

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FCA**  
Facultad de  
Ciencias Agropecuarias

Departamento Ingeniería Agrícola

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Título del trabajo:** Impacto de la automatización del fertirriego de los cultivos protegidos en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

**Autor del trabajo:** Fernando Machado Pérez

**Tutores del trabajo:** Msc. Yuriel León Silverio

Ing. Juan Rolando Mesa Rodríguez

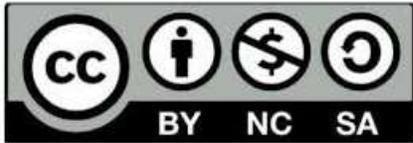
Santa Clara  
Copyright©UCLV

Julio 2018

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

## **PENSAMIENTO**

***“El secreto para lograr mayores éxitos, está en la capacidad de los cuadros para abarcar de conjunto la complejidad de la situación, establecer prioridades, organizar el trabajo, cohesionar las fuerzas, exigir disciplina, educar con ejemplo, explicar la necesidad de cada tarea, convencer, entusiasmar, levantar el espíritu y movilizar la voluntad de la gente”***

**Raúl Castro Ruz.**

## **DEDICATORIA**

Al señor, por confiar y creer en mí y guiarme en los momentos más difíciles de la vida, como yo se lo agradezco a él.

Mis padres: María O. Pérez Carrasco y Fernando Machado Turiño con mucho amor por ser lo más grande que yo tengo, por darme su más amor, por apoyarme en las buenas y en las malas, por sus buenos consejo en la vida, por ser el cimiento desde que nací los amo.

Mi hermana y sobrino: Gretel Machado Pérez y Jordán Montelier Pérez, ya que demostraron de una forma única su apoyo.

Mi familia en especial a mi tía (Isa): Por el afecto que siempre me han demostraron, y los hermosos momentos que permanecen en mi mente.

Mi novia: Naylet Pérez Etupiñan por su paciencia y afectos que me ha dado en cada momento de la vida.

Mis amigos: A mis amigos de la escuela y del barrio, por su cariño y apoyo demostrado cada día.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis más profundos agradecimiento:

De manera general a toda aquella persona que me ayudaron en el desarrollo de esta tesis presentada.

A mis compañeros de aula, profesores de Ingeniería Agrícola, y amigos. A los trabajadores de la Unidad Empresarial de Base (UEB) Módulo de Casas de Cultivos Protegidos.

Especialmente a mis tutores Msc. Yuriel León Silveiro y por su buen papel tanto de tutor como de amigo. Por estar dispuesto a atender cualquier duda en los momentos difíciles.

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Módulo de Casas de Cultivos Protegidos, perteneciente a la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú", en la provincia de Villa Clara en el período comprendido entre diciembre de 2017 y febrero de 2018. El mismo tuvo como objetivo evaluar la calidad en la aplicación del Fertirriego sin automatizar y una vez automatizada en el cultivo del tomate. En los parámetros investigativo se incluyen los resultados productivos y su calidad, la influencia de la humedad relativa, así como el costo de la inversión y sus beneficios. Esos resultados demostraron la gran eficiencia y efectividad del riego automatizado tanto por su productividad y calidad en el cultivo. Aunque su costo de inversión es elevado se demostró que es eficaz y logra tener beneficio rápidamente.

## **Abstract**

The present the Valley of the Yabú, at Definite Villa's province in the period understood between December 2017 and February 2018 accomplished to the Agricultural Company work in Casas's Entrepreneurial Unit of Base (UEB) Módulo of Cultivos Protected, perteneciente. In the parameters investigating they include the productive results and your quality, the influence of the relative humidity, as well as the cost of investment and his benefits. Those results demonstrated the great efficiency and effectiveness of the irrigation automatized so much by their productivity and quality in cultivation. Although your cost of investment is raised it was proven that you are efficacious and you manage to have benefit rapidly.

## **Contenido**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Introducción .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>Problema científico: .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>Hipótesis: .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>Objetivo general: .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>Objetivos específicos: .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>Capítulo 1.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>Revisión bibliográfica.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>1.1 Principales sistemas de riego en casas de cultivo..</b>                     | <b>12</b> |
| <b>1.2 Empleo en Cuba de la tecnología de cultivo protegido en el tomate. ....</b> | <b>14</b> |
| <b>1.3 Condiciones óptimas para la conductividad eléctrica y el pH. ....</b>       | <b>16</b> |
| <b>1.4 Fertirriego .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>1.4.1 Riego localizado. ....</b>  | <b>20</b> |
| <b>1.4.2 Riego por nebulización. ....</b>  | <b>23</b> |
| <b>1.4.3 Riego por goteo. ....</b>   | <b>24</b> |
| <b>1.5 Fuente de abasto.....</b>   | <b>26</b> |
| <b>1.6 Estación de bombeo (EB) .....</b>   | <b>27</b> |
| <b>1.7 Riego y Coeficiente de Uniformidad. (CU).....</b>                           | <b>28</b> |
| <b>1.8 Programación y monitoreo del Fertirriego. ....</b>                          | <b>29</b> |
| <b>Capítulo 2.....</b>   | <b>32</b> |
| <b>Materiales y Métodos .....</b>  | <b>32</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>2.1 Descripción de las condiciones experimentales. ....</b>   | <b>32</b> |
| <b>2.2 Evaluar los resultados productivos y la calidad del riego y el fertirriego en dos casas de cultivo.....</b> | <b>33</b> |
| <b>2.3 Metodología para el muestreo de la humedad.....</b>   | <b>33</b> |
| <b>2.4 Análisis del costo del beneficio a partir de los resultados alcanzado.....</b>                              | <b>35</b> |
| <b>Capítulo 3.....</b>   | <b>37</b> |
| <b>3.1 Características del sustrato. ....</b>  | <b>37</b> |
| <b>3.2 Características del sistema de riego. ....</b>  | <b>37</b> |
| <b>3.3 Variedad del tomate empleado.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>3.4 Características de la casa de cultivo. ....</b>   | <b>40</b> |
| <b>3.5 Los resultados productivos y la calidad del riego y el fertirriego en dos casas de cultivo. ....</b>        | <b>41</b> |
| <b>3.6 Uniformidad del riego ....</b>  | <b>43</b> |
| <b>3.7 Variación de temperatura y humedad relativa ....</b>  | <b>45</b> |
| <b>3.8 Efecto velocidad del viento ....</b>  | <b>47</b> |
| <b>3.9 Costo de la inversión y beneficio.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>Conclusiones .....</b>  | <b>50</b> |
| <b>Recomendaciones .....</b>   | <b>51</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>52</b> |
| <b>ANEXO .....</b>   | <b>56</b> |

## Introducción

En los últimos años Cuba ha introducido técnicas novedosas para la obtención de mejores rendimientos en el sector agrícola con un ahorro de agua considerable. Hacia la década del 90 del pasado siglo se introdujo el riego localizado y dentro de este el riego por goteo, que no solo permiten aplicar el agua a los cultivos, si no que ofrecen la posibilidad de aportar fertilizantes y otros productos fitosanitarios (insecticidas, fungicidas y otros). En este caso es el agua la que se encarga de hacer llegar los fertilizantes hasta las raíces de la planta, bien de forma continuada o intermitente. Para que esta técnica sea eficaz es indispensable disponer de un sistema de riego bien diseñado y con buenos materiales con objeto de aplicar el agua con alta uniformidad. Esto permitirá suministrar la misma dosis de abono en todos los puntos, cubriendo así sus necesidades, evitando pérdidas innecesarias y reduciendo los efectos medioambientales negativos (Tecnologías 2012).

En el riego por goteo hay que prestar interés especial en el mantenimiento de la red, debido fundamentalmente a la obstrucción de emisores. Por este motivo el agua debe ser siempre filtrada, recomendándose un estricto control para que no se dificulte la aplicación correcta; tanto del agua y del abono como de otros productos fitosanitarios. Si los problemas de obstrucción no son detectados con rapidez, pueden ocasionarse serios perjuicios en el cultivo y disminuciones en la producción (Castañeda 2004).

Para poder disponer de hortalizas frescas durante todo el año, el hombre ha diversificado los sistemas de producción a través de diferentes enfoques y técnicas en función de la zonas agroclimáticas, esto trajo como consecuencia la introducción y generalización del cultivo de hortalizas con parte o todo el ciclo bajo protección, utilizando la tecnología de protección o forzado de los cultivos que consigue modificar parcial o totalmente las condiciones climáticas haciendo que algunas especies se desarrollen con cierta independencia del clima (Casanova 2005).

La inversión inicial en este tipo de riego suele ser elevada, y su costo depende del cultivo, de la modalidad de riego elegida, de la cantidad del agua de riego y su

exigencia en el filtrado, del equipo de fertilización y del grado de automatización de la instalación. La buena elección de equipos repercute en una disminución de costos de mano de obra y mantenimiento, ya que, por ejemplo, un buen equipo de filtrado reducirá la posibilidad de obturaciones en la red y la frecuencia de operaciones de mantenimiento, reduciendo los costos del sistema (García 2015)

La provincia de Villa Clara estableció en la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú" la Unidad Empresarial de Base (UEB) Módulos de Casas de Cultivos Protegidos que se inauguró el 23 de julio de 2006, para la obtención de hortalizas, gracias a que en esta zona se reúnen los requisitos fundamentales para la explotación de este tipo de sistemas de producción hortícola, como son: la fuente de abasto de agua cercana, acceso al Sistema Eléctrico Nacional y suelos con buenas características. Es allí donde se puso en práctica el riego por goteo en las casas de cultivos en el municipio de Santa Clara.

En los sistemas de cultivos protegidos se vela por una minuciosa y correcta atención en cuanto al desarrollo de las plantas, este cuidado se observa desde el manejo que se le brinda a la semilla hasta el momento de la cosecha y posterior manipulación. En Cuba el cultivo protegido constituye una tecnología promisoría que permite obtener altos rendimientos de hortalizas durante todo el año, aún en condiciones de clima tropical, donde ocurren fuertes precipitaciones y temperaturas altas en una época del año, que sobrepasan el límite biológico permisible para la gran mayoría de los cultivos hortícolas (Hernández 2000).

El cultivo protegido constituye una tecnología promisoría para extender los calendarios de cosecha de las hortalizas y asegurar el suministro fresco al turismo, mercado de frontera y población en general, inclusive en los períodos en que la oferta de la producción proveniente del campo abierto resulta en extremo limitada. La importancia del mismo ha ido creciendo en la medida que el productor ha dominado la tecnología y obtenido resultados satisfactorios (Casanova 2003).

**Problema científico:**

Los bajos niveles de automatización en los sistemas de fertirriego no posibilitan incrementar los indicadores productivos del cultivo del tomate.

**Hipótesis:**

El uso de una nueva tecnología de Fertirriego, favorecerá los rendimientos del Cultivo del Tomate en las Casas de Cultivo.

**Objetivo general:**

Evaluar la calidad en la aplicación del Fertirriego una vez automatizada el mismo.

**Objetivos específicos:**

Caracterizar las condiciones de producción y la tecnología de riego empleada.

Evaluar el impacto de la automatización en el fertirriego y sus efectos en el rendimiento agrícola del tomate.

Determinar la influencia de la humedad relativa, temperatura y velocidad del viento sobre el descenso de la humedad del suelo.

**Variable de rendimiento**

- Producción total. (ton/m)
- Rendimiento agrícola
- Consumo de fertilizante. (ton/ha)
- Resultados económicos

# Capítulo 1

## Revisión bibliográfica

### 1.1 Principales sistemas de riego en casas de cultivo.

Las casas de cultivo se emplean fundamentalmente para la producción intensiva de productos agrícolas con un vertiginoso crecimiento en la modalidad de horticultura. Estos han cobrado un notable auge y difusión desde la década de los noventa debido a la necesidad imperiosa de producir vegetales frescos en lugares y épocas del año (MONTSERRAT 2012).

