carlos Ramírez)

Otra ventaja de la producción en sistemas protegidos es que pueden ser parte de un sistema más diverso de producción, ya que al tratarse de un sistema más cerrado y aislado puede estar inmerso dentro de un sistema finca diversificado donde se lleven a cabo otros tipos de producción, e incluso se pueden aprovechar las sinergias existentes en miras a la maximización en el aprovechamiento de recursos internos.

En Costa Rica existen experiencias positivas de producción de hortalizas en invernadero por parte de agricultores y algunos grupos organizados, muchos de ellos han manifestado a través de entrevistas que la tecnología requiere mucha investigación, pero que ofrece un gran potencial como alternativa sostenible de producción de hortalizas ante el aumento constante de los agroquímicos y los cambios climáticos a nivel global (Murillo, 2008).

Cuadro 3. Productividad comparativa de diferentes hortalizas cultivadas a campo abierto y en invernadero en Costa Rica según referencia de productores

| Cultivo | Producción a Campo Abierto | Producción en Invernadero | Referencia de Productores |
|----------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Tomate | 5 Kgrs/m ² | | Tomatico S.A. 2007 |
| Tomate | | 9,6 Kgrs/m ² | Segura et al: 1999 |
| Chile Dulce | 20 frutos/planta | | Alfaro, R: 2008 |
| Chile Dulce | | 50 frutos/planta | Asoc. Mujeres activas: 2008 |
| Chile Dulce | | 43 frutos/planta | Campos, M:2008 |
| Melón | 1,5 Kgr/planta | | La Costeña S.A 2007 |
| Melón | | 2,5 Kgr/planta | Ramírez, C:2006 |
| Chile Jalapeño | 1,5 Kgr/planta | | Asoc.Hort.SanBlas 2007 |
| Chile Jalapeño | | 5 kgrs/planta | Asoc.Hort.SanBlas 2007 |

La producción de hortalizas en Costa Rica utilizando la tecnología del cultivo protegido, puede ser una alternativa sostenible de producción, siempre y cuando se obtengan altas productividades y calidad en el producto final, que permita una comercialización basada en un producto de alta calidad y bajo uso de pesticidas químicos. Se hace necesario llevar a cabo investigación y validación de sistemas de cultivo protegido en zonas con potencial de producción a futuro, donde

este tipo de tecnología permita disminuir los efectos negativos del clima circundante que limitan la productividad de muchas especies de hortalizas a campo abierto.

Referencias:

Alfaro, R: 2008. Comunicación personal, entrevista sobre producción de chile dulce a campo abierto, San Antonio de Belén, Heredia, Costa Rica.

Altieri, M; Nichols, C: 2000. Agroecología teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1er. Edición, México.

Asociación de Horticultores de San Blas: 2007. Comunicación personal con la presidenta Doña Marita Jaen Rivera, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.

Asociación de Mujeres activas del Invu de Peñas Blancas, 2008: comunicación personal con la presidenta Doña Adonay Palma. Peñas Blancas, San Ramón Costa Rica.

Bertsch, F: 2006. El Recurso tierra en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 30(1):133-156

Cámara de Importadores de Insumos Agropecuarios: 2006. Informe anual de labores. San José, Costa Rica

Campos, M: 2008. Efecto de la inoculación de sustratos con *trichoderma* sobre el crecimiento y producción de plantas de chile dulce (*capsicum annuum*) bajo ambiente protegido, tesis licenciatura en Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Castilla, N.: 2004. Invernaderos de plástico tecnología y manejo. Mundi Prensa, España, 457p

Coto, R: 2003. Informe ministerial en salud y agricultura. Organización panamericana de la Salud

Departamento fitosanitario del Estado: 2007, Comunicación personal de agentes de extensión, Guanacaste, Costa Rica

Estado de la Nación: 2003. Noveno Informe 2002. San José, Costa Rica

Gil-Vázquez, I ; Sánchez del Castillo, F y Miranda-Velázquez, I: 2003. Producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Serie de publicaciones Agribot, Chapingo, México. 90p

Instituto Meteorológico Nacional: 2008. Comunicación personal. San José, Costa Rica