Los factores que influyen en el rendimiento, como la luz, temperatura, humedad relativa, agua, nutrientes y control fitosanitario, deben mantenerse en los niveles que cada cultivo requiere y para ello se introducen diversas prácticas de manejo climático y agronómico. Dentro de esta última se destaca la fertirrigación, la sanidad vegetal diferenciada y la utilización de materiales genéticos de elevado potencial de rendimiento y calidad de frutos (Acuña 2003).

En la agricultura protegida se destacan dos sistemas de cultivo, en suelo y “sin suelo”. Este último surgió como una alternativa de manejo a enfermedades del suelo y como variante de producción en zonas con alguna limitación agrícola; su exponente inicial fue la creación de un sustrato artificial denominado enarenado en Almería, España, en el año 1957. El término “sin suelo” se utiliza para designar aquellos sistemas de cultivo que se desarrollan tanto en sustratos inertes como en sustratos con cierta actividad química y biológica como las turbas rubia y negra, la corteza de pino y la vermiculita e incluye además la hidroponía (Técnica del Film Nutriente o NFT), aunque es común nombrar hidropónicos a un cultivo que se desarrolle en cualquier sustrato que no sea el suelo. Los “sin suelo” pueden ser cerrados con recirculación de la solución nutritiva, o abiertos a solución perdida (Fernández 1999);(Parra 2006).

En investigaciones realizadas concluyeron que en el mundo existen 920 000 ha de cultivo protegido en la modalidad de invernaderos (57,28%), casas de cultivo y túneles (40,76%) e hidropónicos (1,96%). La mayor superficie se localiza en Asia y Europa con un 62,12 y 23,62% del área total del mundo, respectivamente y sus máximos exponentes son Japón (130 300 ha), China (85 000 ha), Italia (80 500 ha) y España (50 200 ha). En América se destacan, Estados Unidos (10 250 ha), Colombia (4 500 ha), Ecuador (2 700 ha) y México (1 200 ha) (Papaseit 2000);(Quesada 2007).

Se considera que las especies de mayor rentabilidad son el tomate, el pimiento, *Capsicum annuum L*; el pepino, *Cucumis sativus L* y el melón, *Cucumis melo L*; aunque también se cultiva la fresa, *Fragaria sp L* y diversas plantas ornamentales y hortícolas. Los rendimientos que se logran con la tecnología de cultivos protegidos son variados y dependen del cultivar, tipo de instalación e interés comercial (Quesada 2007).

El incremento de los rendimientos ha sido una de las preocupantes permanentes de los investigadores de nuestro país. Una de las ramas trabajada es la mejora genética (Gómez 2000);(Florido 2002), la introducción del cultivo protegido, la utilización de métodos agro-técnicos (Llonin 2002) y el uso de estimulantes biológicos (Terry 2002), métodos químicos (Pérez 2000) y físicos (De Souza 2001) para aumentar la producción.

De todos estos métodos, el mejoramiento genético de variedades ha contribuido a la solución de múltiples problemas relacionados con la producción de tomate en Cuba. Se han obtenido por esta vía variedades con mejor adaptación a las condiciones climáticas de nuestro país y resistentes a plagas y enfermedades pero los rendimientos que se obtienen, aún distan en gran medida del potencial de las variedades (Gómez 2000).

La fertirrigación localizada se ha empleado con el objetivo de incrementar los rendimientos y consiste en aplicar con alta frecuencia, pequeñas cantidades de agua y nutrientes en la zona radicular de las plantas, manteniendo un nivel óptimo de humedad permanente en el suelo y dosificando con precisión los aportes de

nutrientes. De esta manera, se incrementa la eficacia de los fertilizantes y con ello el crecimiento vegetativo y el rendimiento (Anaya 2011).

## **1.2 Empleo en Cuba de la tecnología de cultivo protegido en el tomate.**

El cultivo del tomate en la horticultura cubana constituye el 20,16% de la superficie de siembra y el 21,72% del volumen total de producción, las que se ubican en todas las zonas edafoclimáticas del país, aunque seis provincias agrupan más del 60% de la producción, Pinar del Río, La Habana, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Granma. En el 2008 se alcanzó a campo abierto, 332 000 t en 47 200 ha, con un rendimiento promedio de 7,03 t.ha<sup>-1</sup>, inferior en un 47,18% al obtenido en el 2007. (Cuba 2008). Los bajos rendimientos se encuentran condicionados, entre otros factores, por la incidencia de organismos plagas como el complejo begomovirus–mosca blanca y por las condiciones ambientales que prevalecen en el trópico (Gómez 2000).

Se demostraron que el tomate necesita durante el día temperaturas de 20 a 26 °C y en la noche de 14 a 20 °C; valores que sólo se encuentran en la estación de seca, aunque la influencia variable de los frentes fríos puede cambiar, de manera discontinua, los elementos meteorológicos que caracterizan a esta época (Gómez 2000); (Rodríguez 2004).

Por otra parte, las lluvias excesivas que se producen en primavera–verano, conjuntamente con porcentajes de humedad relativa elevados, superiores al 80%, y asociadas a altas temperaturas, favorecen la incidencia de organismos plagas, principalmente hongos y bacterias.

En cultivo se requiere; además, entre 8 a 16 horas luz, con una radiación fotosintéticamente útil entre 150 000 a 200 000 lx (150 a 200 J/m<sup>2</sup>/s), necesarias para lograr un buen desarrollo de la planta y mejorar la calidad del fruto en color y sabor (Álvarez 2002, León 2006).

Se plantearon que estas condiciones no son características del invierno en Cuba, donde se puede presentar una intensidad luminosa débil y agravarse el efecto de los días cortos en el desarrollo del cultivo; esta época se caracteriza por poseer, como promedio 7,25 horas luz (Gómez 2000, Pupo 2004).

Estas características del clima en Cuba, propias del trópico, distan muchos de las exigencias del cultivo, dado a que el Caribe se encuentra tan cerca de los límites de tolerancia biológica de la especie, que los pequeños cambios que se registran en algunas variables climáticas son capaces de determinar el éxito o el fracaso del cultivo (Gómez 2000, Casanova 2005).

Debido a esto, desde el punto de vista económico se prioriza en el sistema de cultivo protegido las siembras de tomate en época de primavera-verano, con el objetivo de satisfacer, principalmente, las necesidades de la industria turística, sector de la economía cubana que demanda anualmente de 2 600 t de tomate, 60,37% del total de las hortalizas frescas (Cuba 2008).

Muestran otros destinos del tomate producido en cultivo protegido, como son la venta en los Mercados Agropecuarios Estatales, el consumo social y la exportación; el país ha exportado desde el 2005, 80,70 t de tomate de ensalada, en racimo y cherry, con un importe total de 118 357,33 CUC (Cuba 2008).

Del 100% del área sembrada en el cultivo protegido el tomate representa alrededor del 70% de la superficie instalada en la época de primavera-verano y el 30% en la época óptima o de invierno, para las cuales se planifican rendimientos entre 50–60 y 80–100 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para cumplir con estas metas de rendimiento se utilizan híbridos F<sub>1</sub> de crecimiento indeterminado para el cultivo vertical y que permiten la combinación de características tales como, alta productividad, calidad del fruto y resistencia simultánea a plagas, entre ellas el virus del encrespamiento amarillo de la hoja de tomate o TYLCV. (Hernández 2000, Casanova 2005, Hernández 2008). En Cuba se informó que también se utilizan híbridos del tipo determinado o semideterminado con un manejo vertical especial, entre los que se destaca el híbrido comercial israelí HA 3019, con alta tolerancia al TYLCV y generalizado en todo el país a partir del 2003; este híbrido

forma parte de la estructura varietal del 42,63% de las unidades de producción existentes (Cuba 2009).

La introducción de cultivares F<sub>1</sub> cubanos, conjuntamente con el manejo agronómico, constituyen los aspectos de la tecnología que más han evolucionado en estos años. Los semilleros se establecen con la tecnología de producción de plántulas en cepellones, se realizan modificaciones en el sistema de poda, decapitado y densidad de plantación, se introducen los productos biológicos en el control fitosanitario y se incrementan las áreas de cultivo "sin suelo", con control automatizado para el fertirriego (Gómez 2004, Casanova 2005).

El desarrollo de la tecnología del injerto herbáceo para el control de nemátodos resultó un avance significativo, alternativa que sustituye la aplicación del Bromuro de Metilo; se cuenta con resultados referentes a compatibilidad injerto-patrón e identificación de patrones foráneos y nacionales resistentes a *Meloidogyne* incógnita (González 2008).

### **1.3 Condiciones óptimas para la conductividad eléctrica y el pH.**

La conductividad eléctrica (CE) de la disolución nutritiva es una medida de la concentración total de las sales disueltas y es a menudo referida como la salinidad. Aunque es fácil de medir, la CE no entrega información acerca de las concentraciones de los nutrientes presentes en forma individual. No obstante, ello, se utiliza ampliamente para seguir el estado de los nutrientes totales de los suelos y disoluciones (ADAMS 2004).

El control de la CE del agua y la disolución nutritiva es muy importante en el manejo del fertirriego, pues indica la concentración de sales que estamos aportando al cultivo. Para un buen manejo del fertirriego, no sólo es importante la CE del agua de riego, sino, además, es importante conocer la composición química del agua de riego. En general, el agua en algunos lugares tiene una alta concentración de sodio, cloruros, calcio y sulfatos y es pobre en fosfatos, nitratos y potasio.

Es muy importante mantener el control del pH en el fertirriego durante todo el cultivo, ya que de este dependerá la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo. El pH de la disolución nutritiva depende de la especie cultivada. Vega *et al.* (2004) recomienda el pH y CE para las principales hortalizas cultivadas: tomate, pH 6 y CE 1,8 a 3,2 dSm<sup>-1</sup>; pimiento pH 5,8 y CE 1 a 1,8 dSm<sup>-1</sup>; pepino pH 5,5 y CE 1,5 a 2,6 dSm<sup>-1</sup>; poroto verde pH 5,8 y CE 1,5 a 2,2 dSm<sup>-1</sup> y melón, pH 5,5 y CE 1,8 a 2,8 dSm<sup>-1</sup>.

Cuando se trabaja con cultivos aprovechables por los frutos como tomate, melón, pimiento, etcétera. se debe mantener en el nivel superior e incluso eliminar la adición de ácido si la rizófora supera este nivel. Se debe considerar esta observación sobre todo en la época de plena maduración y alta irradiación. La explicación fisiológica es que en la época de desarrollo-maduración de los frutos predomina la absorción de K<sup>+</sup> (el catión absorbido mayoritariamente) sobre el anión mayoritario NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, consecuentemente el pH de los drenajes tiende a bajar respecto del de la disolución nutritiva de entrada.

La variación de pH de la rizófora depende de tres factores básicos a considerar:

- 1) la composición de disolución de fertilizantes empleada.
- 2) el agua de riego utilizada, su composición y, sobre todo, la presencia de iones bicarbonatos.
- 3) el tipo de ácido que se utilice para bajar el pH de la disolución final.

**Calidad del agua:** El tomate es tolerante a aguas salobres con rangos de conductividad de 2-3 dS/m. A mayor conductividad eléctrica del agua, el rendimiento potencial se reduce. El agua ácida (bajo pH) usada en el Riego no es recomendable, ya que puede contener elementos tóxicos del suelo (por ejemplo, Al<sup>3+</sup>).

## 1.4 Fertirriego

Se entiende como fertirriego a la aplicación de los nutrientes que necesita la planta junto con el agua de riego. El primer objetivo del fertirriego es poner a disposición de la planta el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo, por lo tanto, se debe ajustar en función del cultivo, época del año, estado de desarrollo de la planta y el objetivo de producción. Para el correcto manejo del fertirriego es fundamental conocer las características del agua y puede definirse en relación con el manejo del cultivo como dotar a la planta del agua necesaria para la absorción y transporte de nutrientes, disminuir la salinidad de la rizófora y equilibrar el balance de nutrientes que permita manejar la floración y/o la maduración de los frutos. Además, permite bajar la temperatura del suelo y oxigenar las raíces, es decir, cumplir los denominados objetivos del riego o fertirriego (SALAS 2001).

Es sabido que las plantas no absorben ni la misma cantidad de cada ion por las raíces ni necesariamente la misma cantidad de sales en conjunto con relación proporcional al agua, siendo en general mayor la de esta última. A la cantidad de iones nutrientes y agua absorbida por las raíces de la planta se conoce como concentración de absorción (SONNEVELD 2004).

Cuanto mayor es la conductividad del agua de riego mayor será la proporción de volumen de lavado con el que se ha de trabajar para mantener el óptimo en cuanto a las condiciones nutritivas de la planta en su rizófora. Estas condiciones clásicas de la nutrición mineral de las plantas en realidad son poco dependientes del suelo, es por ello que las recomendaciones en general se hacen para la disolución nutritiva óptima para cada planta, y en su caso el estado de desarrollo fenológico, y no específicamente para el suelo. Sin embargo, el suelo puede llegar a tener un papel importante y debemos considerar este hecho a la hora del manejo del fertirriego oportuno, citaremos algunos ejemplos:

- No es indiferente si tiene o no una alta capacidad de intercambio catiónico, ya que si la tiene esta ejercerá un papel activo en la interacción con la disolución nutritiva que aportemos haciéndola variar.

- Las enmiendas pueden aportar cierta cantidad de nutrientes como es el caso del compost que puede suministrar una importante cantidad de amonio y sulfatos,
- Cuando el suelo presenta de por sí una alta salinidad,
- Cuando no presenta un adecuado pH y
- Cuando las enmiendas aplicadas al suelo tengan actividad microbiana y se produzca el secuestro nitrógeno en el material.

Entre los controles periódicos se debe realizar un análisis químico completo de los nutrientes, con este comprobamos si los niveles se ajustan a la disolución tipo.

### **Funcionamiento del Fertirriego:**

El proceso se inicia en el cabezal, en donde se mezcla los fertilizantes y el agua de riego. la solución formada por agua y algún fertilizante se prepara en un tanque, esta recibe el nombre de "solución madre" que es inyectada al sistema de riego. La mezcla de agua y solución madre recibe el nombre de "solución fertilizante" y es la que circula por las tuberías. Posteriormente la solución es localizada en el suelo muy cerca de las raíces, la cual da lugar a otra solución (solución suelo), que alimenta la planta.

En ocasiones se usas el sistema de riego por manguera, el cual es el sistema tradicional de riego manual, todavía útil y necesario en cualquier vivero. Su utilidad abarca todas aquellas situaciones de deficiencia que se producen en el día a día, como son el efecto borde (zonas en los extremos, de ceras, de pasillos, y paredes laterales o frontales del invernadero, afectadas por mayor evaporación) (MESA 2013).

Entre los más empleados está el sistema de riego por goteo, el mismo fue concebido en una primera versión con un lateral por hilera de plantas, separadas a 0,40 m entre emisores y 1,00 m entre laterales. En este sistema se agregó otro lateral, llegando a ser dos canteros con una sola hilera de plantas al centro. La separación entre emisores es de 0,40 m y entre lateral 0,30 m. Este cambio se

realiza para lograr mayor pluviometría, disminuyendo así la distancia entre planta por metro cuadrado y por lo tanto aumentar los rendimientos (RUIZ 2011).

#### **1.4.1 Riego localizado.**

El riego localizado consiste en la aplicación de agua sobre la superficie del suelo o bajo éste, utilizando para ello tuberías a presión y emisores de diversas formas, de manera que sólo se moja una parte del suelo, la más próxima a la planta. El agua aplicada por cada emisor moja un volumen de suelo que se denomina bulbo húmedo. En este método de riego, la importancia del suelo como reserva de humedad para las plantas es muy pequeña en contra de lo que sucede en el riego por superficie o en el riego por aspersión. Su función principal es la de ser soporte físico de las plantas, así como proporcionar el agua y los nutrientes, pero en un volumen reducido (Fernández 2010).

#### **Descripción general del método de riego localizado.**

Este método de riego facilita un ahorro importante de agua con respecto a otra (superficie y otra aspersión). El mayor o menor ahorro se fundamenta en general en:

- La posibilidad de controlar fácilmente la lámina de agua aplicada.
- La reducción, en la mayoría de los casos, de la evaporación directa.
- La ausencia de escorrentía.
- El aumento de uniformidad de aplicación al reducir la filtración profunda o percolación.

Para que estas ventajas sean efectivas, es preciso que los componentes tengan un diseño adecuado y los materiales con que están fabricados sean de buena calidad. De no ser así, la inversión realizada en la instalación probablemente no produzca ventajas sustanciales (Fernández 2010).

La aplicación localizada y frecuente de agua evita en muchos casos el daño por salinidad en las plantas, ya que las sales se encuentran muy poco concentradas en la zona de actividad de las raíces. De hecho, las sales se concentran en zonas no accesibles por las raíces de las plantas, mientras que se mantienen diluidas en la zona de actividad radicular. Por ello, el riego localizado es la única posibilidad de riego para cultivos muy sensibles a aguas de mala calidad (Fernández 2010).

### **Tipos de sistemas de riego localizado.**

En función del tipo de emisor utilizado y de su colocación, suelen distinguirse tres sistemas de aplicación del riego localizado:

- Por goteo.
- Por tuberías emisoras.
- Por micro-aspersión y micro-difusión.

El método riego localizado, consiste en la colocación de laterales con emisores, sobre la superficie o soterrados en el campo de riego, que trabajan a baja presión, generalmente a 1 atm.

### **Ventajas del riego localizado.**

Entre las principales ventajas que presenta el sistema de riego localizado están:

- Incremento del rendimiento productivos por la posibilidad de regar a intervalos muy cortos, lo que permite suministrar el agua a la planta a muy bajas tensiones en combinación con los fertilizantes.
- Ahorro de mano de obra, puesto que solo se necesita personal para chequeo y la vigilancia del sistema. El trabajo de regar consiste en abrir y cerrar las llaves a horas determinadas, atender la estación de bombeo y la unidad o unidades de fertilización.

- La planta asimila mejor los elementos nutritivos aportados ya que existe un alto grado de humedad en torno a las raíces, lo que facilita que el fertilizante se disuelva y pueda ser mejor absorbido.
- Se produce un ahorro de fertilizantes, comparado con otros sistemas, debido a que su aplicación es localizada sobre la propia planta distribuyéndose el abono cerca de las raíces y además se produce una menor pérdida por lavado o lixiviación. El ahorro de los fertilizantes puede variar entre un 25% y un 50%.
- Posibilita un alto grado de automatización del proceso, evitando además errores en los suministros ocasionados por el accionamiento manual, como desfases horarios e inexactitudes en la dosificación, tanto por exceso (pudiendo ocasionar elevada salinidad) como por defecto (provocando carencias nutricionales o falta de agua).
- La planta asimila mejor los elementos nutritivos aportados ya que existe un alto grado de humedad en torno a las raíces, lo que facilita que el fertilizante se disuelva y pueda ser mejor absorbido.
- Requiere menos energía que el riego por aspersión.
- Reduce notablemente el impacto medioambiental negativo que supone el uso de los fertilizantes.
- Facilita un ahorro importante de agua. El mayor o menor ahorro se fundamenta en general en:

La aplicación localizada y frecuente de agua evita en muchos casos el daño por salinidad en las plantas, si fuera necesario regar con agua de baja calidad, ya que las sales se encuentran muy poco concentradas en la zona de actividad de las raíces. De hecho, las sales se concentran en zonas no accesibles por las raíces de las plantas, mientras que se mantienen diluidas en las zonas de actividad radicular. Esta es la razón por la que el riego localizado es la única posibilidad de riego para cultivos sensibles a aguas de mala calidad. Dado que solo se moja una parte del suelo, se consigue reducir la infestación por arvenses y se hace más simple su control. Sin embargo, es necesario realizar un seguimiento de la aparición de arvenses en la zona de suelo humedecida, principalmente cuando el cultivo está en fase de crecimiento o en fase juvenil. Por otro lado, puede haber un

ahorro en las labores de cultivo, ya que en las zonas secas crecerán menos las arvenses (García 2015).

#### **Desventaja del riego localizado.**

- Obturaciones de los emisores de riego, ocasionadas principalmente por el precipitado de los fertilizantes, mala disolución y posibilidad de reacción de algunos elementos con el agua de riego, incompatibilidades entre algunos de ellos, e impurezas que a veces puedan llevar incluidas.
- Aumenta la salinidad del agua de riego, con riesgo de que también se produzca salinización del suelo.

#### **1.4.2 Riego por nebulización.**

Un sistema de rociadores de neblina produce una pulverización muy fina o rocío sobre las plantas. Los invernaderos, casa o túnel de polietileno lo pueden utilizar como sistema aéreo o como un banco de nebulización. Existen diferentes tipos de nebulizadores, el sistema de riego por nebulizadores a utilizar, dependerá de las necesidades del cultivo, el tamaño de la casa de polietileno y las condiciones de crecimiento en el área cultivada (ROQUE 2010).

Los sistemas de nebulización aéreos, se instalan los aspersores en forma de línea en el techo de la estructura de la casa de polietileno y estos riegan en forma de lluvia a las plantas. Este tipo de sistema de riego es fácil de automatizar y produce una alta humedad la cual permite crecimiento de los cultivos. Para obtener una mejor cobertura, espacia los aspersores superiores alrededor del 50 a 60 por ciento del diámetro de regado del aspersor (FRANCO 2011).

Los diferentes nebulizadores, se adaptan bien a las casas de cultivos y ayudan a mantener la humedad en las plantas, sobre todo en semilleros y a la reducción de las temperaturas interior sobre todo en una casa de polietileno. El riego se utiliza comúnmente para la propagación y para el cultivo de plantas tropicales que requieren humedad constante. Algunos sistemas de riego también pueden ser

utilizados para rociar fertilizantes de manera uniforme y finamente. Los fertilizantes aplicados de esta manera se absorben más fácilmente en las plantas que los fertilizantes aplicados en el suelo. Permittedle variar la humedad dentro de la casa de polietileno; los sistemas de riego también permiten variar la temperatura y controlar las condiciones de crecimiento (REYNOSO 2011).

Puede ser fácil sobre regar con cualquier tipo de sistema de nebulización. Para evitar esto, se puede utilizar un temporizador para apagar y encender el riego. Las boquillas de nebulización tienen agujeros muy finos que se pueden obstruir si tienes agua dura. La nebulización también funciona mejor si tu casa de polietileno está completamente cerrada, ya que una brisa puede interrumpir el fino rocío y causar que algunas áreas permanezcan secas. La nebulización puede no ser adecuada para todos los tipos de plantas, así que, si tu invernadero contiene muchos tipos diferentes de plantas, con diferentes tolerancias al agua, es posible que se necesite regar cada tipo de planta individualmente, o utilizar bancos individuales, en lugar de utilizar un sistema de riego aéreo (MAGLOF 2012).

### **1.4.3 Riego por goteo.**

Es el sistema de riego localizado más popular, según el cual el agua circula a presión por la instalación hasta llegar a los emisores o goteros, en los que pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota. Son utilizados normalmente en cultivos con marco de plantación amplio, aunque también se usan en cultivos en línea. Los goteros suelen trabajar a una presión próxima a 1 kg/cm<sup>2</sup> (kilogramos/centímetro cuadrado, conocido popularmente por “kilos”) y suministran caudales entre 2 y 16 L/h. Lo más frecuente es que las tuberías laterales y los goteros estén situados sobre la superficie del suelo, y el agua se infiltre y distribuya en el subsuelo. Es el riego por goteo en superficie. En el sistema de riego por goteo el agua penetra en el suelo por un punto, distribuyéndose en todas las direcciones (Fernández 2010).