La Costeña S.A. : 2007. Información del gerente agrícola a cargo de la producción de melón, comunicación personal

La Nación, 2005: “Ticos comen vegetales con exceso de plaguicidas”, periódico del 20 del 2005, escrito por Vanessa Loaiza

Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2004: Listado de plagas en cultivos de importancia económica de Costa Rica, San José Costa Rica, en www.protecnet.go.cr/laboratorios/plagcul/cultivop.htm

Murillo, M. 2008. Entrevista productores de Zarcero, comunicación personal, Zarcero Costa Rica

Poincelot, r: 2004. Sustainable Horticulture today and tomorrow. Prentice Hall,
USA

Ramírez, C: 2006. Comunicación personal, Heredia, Costa Rica

Segura, D ; Villalobos, M y Hidalgo, N: 1999. Producción de tomate en invernadero. Congreso agronómico nacional de Costa Rica

Sirefor. 2007. En:

http://www.google.co.cr/imgres?imgurl=http://www.sirefor.go.cr/imagenes/cr.JPG&imgrefurl=http://www.sirefor.go.cr/biodiversidad.html&usg=__8RB4zkz0D613AlnjeB9hLeOpua8=&h=455&w=485&sz=41&hl=es&start=1&sig2=yb0LO7emWmlpR55IWkaaTQ&um=1&itbs=1&tbnid=ofcWKGV_KZ_6PM:&tbnh=121&tbnw=129&prev=/images%3Fq%3Dmapa%2Bcosta%2Brica%2B%25C3%25A1reas%2Bde%2Bvida%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DG%26tbs%3Disch:1&ei=uYcCTOmZN4KB8ga8oyiDQ

Tomatico S.A. 2008. Comunicación personal con el gerente Milton Castillo. Heredia, Costa Rica

Wittwer, S.H y Castilla, N. 1995. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. HortTechnology. Vol 5 No. 1 p 6-22

8.4 Anexo 4. Tesis de Licenciatura “Efecto de la Inoculación de sustratos con *Trichoderma* sobre el crecimiento y Producción de plantas de chile dulce (*Capsicum annum*) bajo ambiente protegido”

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN DE SUSTRATOS CON *Trichoderma* SOBRE EL CRECIMIENTO Y PRODUCCION DE PLANTAS DE CHILE DULCE (*Capsicum annum*) BAJO AMBIENTE PROTEGIDO

MELISSA CAMPOS OCAMPO

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS

2009

8.5 Anexo 5. Tesis de licenciatura

“Evaluación del crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) y chile dulce (*Capsicum annuum* Linn) en almacigo, a partir de la utilización de seis sustratos y tres métodos de fertilización en la Región de San Carlos, Costa Rica. “

EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PLANTULAS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y CHILE DULCE (*Capsicum annuum* Linn.) EN ALMACIGO, A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE SEIS SUSTRATOS Y TRES METODOS DE FERTILIZACIÓN EN LA REGION DE SAN CARLOS, COSTA RICA

ANA SOFIA MONGE CERDAS

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS**

2007

8.6 Anexo 6: Análisis de resultados de uso de tabla recolectora de información relacionada al cultivo de chile dulce bajo invernadero

Para tener una mejor perspectiva sobre el ciclo de producción de chile dulce que acaba de concluir, analizaremos algunas de las variables anotadas por las productoras en las hojas de control de mano de obra. De esta forma se harán más visibles los aciertos y errores cometidos en este ciclo, para evitarlos en el próximo e ir haciendo un mejoramiento en el proceso de producción y en la eficacia de la mano de obra.

En el presente documento se analizan las figuras que nacen a partir del análisis de datos obtenidos, siendo la frecuencia de actividad, frecuencia de horas laborales y frecuencia de personas que laboraron en el ciclo, las variables a analizar.

A continuación se presenta la figura 1 que plantea la frecuencia de actividad.

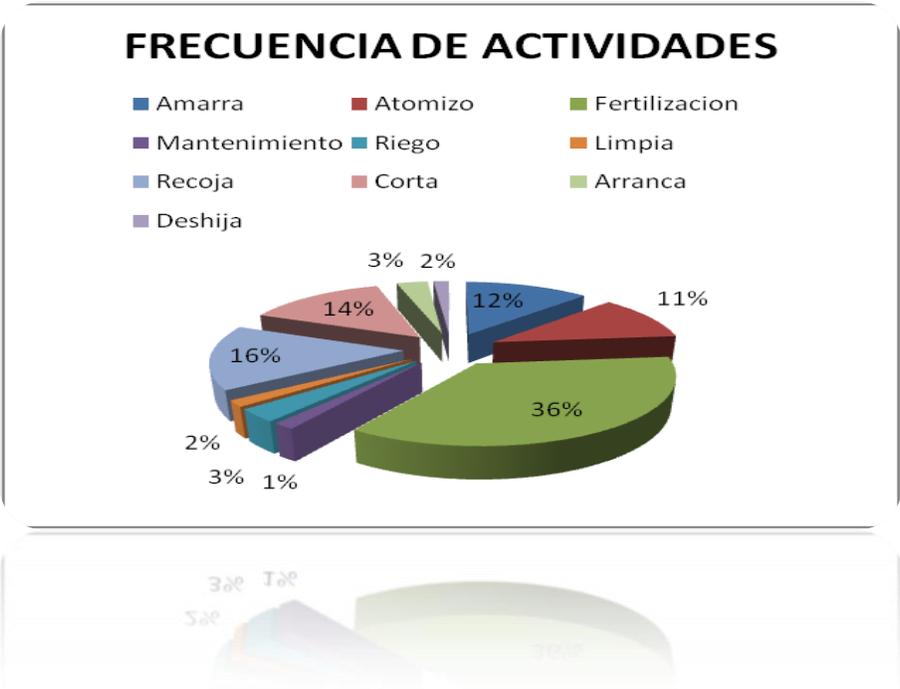


Figura 1. Frecuencias de las Actividades

El Cuadro 1 muestra en forma resumida y clara los tipos de actividades que se realizaron durante el ciclo de producción y la frecuencia que tuvo cada una de ellas en el proceso, es decir, las veces que se realizaron según las anotaciones en las hojas de control que las productoras presentaron. Por otra parte la figura 13 muestra en forma más visible las actividades que más se realizaron, siendo la Fertilización la más frecuente con 36% de las actividades realizadas esto porque es una labor diaria de preparación de la solución nutritiva completa y esto requiere de mucha labor. Con algunas modificaciones en la herramienta y equipo esta labor sería menos frecuente. Seguida de la recoja, corta y amarra, actividades propias del cultivo.

Cuadro 1. Frecuencia de Actividades

| ACTIVIDAD | N.DE FREC | % |
|----------------------|----------------------|----------|
| Amarra | 8 | 12,50% |
| Atomizo | 7 | 10,94% |
| Fertilización | 23 | 35,94% |
| Mantenimiento | 1 | 1,56% |
| Riego | 2 | 3,13% |
| Limpia | 1 | 1,56% |
| Recoja | 10 | 15,63% |
| Corta | 9 | 14,06% |
| Arranca | 2 | 3,13% |
| Deshija | 1 | 1,56% |

A continuación se presenta la figura 2 que plantea la frecuencia en horas.