El goteo garantiza una alta precisión y humedad en el suelo, lo que favorece el rápido desarrollo de las plantas y como resultado se tienen mayores rendimientos. La uniformidad en el reparto del agua en el riego por goteo depende

principalmente del diseño hidráulico de la red y no de las características del suelo ni de las condiciones climáticas (especialmente el viento), siendo buena la uniformidad de aplicación para diferencias de presión (García 2015).

Por lo general los goteros auto-compensantes trabajan en un rango de presiones entre 7 y 40 m.c.a y los turbulentos se diseñan para que las entregas no sean mayores del 10 % entre el primero y el último gotero en una línea. La eficiencia de aplicación del agua es elevada al 95 % con los auto-compensantes y al 90 % con los turbulentos, si el diseño y el manejo son correctos (Fernández 2010).

Al regar con riego localizado, si se aplica una norma total de riego a un cultivo se obtienen buenos resultados; si las otras labores culturales se hacen bien, y se ha demostrado que la precisión en la aplicación de esta norma es muy variable para las diferentes métodos y técnicas de riego. El riego localizado garantiza una alta precisión y humedad en el suelo, lo que favorece el rápido desarrollo de las plantas y como resultado se tienen mayores rendimientos.

### **Ventajas del riego por goteo.**

- Menores pérdidas de agua.
- No entorpece las labores culturales (poda, cosecha, curas, entre otras).
- Cultivo en condiciones óptimas de absorción.
- Requiere poca mano de obra.
- Utilización óptima y económica de los fertilizantes.
- Adaptable a todo tipo de suelos y topografía.
- Permite el uso de agua salina.
- Menor incidencia de enfermedades.
- Posibilidad de automatización (García 2005).

### **Desventajas del riego por goteo.**

- Obstrucción de los emisores (requieren de un buen equipo de filtración en el cabezal o de la aplicación de ácidos con un alto costo).
- Mayores costos de instalación.
- Salinización del suelo (García 2005).

### **Componentes del sistema de riego por goteo.**

- Fuente de abasto.
- Estación de bombeo.
- Tubería principal o conductora.
- Centro de control o cabezal de riego.
- Tuberías secundarias.
- Tuberías distribuidoras.
- Laterales.
- Emisores. (goteros)

### **1.5 Fuente de abasto.**

La fuente de abasto puede ser superficial o subterránea. El problema principal radica en la calidad del agua, que se exige según el tipo de emisor que se use. El agua de riego se obtiene de ríos, lagos o corrientes continuas de agua naturales, de pozos (que obtienen el agua de acuíferos subterráneos), de estaciones depuradoras de aguas residuales, y por procesos de desalinización del agua del mar y, en menor medida, de lagos salados, que poseen el riesgo de salinizar las tierras (García 2015). Puede ser obtenida también de embalses o balsas que acumulan las corrientes discontinuas de agua procedentes de la lluvia (especialmente de las áreas con pendientes), o sea, pueden ser utilizados como fuentes de abasto:

- Embalses (con represa) o reservorios.
- Balsas.
- Obras de toma o derivación. (azudes)
- Pozos, canales, acequias para transportar el agua. (incluyendo el drenaje).

Cuando se usan goteros la exigencia es mayor por tener diámetros muy pequeños de salida. Las aguas no deben tener partículas de arena, materia orgánica y determinados elementos químicos en proporciones que puedan crear precipitados. Las aguas superficiales pueden tener problemas con el contenido de materia orgánica y el crecimiento de algas que obstruyen los sistemas (García 2015).

### **1.6 Estación de bombeo (EB)**

Se entiende por estación de bombeo o centro de control, al conjunto de equipos y elementos de riego utilizados para captar el agua de la fuente de abasto, darle energía, filtrarla, y controlar presiones y caudales (Ferreyra 2013).

Los diferentes tipos de bombas que se utilizan para la extracción de agua de acuerdo a la posición del eje son:

- Para fuentes superficiales.
  - a)-Bombas de eje horizontal accionadas por electricidad (electrobombas) o motores de combustión interna (motobombas) si el agua se encuentra hasta 3,50 m de profundidad respecto al eje de la bomba.
  - b)-Electrobombas sumergidas colocadas horizontalmente, según las recomendaciones del fabricante, solo considerando la diferencia del nivel del agua para calcular la carga de trabajo del equipo.
- Para fuentes subterráneas.
  - a)- Electro bombas de eje vertical de etapas múltiples o sumergibles, con las cuales se podrá elevar agua desde profundidades considerables.

b)- Los pozos se perforan con máquinas y su profundidad se determina por el nivel del manto acuífero y la interface del agua dulce con la salada, siendo su diámetro medio, en Cuba, de 20 pulgadas.

El diseño de las Estaciones de Bombeo para el riego localizado es de extrema importancia y resulta un ejercicio complejo; pues de él depende en gran medida el éxito del sistema de riego que se diseñe (García 2015).

### **1.7 Riego y Coeficiente de Uniformidad. (CU)**

Se considera que un buen riego no es el que “moja” uniformemente la superficie del suelo, sino aquel que moja adecuadamente el perfil del suelo donde se encuentran las raíces de las plantas. Un buen riego es el que se aplica cuando la planta lo requiera, de acuerdo con el período en días que se deja entre dos riegos sucesivos y el agotamiento del agua del suelo. Las plantas consumen agua debido al efecto de las condiciones climáticas (temperatura, radiación solar, velocidad del viento, entre otros factores) que hacen que se esté liberando permanentemente vapor de agua desde el suelo hasta la atmósfera, desde la planta por exceso de transpiración y desde el suelo por el proceso de evaporación. Estas pérdidas de agua en conjunto, desde la planta y el suelo se les llaman evapotranspiración. La aplicación eficiente de agua hace referencia a su aplicación con las mínimas pérdidas posibles por percolación o por escurrimiento superficial; por lo tanto, la cantidad de agua que se aplique en cada riego debe ser suficiente para cubrir el agua consumida por la planta en el período entre dos riegos y, además, cubrir las pérdidas inevitables. La aplicación uniforme de agua indica que la cantidad de agua que reciben las primeras plantas de la hilera junto al surco, tiene que ser igual a la que reciben las que están al final de la hilera o surco.

### 1.8 Programación y monitoreo del Fertirriego.

El monitoreo del volumen, pH, CE y concentración de los nutrientes en la solución lixiviada permite determinar si se están aplicando los fertilizantes y el agua en exceso o en deficiencia, y por lo tanto ir corrigiendo el régimen de fertirriego, esto se realiza comparando los aportes de solución nutritiva y el resultado lixiviado, teniendo en cuenta que no existen registro de la evotranspiracion anterior.

$$Kc = \frac{ETc \text{ (mm/día)}}{ETo \text{ (mm/día)}} = ETc = Kc * ETo$$

**Kc:** coeficiente del cultivo

**ETc:** Necesidades diarias de riego del cultivo

**ETo:** Evapotranspiración de referencia

Se recomienda recolectar y analizar la solución lixiviada y la solución que sale por los goteros y compararlas diariamente (Llonin 2002). Los kits portátiles permiten un día gnóstico in situ del pH, CE y del contenido aproximado de ni- tratos en las soluciones. En la actualidad existen sistemas automáticos que miden el pH y la CE de ambas soluciones y corrigen automática y continuamente la solución de acuerdo a los valores óptimos que se entran a la computadora de antema- no.

En el monitoreo es importante analizar los siguientes parámetros:

Volúmenes de lixiviación muy pequeños indican que la planta absorbe casi toda el agua que se le proporciona, por lo tanto, se deberá incrementar la lámina de agua aplicada.

Concentraciones de nitratos muy bajas en la solución lixiviada indican que la planta absorbe casi todo el nitrógeno que se le proporciona, por lo tanto, se deberá incrementar la concentración de fertilizante en la solución nutritiva.

Un valor de CE y/o de cloro más alto en la solución lixiviada que en la solución aplicada indica una acumulación de sales en la zona radicular. La presencia de sales en el bulbo de suelo humedecido por el gotero es contraproducente para las raíces, por eso se aplica siempre un exceso de agua para drenar el cloro y las sales. Este exceso varía de 10-50% según la conductividad hidráulica del sustrato la cual determina el potencial de drenaje del mismo (Llonin 2002).

El régimen de fertirriego (lámina de agua e intervalo de riego) deberá ajustarse de acuerdo al gradiente de CE y cloro entre la solución de riego y la de drenaje, para mantener así las sales por debajo de la zona radicular activa.

El valor óptimo del pH de la solución de riego es de 6- 6,5 y el pH de la solución de lixiviación no más de 8,5. El pH del agua de riego se ajusta mediante la inyección de ácido. Cuando el pH del agua de lixiviación es más alcalino que 8,5, esto indica que el pH en la zona radicular alcanza valores que provocan la precipitación de fósforo y menor disponibilidad de micronutrientes. El ajuste es por medio de la relación  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$  de la solución de riego: si el pH se hace demasiado alcalino, se debe aumentar la proporción de  $\text{NH}_4$  con respecto al  $\text{NO}_3$  en la solución nutritiva y viceversa, esto se ve presente en la figura 1 El porcentaje de amonio no debe superar el 20% del total del nitrógeno aportado (Llonin 2002).

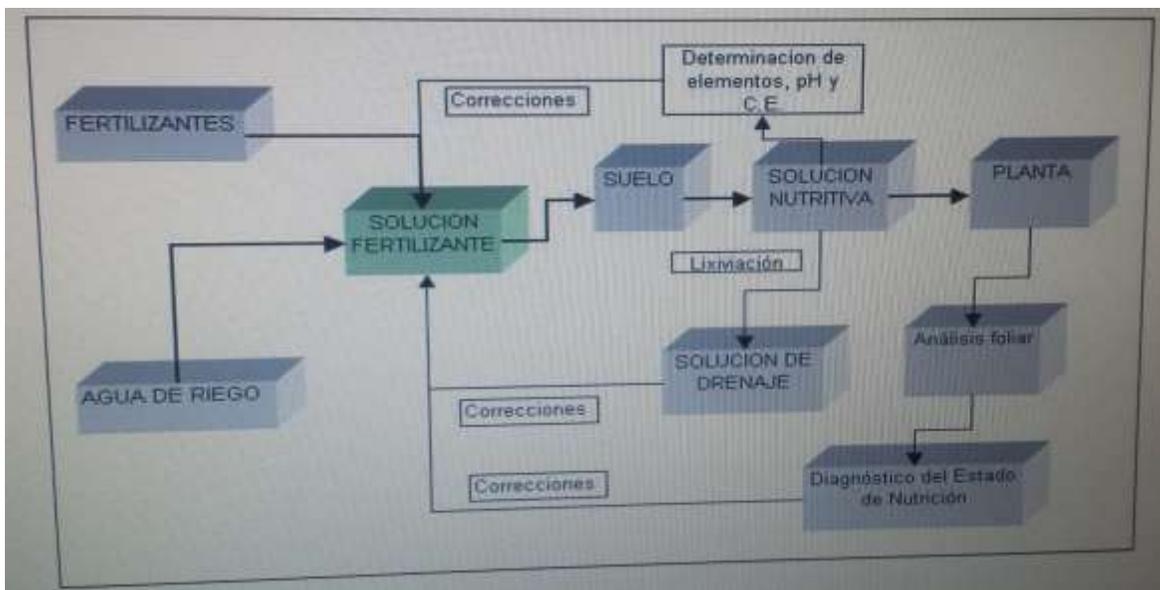


Figura 1: Determinación del CE y pH

## INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

- Caudalímetros. Permiten saber el volumen de agua que ingresan a la red de riego. De acuerdo a la cantidad de agua que ingresa al sistema y los gramos de fertilizantes que se emplean, podemos estimar mediante cálculos los valores de pH y CE de la solución de riego.
- pH; Miden la acidez o alcalinidad de la solución.
- Conductímetro; miden la CE en ds/m. o mmhos/cm
- Extractómetros; Extraen la solución del suelo y sirven para las determinaciones de pH, CE y nutrientes en la solución del suelo.
- Tensiómetros; permiten medir el estado hídrico del suelo. (potencial mátrico).
- Riegómetro; Adaptación que permite en forma práctica medir el pH, CE y caudal de riego por emisor (Llonin 2002).
- Muestreadores de suelo; permiten la extracción de muestras de suelo, en donde se puede determinar pH, CE, y nutrientes.
- Análisis foliares; Para un mejor control del programa de fertirrigación, será necesario realizar muestreos de hojas de tomate, con el propósito de ahondar con mayor precisión de los cálculos de los fertilizantes empleados. Los valores medios se muestran a continuación en la figura 2.