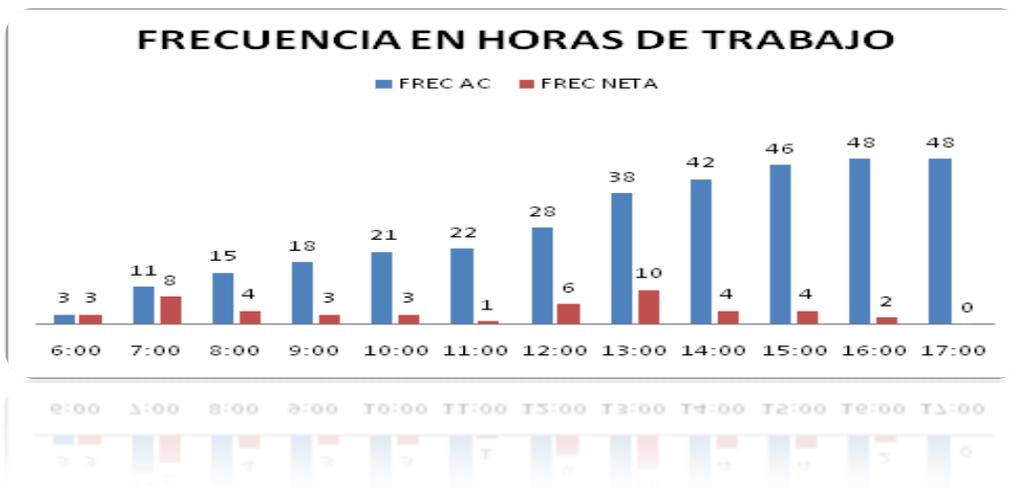


Figura 2. Frecuencia en Horas de Trabajo

En el cuadro 2 se muestra la hora ubicada en las hojas de anotaciones, la frecuencia con que en cada una de ellas, las productoras o encargados de realizar una actividad se daban cita al invernadero para iniciarla.

Cuadro 2. Frecuencia en horas de trabajo según horario de entrada

| HORA | FREC AC | FREC NETA |
|--------------|--------------------|----------------------|
| 6:00 | 3 | 3 |
| 7:00 | 11 | 8 |
| 8:00 | 15 | 4 |
| 9:00 | 18 | 3 |
| 10:00 | 21 | 3 |
| 11:00 | 22 | 1 |
| 12:00 | 28 | 6 |
| 13:00 | 38 | 10 |
| 14:00 | 42 | 4 |
| 15:00 | 46 | 4 |
| 16:00 | 48 | 2 |
| 17:00 | 48 | 0 |

n=48

Así mismo se presenta la figura 2 que en ella se observa claramente que la hora a la que más asistieron las productoras a realizar alguna de las actividades del proceso de producción de chile y fue a las 13:00 horas, se puede ubicar como la hora pico de realización de alguna actividad, esto explica que los asociados poco tiempo al día al trabajo en el invernadero, debido a que tienen obligaciones en otras actividades principalmente en la mañana. La segunda hora en la que más frecuente fue la realización de alguna actividad por parte de las productoras fue a las 7:00 horas. El rango de hora en que más se dispusieron a trabajar u ocuparse en alguna actividad fue de 7:00- 15:00, dejando así las 11:00 horas como un espacio en este rango. Esto refleja también que el trabajo estaba bien distribuido entre todos los asociados.

A continuación la figura 3 en la cual se muestra la frecuencia de personal en cada una de las actividades.