| ELEMENTO | Índice de referencias de análisis foliares (Cadahía 1988) |         |         |           |       |
|----------|---|---------|---------|-----------|-------|
|          | Excesivo  | Alto    | Normal  | Medio     | Bajo  |
| N %      | >6  | 5,5-6   | 4,5-5,5 | 3,1-4,4   | <3,0  |
| P %      | >1  | 0,81-1  | 0,3-0,8 | 0,17-0,19 | <0,17 |
| K %      | >6  | 5,1-6   | 3,1-5,5 | 2,5-3     | <2,5  |
| Ca %     | >6  | 4,1-6   | 2,5-4   | 1,6-2,4   | <1,5  |
| Mg %     | >0,9  | 0,6-0,9 | 0,4-0,6 | 0,3-0,4   | <0,3  |
| Cu (ppm) | >20   | 15-20   | 8 a 15  | 4 a 7     | <4    |
| Zn (ppm) | >100  | 80-99   | 20 a 79 | 15 a 19   | <15   |
| Mn (ppm) | >500  | 351-500 | 60-350  | 41-60     | <40   |
| Fe (ppm) | >500  | 301-500 | 120-300 | 61-119    | <60   |

Figura 2: Índice de referencia de análisis de nutrientes

## Capítulo 2

### Materiales y Métodos

#### 2.1 Descripción de las condiciones experimentales.

El estudio se realizó en el período comprendido entre diciembre de 2017 y febrero de 2018, en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Módulo de Casas de Cultivos Protegidos, perteneciente a la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú", en la provincia Villa Clara.



Figura 3: Unidad Empresarial de Base Módulo de Casas de Cultivos Protegidos.

El experimento consistió en tomar como referencia dos casas de cultivo plantada con tomate (*Solanum lycopersicum*), con suelo pardo con carbonato, haciendo coincidir variedad, fecha de siembra, empleándose diferentes métodos de aplicación del Fertirriego, uno de forma automatizada (experimento uno) y el otro de forma mecánica o semi-automatizada (experimento dos).

Durante el periodo de la plantación se recogieron 4 variable técnica según (tabla 1 y 3) variable fisiológica según (tabla 2) comparando los resultados de ambos métodos utilizando el modelo estadístico estaligraf

Se compararon los resultados económicos y productivos, así como los gasto por elemento en ambos métodos determinando el más factible (tabla 3)

Tabla 1: Materiales imprescindible

|                                      | U/M | CANTIDAD | PRECIO    | IMPORTE |
|--------------------------------------|-----|----------|-----------|---------|
| Semilla                              | Ks  | 1        | 102.40    |         |
| Conductimetro<br>y Peachimetro<br>ph | uno | 1        | 260.00    |         |
| Cabezal de<br>fertirriego            | uno | 1        | 350000.00 |         |
| Riegometro                           | uno | 1        | 50.00     |         |
| Licimetro                            | uno | 1        | 100.00    |         |
| Total                                |     |          | 359210.00 |         |

## 2.2 Evaluar los resultados productivos y la calidad del riego y el fertirriego en dos casas de cultivo.

Para la realización de esta evaluación se contó con la tecnología karizon, una con sistema automatizado y otra con el nuevo sistema, para ello se siembra ambas casas del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) híbrido skyway en el mes octubre del 2017 a marzo del 2018, se aplican normas y frecuencia de riego en las dos variantes evaluadas, al final del ciclo se evalúa el comportamiento de las cuatro variables de rendimiento, comparando un procedimiento con el otro.

## 2.3 Metodología para el muestreo de la humedad

Las muestras para la determinación de la humedad del suelo se tomaron en 8 puntos de la parcela Figura 4, con tres réplicas cada una, las mediciones se realizaron con unos intervalos de 8 horas, comenzando después del riego y hasta las siguientes 48 horas, momento en que se repite el riego. Estas 8 mediciones se efectuaron cada 18 días en todo el período vegetativo.

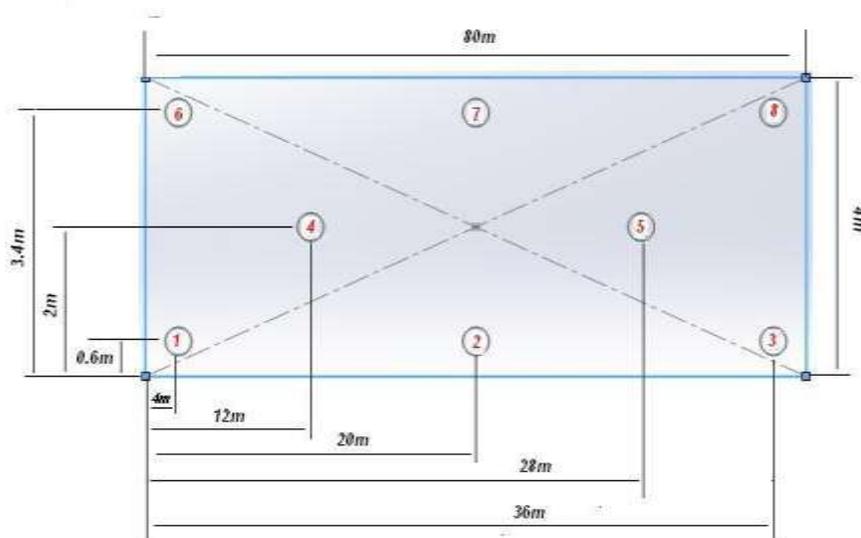


Figura 4: Distribución de las muestras.

Para la determinación de la humedad las muestras de pardo con carbonato se tomaron a una profundidad de 5 cm, se colocaron en cápsulas taradas independientes con número de identificación. Las cápsulas identificadas se llevaron al laboratorio donde se pesaron antes y después de secarse durante 10 horas a 105 °C en la estufa alcanzando un peso constante.

Posteriormente se calculó el por ciento de humedad sobre la base del peso de suelo seco por la siguiente expresión:

$$\%hbss = \frac{psh - pss}{pss} \times 100$$

Donde:

Hbss = humedad base suelo seco en %;

Psh = peso de suelo húmedo en gramos;

Pss = peso de suelo seco en gramos.

En cada una de las mediciones efectuadas se midieron, además, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento, por medio de estación meteorológica de santa clara.

#### **2.4 Análisis del costo del beneficio a partir de los resultados alcanzado.**

La metodología se elabora en correspondencia con la bibliografía siguiente: **(Colectivo de autores, 2013).**

Según ésta, el costo de producción constituye el conjunto de todos los gastos incurridos en el proceso de producción y representa un indicador generalizador de la calidad de la actividad económica productiva de la empresa. En el costo de producción se refleja, entre otros, el nivel de productividad del trabajo, el desarrollo tecnológico de la empresa y el nivel de organización de la producción y del trabajo. En éste contexto, el análisis del gasto por elementos responde a las preguntas, ¿Qué se gasta?, ¿Cuáles son los elementos de mayor incidencia desfavorables? Los elementos del costo son elementos de gasto que se distribuyen por tipos que caracterizan su contenido económico.

La agrupación de los gastos por elementos se refleja en el presupuesto de la producción. Se incluyen todos los gastos relacionados con la elaboración del producto mercantil y permite determinar el importe total de gastos en la elaboración de la producción y de cada elemento en particular, así como descubrir las reservas de reducción de costos. La energía, materiales directos e indirectos, salario, aporte a la seguridad social, amortización y otros, son los gastos por elementos.

En la Figura 5 se relacionan los elementos que intervienen en la formación de los indicadores del costo.

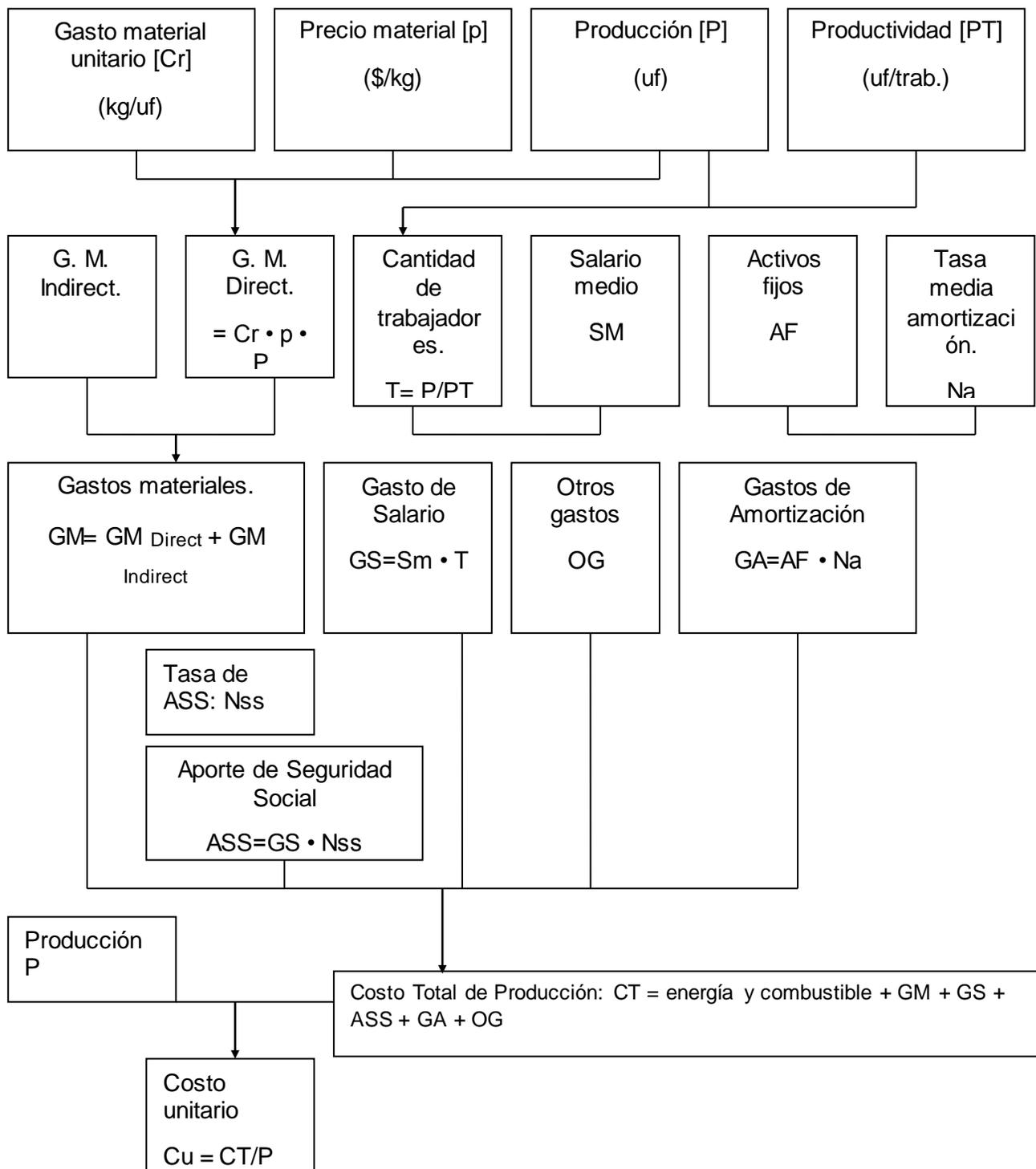


Figura 5: indicadores de costo.

## Capítulo 3

### RESULTADO Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Características del sustrato.

El suelo de la parcela experimental está clasificado como pardo con carbonatos (Inceptisol), presenta un perfil A (B) C o ABC de evolución sialítica mullido medianamente lavado en un medio rico en carbonato de calcio. Existe un predominio de materiales arcillosos del tipo 2:1, principalmente Montmorillonita como se muestra en la figura 6. Se aplican alternativas para elevar la materia orgánica, incorporando estiércol vacuno o cachaza.



Figura 6: Características del suelo.

#### 3.2 Características del sistema de riego.

Este sistema ha supuesto un importantísimo avance al conseguir la humedad en el sistema radicular, aportando gota a gota el agua necesaria para el desarrollo de la planta. A diferencia del riego tradicional y de la aspersion, aquí el agua se conduce desde el depósito o la fuente de abastecimiento a través de tuberías y en su destino se libera gota a gota justo en el lugar donde se ubica la planta. El agua se infiltra en el suelo produciendo una zona húmeda restringida a un espacio

concreto. Espacio que funciona vertical y horizontal formando lo que se ha venido en llamar por su forma bulbo de humedad como se demuestra en la figura 7.



### 3.3 Variedad del tomate empleado.

(*Solanum lycopersicum*), la tomatara, son planta de la familia de las solanáceas (*Solanaceae*) originaria de América y cultivada en todo el mundo por su fruto comestible, llamado tomate (o jitomate en el centro de México). Dicho fruto es una baya muy coloreada cuando madura, típicamente de tonos que van del amarillento al rojo, debido a la presencia de los pigmentos licopeno y caroteno. Posee un sabor ligeramente ácido, mide de 1 a 2 cm de diámetro en las especies silvestres, y es mucho más grande en las variedades cultivadas. Se produce y consume en todo el mundo tanto fresco como procesado de diferentes modos, ya sea como salsa, puré, jugo/zumo, deshidratado o enlatado. Las hojas, pubescentes-tomentosas (como toda la planta), son alternas, de hasta 25 cm de largo, divididas en varias hojillas de diferentes tamaños que, a su vez, pueden estar divididas (principalmente en la base). Tienen ápice puntiagudo y margen aserrado ha ligeramente hendido. Los tallos son delgados (no superan los 2 centímetros de grosor) y, debido a esto, son frágiles. Externamente están cubiertos de abundantes pelos, por lo que es áspero al tacto. La flor tiene un cáliz de 5 sépalos angostamente triangulares, puntiagudos; la corola es de color amarillo Las flores juntas forman inflorescencias dispuestas en racimos cortos o alargados, a veces ramificados, ubicados generalmente en los nudos como se muestra en la figura 8. El fruto es una baya jugosa (el tomate propiamente dicho), de forma generalmente sub-esférica, globosa o alargada y, habitualmente, de unos 8 centímetros de diámetro. Inmaduro, el fruto es del todo verde y, cuando madura, toma generalmente un color rojo intenso, pero también se encuentra en tonos

anaranjados. Sus semillas son numerosas, más o menos circulares, aplanadas, parduscas/amarillentas.



Figura 8: Características del tomate.

### 3.4 Características de la casa de cultivo.

En la Unidad Empresarial de Base (UEB) Módulo de Casas de Cultivos Protegidos cuenta con un área de 3 ha totales y un total de 36 casas de cultivos protegidos de 12 x 45 m, situadas en tres hileras (baterías) con 12 casas cada una, las mismas son de tipología 2, modelo Tropical A-12, (Casanova *et al.*, 2003) con un área por casa de 0,05 ha, para un área total de 1,8 ha de cultivos protegidos, con cubierta superior de malla sombreadora 35% (polietileno flexible color blanco), poseen ventilación cenital.

Dentro de cada casa existen 4 canteros de 43,00 m de largo y 1,20 m de ancho, para 51,6 m<sup>2</sup> de área productiva por cantero, con dos hileras de plantas en cada uno, el marco de plantación es 0,30 m x 0,25 m, para un área vital de 0,075 m<sup>2</sup> por planta, lo que indica que por cada metro cuadrado debe haber 13 plantas, este valor no es real, debido a que en el cantero no se utiliza una importante área en los extremos de las mismas (0,25 m en cada extremo, para un total de 0,50 m ) por lo que el área real total es 21,5 m<sup>2</sup>, esto se deriva de la multiplicación del largo del cantero (43,00 m) y del valor real que se utiliza en el ancho del mismo (0,70 m), lo que da un total de 286 plantas por cantero como se muestra en la figura 9, respondiendo a una densidad poblacional de 1 144 plantas por casa en el tomate.



Figura 9: Característica de las casas de cultivos.

### 3.5 Los resultados productivos y la calidad del riego y el fertirriego en dos casas de cultivo.

Con el objetivo de comparar los dos sistemas de fertirriego se demuestra una mayor producción e ingresos por la calidad de sus frutos en el sistema automatizado como se muestran en las siguientes figuras 10 a la 13.



Figura 10: Produccion por calidad del sistema automatizado.



Figura 11: Produccion por calidad del sistema sin automatizar.

Al analizar los valores de las tablas 4 y 5 de producción por calidad podemos notar que al evaluar en el sistema automatizado muestra un aumento de 3514 Kg, por encima y dando también una mayor calificación de sus clases con un menor periodo de tiempo en su cosecha.



Figura 12: Ingreso por calidad del sistema automatizado.



Figura 13: Ingreso por calidad del sistema sin automatizar.

Al analizar los valores de las tablas 6 y 7 de ingreso por calidad podemos notar que al evaluar en el sistema automatizado muestra una ganancia de 17806,6 de pesos por encima, por tener en su cosecha un mayor número de productividad en la calificación de selecta ya que este es mejor pagado, pero a su vez por derivar su riego en vez de uno por día a ocho riegos diarios en diferente intervalo de tiempo.

### **3.6 Uniformidad del riego**

Desde la etapa del trasplante se aplicó el riego en 0,5 L/planta/día hasta el inicio de la floración. En el inicio de la floración se comenzó a aplicar una norma parcial de 1 L/planta/día, esto garantizó en dos casas en estudio el desarrollo de los frutos. Desde el inicio de la fructificación hasta el final de la cosecha se aplicó la norma parcial de 2 a 2,5 L/planta/día. Esta etapa fue la seleccionada para realizar las pruebas pluviométricas y calcular el coeficiente de uniformidad del sistema.

Al analizar los resultados obtenidos y compararlos con los rangos óptimos podemos notar que los resultados del Coeficiente de Uniformidad (CU) son aceptables en las casas seleccionadas. Esto denota que existen dificultades en cuanto a la correcta entrega del agua de riego y que las condiciones del sistema se comportan similares en la mayoría de las casas, pero a pesar de ello y de la sobreexplotación del sistema se demuestra que es provechoso aún, pese a todas las dificultades técnicas que presenta, de manera que mantiene un coeficiente de uniformidad bueno.

La Uniformidad de Emisión (UE) o el Coeficiente de Uniformidad (CU) de las casas de cultivos debían estar próximos al 90%, pero ésta, al igual que la eficiencia potencial de aplicación, ha disminuido de forma considerable con el uso continuado. Por ello, un valor de UE promedio al 92% suele ser más realista, y los valores de eficiencia suelen ser menores debido a problemas de manejo, aunque en las mediciones realizadas estuvieron por encima de 92%.

Estos valores coinciden con los alcanzados en evaluaciones hechas por, (Bonet C 2007), en la provincia de Camagüey donde se obtuvo un CU de 94,8% para casas de cultivo de 12 x 45 m, siendo de excelente; y (Ajete 2009) que también obtuvo resultados del CU de riego de 88,03 % en Sancti Spiritus y 96% en Ciego de Ávila, siendo de aceptable y excelente respectivamente.

Se detectaron también otras irregularidades como salideras, 120 goteros defectuosos como promedio en las 2 casas de cultivo, por eso una de las razones por la que su coeficiente de uniformidad fue tan bajo.

Las diferencias de presión existentes en las casas escogidas fueron consecuencia de las pérdidas de carga en las tuberías, del envejecimiento y obstrucciones de los emisores.

A pesar de que se considera aceptable la uniformidad en la mayoría de los casos (81 – 87%), ésta resulta un poco baja porque tiene rangos cercanos a 81% que es el valor mínimo de la categoría aceptable; este problema de la baja uniformidad está relacionado con tupidones de algunos goteros ya que usan en la entidad agua de mala calidad y en la estación de bombeo no usan todos los filtros necesarios para limpiarla, es importante aclarar que la presión de entrada a las casas era de 11 m.c.a que resulta la adecuada según el proyecto. A pesar de los esfuerzos que se realizan en la atención al sistema de riego aún éste presenta deficiencias técnicas debido a la cantidad de años de explotación al que ha sido sometido, pero cabe destacar que en la entidad se ocupan de destupirlos con una solución de ácido fosfórico a razón de 137 ml cada 200 litros de agua, o con ácido nítrico a razón de 104 ml en 200 litros de agua, esto se hace según el ajuste químico antes de la siembra, y además se aplica cada 10 días durante todo el ciclo, eliminando así las algas e impurezas que pudieran obstruir el riego.

Al valorar el estado del diseño hidráulico dentro de las casas de cultivo pudimos detectar que los laterales que se encuentran ubicados sobre los canteros no presentan la adecuada posición en los mismos y se encuentran a la vez alejados de las hileras de plantas (aproximadamente 10 cm), esto es una muestra de

deficiencias en el manejo que incide negativamente en la producción del cultivo. Lo anteriormente explicado perjudica grandemente al desarrollo de las plantas, ya que el suministro de agua no está siendo efectivo, debido a que el bulbo húmedo se forma alejado de la planta y no llega a humedecer el mayor por ciento de raíces (80% capa activa).

### 3.7 Variación de temperatura y humedad relativa

Las temperaturas máximas diarias son alrededor de 26 °C, rara vez bajan a menos de 22 °C o exceden 29 °C. La temperatura mínima promedio diaria es 26 °C el 14 de enero. Las temperaturas mínimas diarias son alrededor de 17 °C, rara vez bajan a menos de 12 °C o exceden 20 °C como muestra la figura 14. Como referencia, el 29 de julio, el día más caluroso del año, las temperaturas en Santa Clara típicamente varían de 22 °C a 32 °C, mientras que el 6 de febrero, el día más frío del año, varían de 16 °C a 26 °C.