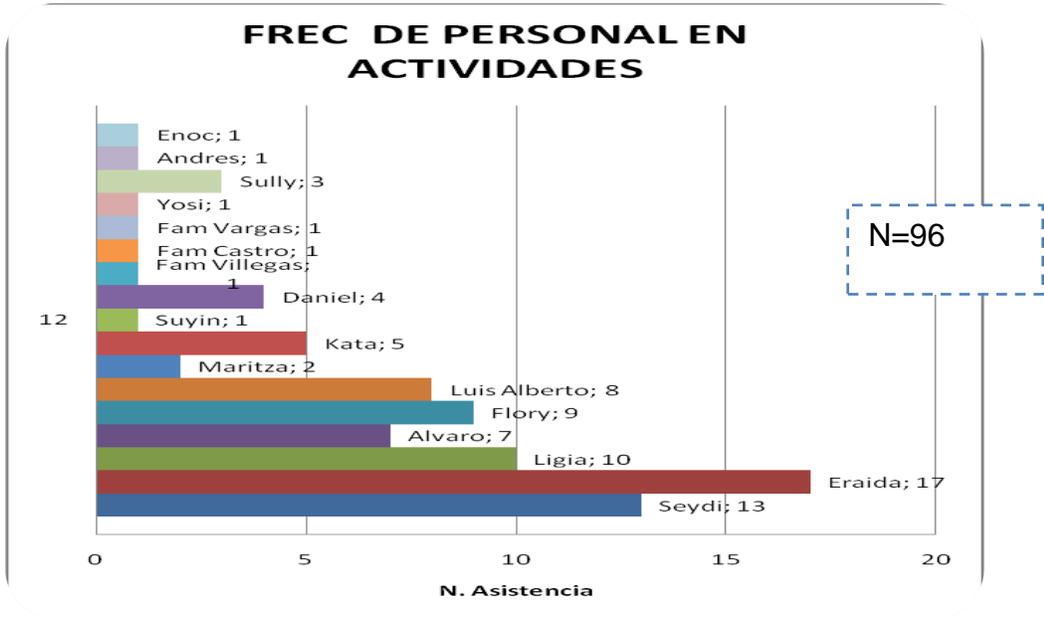


Figura 3. Frecuencia de personal en actividades

Cuadro 4. Frecuencia de Personal en Actividades

| NOMBRE | N.VECES |
|---------------|----------------|
| Jose Luis | 12 |
| Seydi | 13 |
| Eraida | 17 |
| Ligia | 10 |
| Alvaro | 7 |
| Flory | 9 |
| Luis Alberto | 8 |
| Maritza | 2 |
| Kata | 5 |
| Suyin | 1 |
| Daniel | 4 |
| Fam Villegas | 1 |
| Fam Castro | 1 |
| Fam Vargas | 1 |
| Yosi | 1 |
| Sully | 3 |
| Andres | 1 |
| Enoc | 1 |

El cuadro 4 presenta los nombres de las personas que aparecieron en las hojas de registro de control de mano de obra y el número de veces que asistieron a realizar alguna actividad. Así también en la figura 3 se nota claramente como la señora

Eraida fue la que más asistió con 17 veces anotada en los registros, seguida por Seydi y Ligia, siendo de esta forma las tres personas que según registros más colaboraron el ciclo producción de chile y tomate.

El modelo económico asociado al invernadero, en nuestro caso, es de carácter piloto para tomar experiencia y generar información para futuros emprendimientos, que tomen como punto de partida las lecciones aprendidas en éste. En otras palabras, este modelo no será rentable para la cantidad de integrantes que participan, al menos que la escala de construcción producción aumente o el destinatario se independice y se lleve el conocimiento para su propio beneficio. El gráfico evidencia que el 40% de asociados hacen el 80% del trabajo total