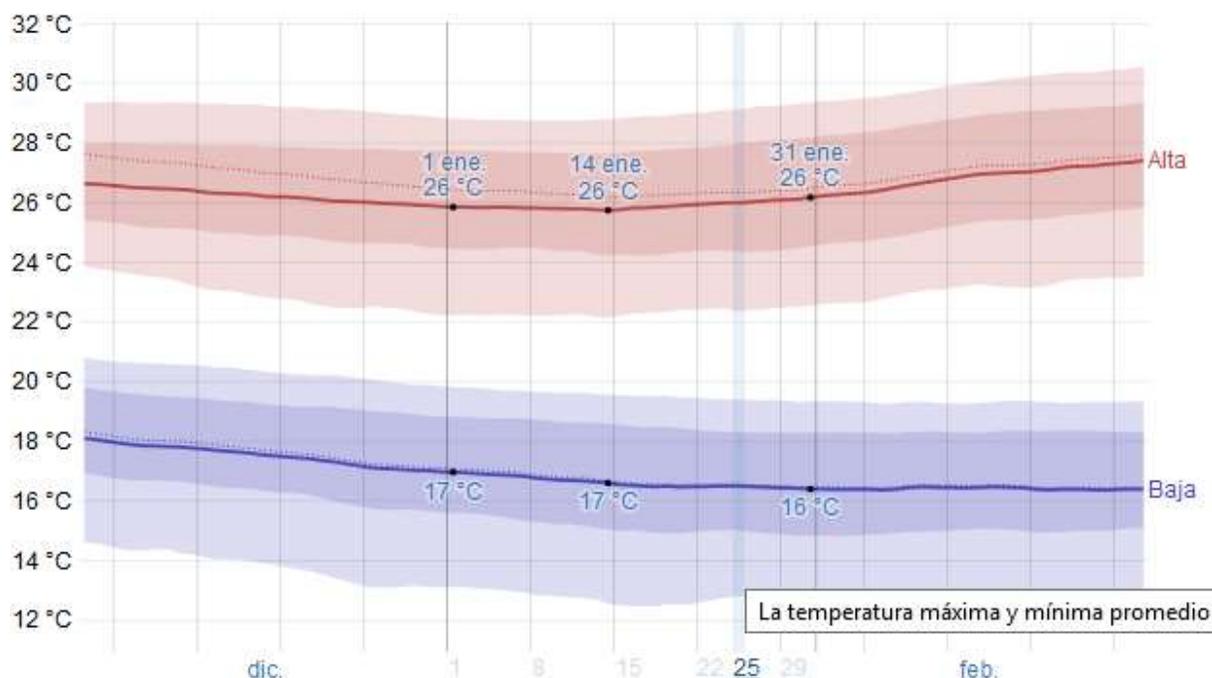


Figura 14 Variación de temperatura

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que, aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

La probabilidad de que un día dado sea húmedo en Santa Clara disminuye rápidamente en enero, y disminuye del 42% al 32% en el transcurso del mes como muestra la figura 15. Como referencia, el 4 de septiembre, el día más bochornoso del año, hay condiciones bochornosas 100% del tiempo, mientras que el 11 de marzo, el día menos bochornoso del año hay condiciones bochornosas 29% del tiempo.

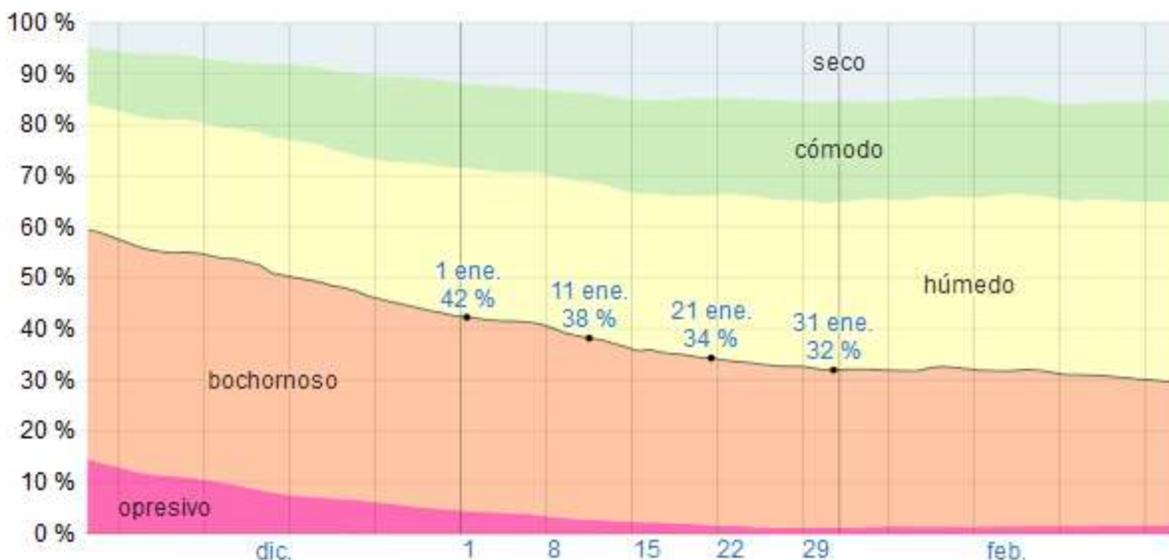


Figura 15. Variación de la humedad relativa

### 3.8 Efecto velocidad del viento

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora. La velocidad promedio del viento por hora en Santa Clara es esencialmente constante en enero, permaneciendo en un margen de más o menos 0,2 kilómetros por hora de 16,7 kilómetros por hora como muestra la figura 16.

Como referencia, el 25 de noviembre, el día más ventoso del año, la velocidad promedio diaria del viento es 17,5 kilómetros por hora, mientras que el 18 de septiembre, el día más calmado del año, la velocidad promedio diaria del viento es 12,6 kilómetros por hora. La velocidad mínima promedio diaria del viento en enero es 16,5 kilómetros por hora el 18 de enero.

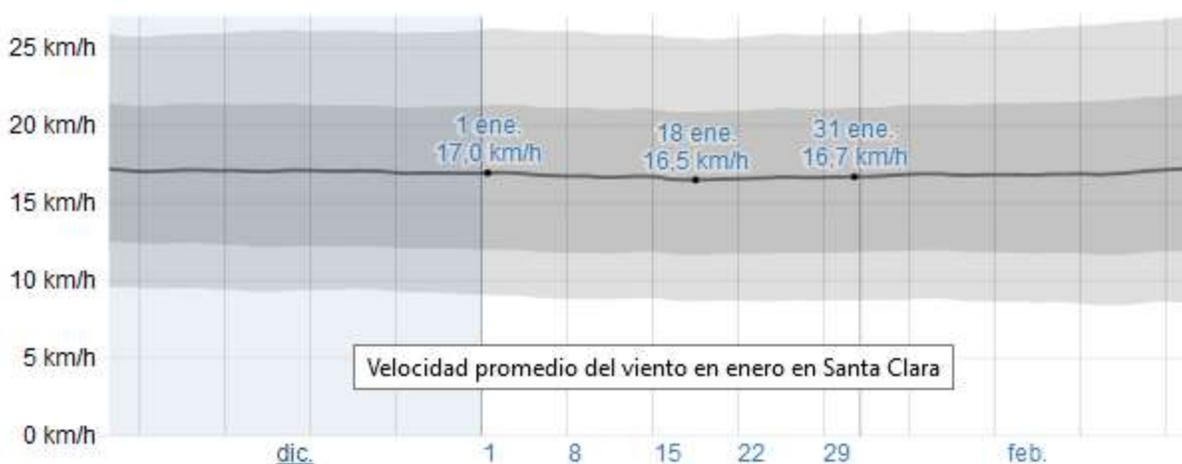


Figura 16. Velocidad del viento

### 3.9 Costo de la inversión y beneficio.

Tabla 2: Costo de la materia prima empleada.

| Indicadores de gastos        | Sin Automatización | Con Automatización | Diferencia con automatización |
|------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|
| Gastos materias              |                    |                    |                               |
| Abonos y fertilizantes       | 2025.95            | 1433.33            | 592.62                        |
| Plaguicidas                  | 682.90             | 721.55             | -38.65                        |
| Semillas y postoras          | 781.25             | 781.25             | 0.00                          |
| Materias primas y materiales | 197.58             | 252.86             | -55.28                        |
| Electricidad                 | 173.45             | 147.40             | 26.05                         |
| Salario                      | 9227.42            | 7636.00            | 1591.42                       |
| Salario estimulación         |                    | 9470.31            |                               |
| Salario complementario       | 838.8              | 1554.98            | -716.18                       |
| Depreciación                 | 2624.06            | 2071.08            | 552.98                        |
| Otros gastos                 | 5101.72            | 3521.63            | 1580.09                       |
| Total                        | 21653.13           | 27590.39           |                               |

Tabla 3: Costo de inversión de los dos sistemas de riego

| Costo del sistema | Sin Automatizar | Automatizado | Diferencia |
|-------------------|-----------------|--------------|------------|
|                   | 152000.00       | 350000.00    | 198000.00  |

El costo del sistema de riego sin automatizar tiene un equivalente de 152000.00 de pesos y esa deuda fue pagada a lo largo de 10 años, ya que tiene un bajo rendimiento por tener 2 tanque de 55 galones para echar los fertilizantes y su llenado es diario lo que dificulta el riego en las casas y depende de un operador a su lado para su funcionamiento. En el sistema automatizado tiene un costo mayor que equivale a 350000.00 de peso, pero a su vez su deuda fue pagada a los 2 años por tener un máximo rendimiento ya que posee en sus instalaciones de 5 tanques de 1500 litro y su llenado es cada 15 días. En cada uno contiene diferentes fertilizantes lo que propicia a regar el cultivo con los nutrientes que necesitan con un intervalo de tiempo menor, pero a su vez con un mayor número de riegos por día. Este necesita un operador, pero no precisamente debe estar en el local ya que este fertirriego es automatizado y puede ser trabajado desde la oficina por vía de wifi.

## Conclusiones

Las casas de cultivo empleadas para la producción del tomate cumplen las normas establecidas para este tipo de producción, el sistema de riego empleado garantiza un suministro estable para las labores de riego y muestra adecuadas condiciones para el drenaje.

La planificación del riego durante el ciclo vegetativo del tomate se ajusta a las necesidades hídricas de las plantas según su período de crecimiento.

Los análisis de la uniformidad de riego en la parcela son aceptables en las casas de cultivos seleccionadas ya que tuvo una eficiencia del 92%. Esto denota que no existen dificultades en cuanto a la correcta entrega del agua de riego y que las condiciones del sistema se comportan similares en la mayoría de las casas.

El uso del sistema automatizado y sin automatizar durante el riego no demostró un desempeño similar en cuanto a la calidad del mismo, considerando la complejidad y los costos del sistema el automatizado se considera más adecuado ya que reporta una mayor productividad y calidad en el cultivo del tomate.

## **Recomendaciones**

La empresa debe emplear el sistema de riego automatizado ya que presentó mejor eficiencia en las casas de cultivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, A. (2003). "La construcción de invernaderos o casas de cultivo." 125-157.
- ADAMS, P. (2004). "Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo." Tratado de cultivo sin suelo. 3ª: 81-111.
- Ajete, M. C. B. (2009). "Criterios sobre la uniformidad del riego en casas de cultivos protegidos y sistemas semiprotegidos de las provincias centrales."
- Álvarez, M. (2002). "Veranero para el cultivo de plantas en clima tropical."
- Anaya, K. (2011). "Efecto del Ecomic® (cepa *Glomus fasciculatum*) en el desarrollo y rendimiento del tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) en casas cultivo protegido." Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Ciencias Agrícolas. Bayamo, Granma, Cuba.: 65.
- Bonet C, A., M., y Duarte, C. Cuba. (2007). "Criterios sobre la uniformidad del riego en Casas de Cultivos Protegidos y Sistemas urbanos en Cuba."
- Casanova, A. (2003). "Manual para la Producción Protegida de Hortalizas." Editorial: "Liliana Dimitrova".
- Casanova, A. (2005). "Diez años de cultivo protegido de hortalizas en Cuba."
- Castañeda, R. (2004). "Ingeniería de invernaderos." Programa de postgrado en ingeniería de invernaderos en México(En: <http://ingenieria/especialidad/admision.html>).
- Cuba, M. (2008). "Demanda de productos alimenticios de las diferentes cadenas turísticas de Cuba. ."
- Cuba, M. (2008). "Informe de las exportaciones de productos agrícolas cubanos.": 2.
- Cuba, M. (2009). "Informe de recorrido del Grupo Nacional de Cultivo Protegido.": 46.
- Cuba, O. (2008). " Panorama económico y social de Cuba."
- De Souza, A., Porra, E.&Casate, R. (2001). "Efecto del tratamiento magnético de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) sobre el rendimiento de las plantas en dos variedades." 34.