8.7 Anexo 7 : Esquemas de clasificación de los chiles según calidades

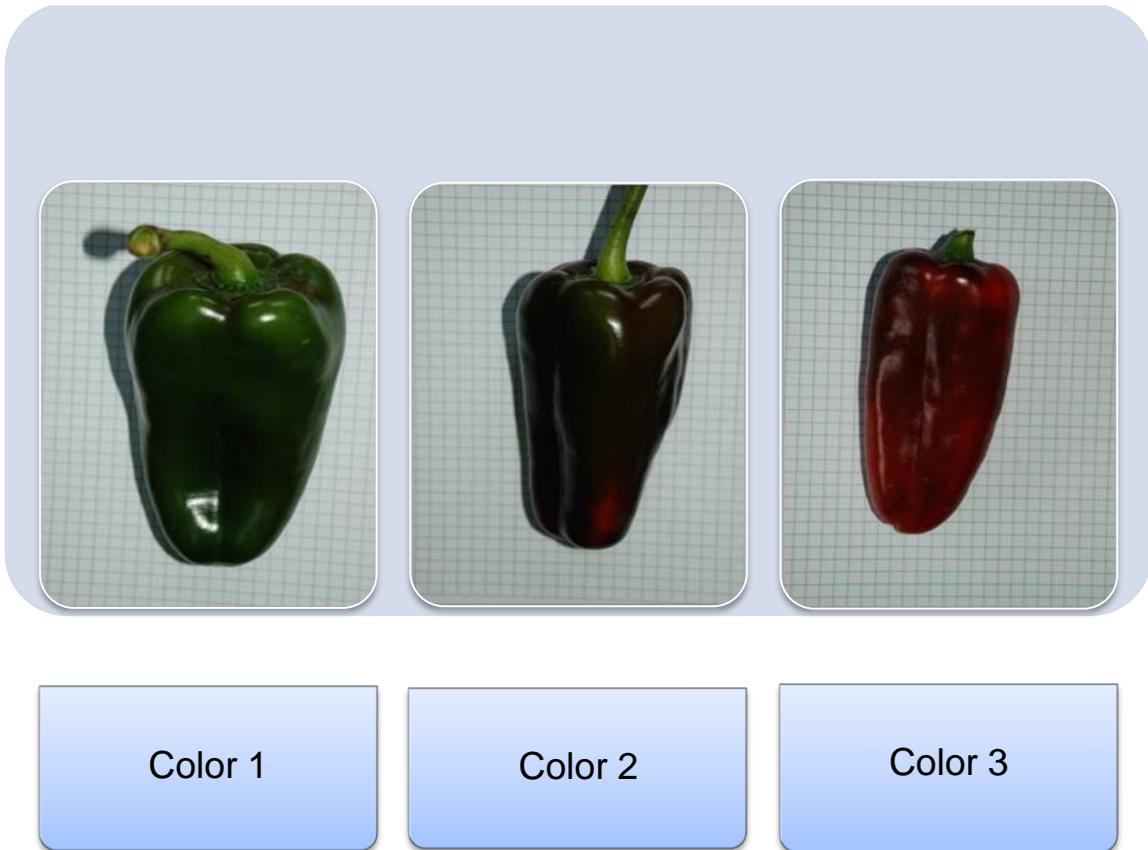


Figura 11 Clasificación de los chiles dulces según color

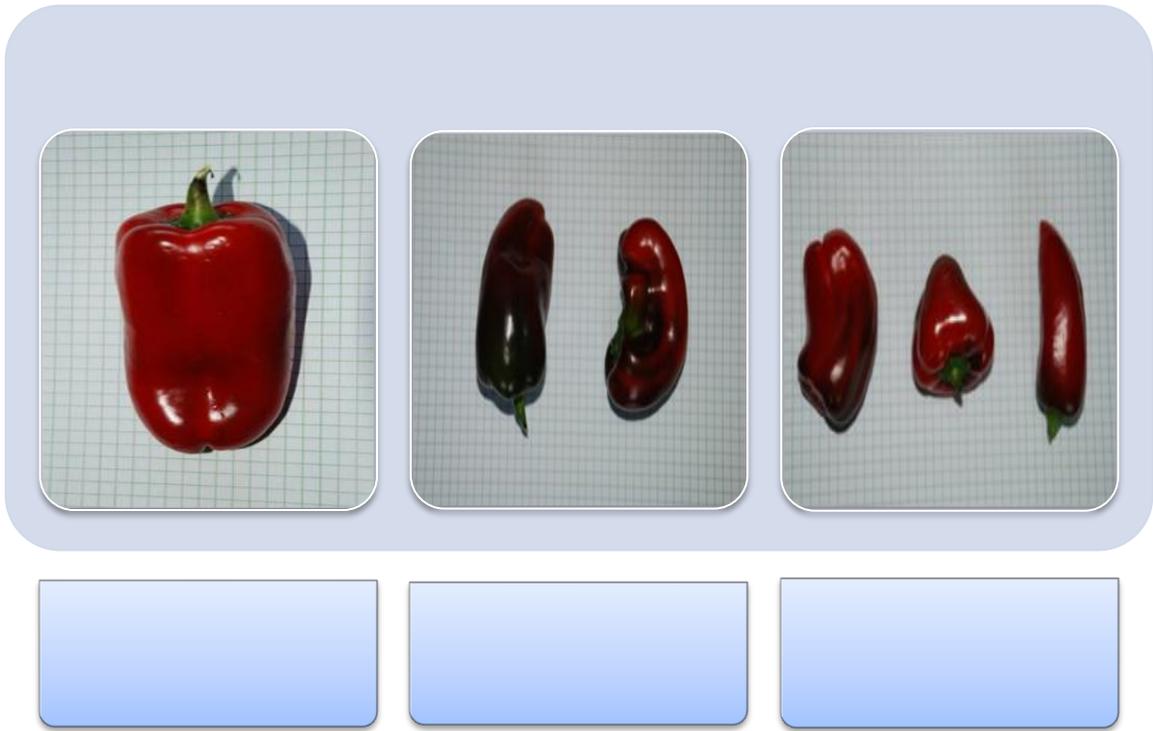


Figura 12 Chiles no aptos por malformaciones



La coloración juega un papel fundamental para determinar el grado de maduración del chile, en este caso el color que presenta la figura de la izquierda es de un verde total (Color 1).

Si presenta:

- * Coloración verde total (Color 1), tamaño de Diámetro mayor a 5 cm y de largo, mayor a 11 cm. Se denomina como clasificación A.
- * Coloración verde total (Color 1), pero con Diámetro entre 4-5 cm y una largura entre 8-10 cm, Se denomina como clasificación B.

Figura 3. Clasificación de Chiles según su color



Para lograr una mejor selección de los chiles es necesario distinguir su coloración, la figura a la izquierda presenta una coloración Verde-Rojizo (Color 2).

Si presenta:

*Coloración Verde-Rojizo (Color 2), tamaño de Diámetro, mayor a 5 cm y de largo, mayor a 11 cm. Estamos hablando de una **CLASIFICACION A.**

*Coloración Verde-Rojizo (Color 2), pero con Diámetro entre 4-5 cm y una largura entre 8-10 cm, estamos hablando de una **CLASIFICACION B.**

Figura 4. Ejemplo 2 de Clasificación de los chiles según su color



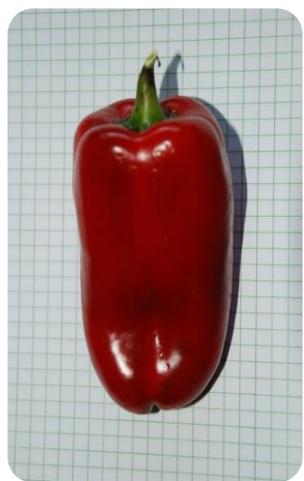
La calidad es primordial para la venta de un producto, por lo tanto distinguir los colores es papel de importancia. La imagen de la izquierda tiene color Rojo Oscuro (Color 3).

Si presenta:

* Coloración Rojo Oscuro (Color 3), tamaño de diámetro, mayor a 5 cm y de largo, mayor a 11 cm. Estamos hablando de una **CLASIFICACION A.**

* Coloración Rojo Oscuro (Color 3).pero con Diámetro entre 4-5 cm y una largura entre 8-10 cm, estamos hablando de una **CLASIFICACION B.**

Figura 5. Ejemplo 3 de Clasificación de chiles según su color



Dentro de una clasificación siempre es bueno dar peso a la calidad perfecta. A la izquierda la imagen presenta una coloración Rojo total (Color 4).

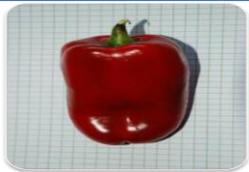
Si presenta:

Coloración Rojo total (Color 4). diámetro mayor a 5 cm y de largo mayor a 11 cm. Estamos hablando de una **CLASIFICACION A PREMIUM.**

Coloración Rojo total (Color 4).pero con Diámetro entre 4-5 cm y una largura entre 8-10 cm, estamos hablando de una **CLASIFICACION B.**

Figura 6. Ejemplo 4 de Clasificación de los chiles según su color

Figura 7. Ejemplo 5 de Clasificación de los chiles- chiles no aptos-

| | | |
|---|---|---|
|  | <p><i>Chiles no aptos</i></p> <p>Las malformaciones en el proceso productivo en chiles y el ataque de plagas o enfermedades, provoca la pérdida de calidad para el mercado en los mismos.</p> | <p>Las representaciones a la izquierda son prueba clara de lo anteriormente afirmado, por lo tanto, cuando los chiles se encuentran con estas malformaciones o fracturas, aunado a que tengan un diámetro menor a 4 cm y de largo que sea menor a 8 cm, se les otorga una CLASIFICACION C.</p> |
|  | | |
|  | | |