Fernández, M., I. M. Gómez. (1999). Cultivos sin Suelos II. 2da. (1999). "Cultivos sin Suelos II. 2da. ." 589.

Fernández, R. (2010). "Manual de Riego para Agricultores." Módulo 4. Riego localizado. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.

Ferreyra (2013). "Diseño, manejo y mantención de equipos de riego localizado de alta frecuencia."

Florido, M., Álvarez, M., Lara, R. M., Plana, D., Valera, M., Shagarodsky, T. y Moya, C. (2002). "Caracterización morfoagronómica y bioquímica de 20 accesiones de tomate (*Lycopersicon* spp). CultivosTropicales." **23**: 61-69.

FRANCO, J. (2011). "Frecuencia de ofertas en hidroponía para la reproducción de minitubérculos de papa (*Solanum tuberosum*)." **vol. no. Disponible en:** <http://www.fasagua.com/>.

García, -. D. (2015). "MÉTODO DE RIEGO LOCALIZADO."

García , M. (2005). "Desarrollo del bulbo húmedo bajo riego localizado en suelos estratificados del Uruguay." Congreso internacional de Riego y Drenaje. Cuba-Riego, La Habana, Cuba.

Gómez, O. (2000). "Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe.": 159.

Gómez, O., Gisela, Rodríguez. (2004). " Impacto del cultivar en los sistemas de cultivo protegido." En: Il Curso Internacional de cultivo protegido de hortalizas en condiciones tropicales (2:2004, octubre 11–16, La Habana).

González, F. M. (2008). "El injerto herbáceo: alternativa para el manejo de plagas del suelo.": 69-74.

Hernández, J. C. (2008). "Análisis de la política de precios y la factibilidad económica para una hectárea de cultivo protegido."

Hernández, R. A. (2000). "Multiplican la producción agrícola en casas de cultivos protegidos." **El Habanero digital**(La Habana, Cuba).

León, H. M. (2006). "Guía para el cultivo del tomate en invernadero." 263.

Llonin, D. M., N. (2002). "Nutrición mineral con N, P, K en la simbiosis hongo micorrizógenos-tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en ferrasoles. Cultivos Tropicales." **22**: 13-17.

MAGLOF, L. B. d. r. e. c. d. p. e. l. D. e. w. e. c. (2012). " Banco de riego en casa de polietileno." Disponible en: [ww.ehowenespanol.com](http://ww.ehowenespanol.com).

MESA, Y. (2013). "Efectividad de aplicación de bioplaguicida a través del sistema de riego localizado por micoaspersión en el cultivo del tomate."

MONTSERRAT, J. (2012). "Sistema de riego para uso en viveros [en línea] Disponible en: [www.rizhum.com](http://www.rizhum.com)."

Papaseit, P., J. Badiola, E. Armengol. (2000). "Los Plásticos y la agricultura." 204.

Parra, R., V. J. Flórez. (2006). " Reutilización de lixiviados en sistemas de producción de rosas en sustratos." 463-479.

Pérez, T., Núñez, M. & Alfonso, J.L. (2000). "Efecto de biorreguladores cubanos en la producción y calidad de variedades de tomate." 190.

Pupo, F. R. (2004). " Caracterización de la nutrición del tomate en casas de cultivo para suelos Ferralíticos Rojos.": 29.

Quesada, M. L. (2007). "Cultivo Protegido y Plasticultura (perspectiva de investigación en México). ." En: II Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. (2:2007, septiembre 19–21, Guadalajara): 14.

REYNOSO, J. (2011). "Frecuencia de fertirriego en hidroponia para la producción de minitubérculos de papa." Disponible en: <http://www.fasagua.com/>.

Rodríguez, G. (2004). "Comportamiento de cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) adaptados al sistema de cultivo protegido." Tesis (Master en Biología Vegetal): 106.

ROQUE, R. (2010). "Respuesta de la papa al riego Ferralíticos Rojos del occidente Cuba."

RUIZ, J. y. P. R. (2011). ""Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de casas de cultivo en explotación",." 20:37.

SALAS, M. C. U., M. (2001). "Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo." Manuales de la Universidad de Almería, Servicios de Publicaciones de la Universidad de Almería: 280.

SONNEVELD, C. ( 2004). "La nutrición mineral y salinidad en los cultivos sin suelo: su manejo." Tratado de cultivo sin suelo. 3ª: 305-367.

Tecnologías, C. d. (2012). "NaanDanJain Ltd." Irrigation(Post Naan 76829).

Terry, E., Terán, Z., Martínez-Viera, R. & Pino, M.A. (2002). "Biofertilizantes, una alternativa promisorio para la producción hortícola en organopónicos. Cultivos Tropicales." **23**: 43-46.

**ANEXO 1**

Tabla 4: Muestra de la producción por calidad con el sistema automatizado

| FECHA      | SELECTO |           | PRIMERA |           | SEGUNDA |           | TERCERA |           | TOTAL     |
|------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|
|            | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Acumulado |
| 29/12/2017 | 151     | 1275      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 1275      |
| 01/01/2018 | 522     | 1797      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 1797      |
| 03/01/2018 | 477     | 2274      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 2274      |
| 05/01/2018 | 427     | 2701      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 2701      |
| 08/01/2018 | 349     | 3050      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 3050      |
| 10/01/2018 | 281     | 3331      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 3331      |
| 12/01/2018 | 321     | 3652      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 3652      |
| 15/01/2018 | 666     | 4318      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 4318      |
| 17/01/2018 | 273     | 4591      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 4591      |
| 19/01/2018 | 226     | 4817      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 4817      |
| 22/01/2018 | 439     | 5256      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 5256      |
| 24/01/2018 | 303     | 5559      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 5559      |
| 26/01/2018 | 459     | 6018      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 6018      |
| 29/01/2018 | 522     | 6540      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 6540      |
| 31/01/2018 | 297     | 6837      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 6837      |
| 02/02/2018 | 177     | 7014      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 7014      |
| 04/02/2018 | 41      | 7055      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 7055      |
| 05/02/2018 | 382     | 7437      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 7437      |
| 06/02/2018 | 79      | 7516      |         | 0         |         | 0         |         | 0         | 7516      |
| 07/02/2018 | 301     | 7817      |         | 0         | 22      | 22        |         | 0         | 7839      |
| 09/02/2018 | 270     | 8087      |         | 0         | 21      | 43        |         | 0         | 8130      |
| 12/02/2018 | 199     | 8286      |         | 0         | 25      | 68        |         | 0         | 8354      |
| 13/02/2018 | 121     | 8407      |         | 0         | 17      | 85        |         | 0         | 8492      |
| 16/02/2018 | 96      | 8503      |         | 0         | 11      | 96        |         | 0         | 8599      |

## ANEXO 2

Tabla 5: Muestra de la producción por calidad con el sistema sin automatizar

| FECHA      | SELECTO |           | PRIMERA |           | SEGUNDA |           | TERCERA |           | TOTAL     |
|------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|
|            | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Acumulado |
| 31/01/2018 | 114     | 2294      | 26      | 160       | 8       | 100       |         | 0         | 2554      |
| 01/02/2018 | 77      | 2371      | 17      | 177       | 8       | 108       |         | 0         | 2656      |
| 02/02/2018 | 123     | 2494      | 17      | 194       | 6       | 114       |         | 0         | 2802      |
| 05/02/2018 | 186     | 2680      | 60      | 254       | 22      | 136       |         | 0         | 3070      |
| 06/02/2018 | 65      | 2745      | 18      | 272       | 0       | 136       |         | 0         | 3153      |
| 08/02/2018 | 174     | 2919      | 56      | 328       | 20      | 156       |         | 0         | 3403      |
| 11/02/2018 | 261     | 3180      | 81      | 409       | 16      | 172       |         | 0         | 3761      |
| 13/02/2018 | 211     | 3391      | 64      | 473       | 30      | 202       |         | 0         | 4066      |
| 14/02/2018 | 18      | 3409      |         | 473       |         | 202       |         | 0         | 4084      |
| 15/02/2018 | 106     | 3515      | 50      | 523       | 20      | 222       |         | 0         | 4260      |
| 18/02/2018 | 66      | 3581      | 46      | 569       | 21      | 243       |         | 0         | 4393      |
| 20/02/2018 | 56      | 3637      | 37      | 606       | 20      | 263       |         | 0         | 4506      |
| 22/02/2018 | 32      | 3669      | 17      | 623       | 14      | 277       |         | 0         | 4569      |
| 25/02/2018 | 54      | 3723      | 30      | 653       | 15      | 292       |         | 0         | 4668      |
| 27/02/2018 | 35      | 3758      | 16      | 669       | 15      | 307       |         | 0         | 4734      |
| 01/03/2018 | 20      | 3778      | 10      | 679       | 7       | 314       |         | 0         | 4771      |
| 02/03/2018 |         | 3778      | 68      | 747       |         | 314       |         | 0         | 4839      |
| 05/03/2018 | 74      | 3852      |         | 747       | 33      | 347       |         | 0         | 4946      |
| 06/03/2018 |         | 3852      |         | 747       | 17      | 364       |         | 0         | 4963      |
| 07/03/2018 |         | 3852      |         | 747       | 64      | 428       |         | 0         | 5027      |
| 09/03/2018 |         | 3852      |         | 747       | 58      | 486       |         | 0         | 5085      |
| TOTAL      |         | 3852      |         | 747       |         | 486       |         |           | 5085      |

**ANEXO 3**

Tabla 6: Muestra del ingreso por calidad con el sistema automatizado

| FECHA      | SELECTO |           | PRIMERA |           | SEGUNDA |           | TERCERA |           | TOTAL     |
|------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|
|            | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Acumulado |
| 29/12/2017 | 857,68  | 7242,00   | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 7242,00   |
| 01/01/2018 | 2964,96 | 10206,96  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 10206,96  |
| 03/01/2018 | 2709,36 | 12916,32  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 12916,32  |
| 05/01/2018 | 2425,36 | 15341,68  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 15341,68  |
| 08/01/2018 | 1982,32 | 17324     | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 17324,00  |
| 10/01/2018 | 1596,08 | 18920,08  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 18920,08  |
| 12/01/2018 | 1823,28 | 20743,36  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 20743,36  |
| 15/01/2018 | 3782,88 | 24526,24  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 24526,24  |
| 17/01/2018 | 1550,64 | 26076,88  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 26076,88  |
| 19/01/2018 | 1283,68 | 27360,56  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 27360,56  |
| 22/01/2018 | 2493,52 | 29854,08  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 29854,08  |
| 24/01/2018 | 1721,04 | 31575,12  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 31575,12  |
| 26/01/2018 | 2607,12 | 34182,24  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 34182,24  |
| 29/01/2018 | 2964,96 | 37147,2   | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 37147,20  |
| 31/01/2018 | 1686,96 | 38834,16  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 38834,16  |
| 02/02/2018 | 1005,36 | 39839,52  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 39839,52  |
| 04/02/2018 | 232,88  | 40072,40  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 40072,40  |
| 05/02/2018 | 2169,76 | 42242,16  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 42242,16  |
| 06/02/2018 | 448,72  | 42690,88  | 0,00    | 0,00      | 0       | 0,00      | 0       | 0,00      | 42690,88  |
| 07/02/2018 | 1709,68 | 44400,56  | 0,00    | 0,00      | 75,02   | 75,02     | 0       | 0,00      | 44475,58  |
| 09/02/2018 | 1533,60 | 45934,16  | 0,00    | 0,00      | 71,61   | 146,63    | 0       | 0,00      | 46080,79  |
| 12/02/2018 | 1130,32 | 47064,48  | 0,00    | 0,00      | 85,25   | 231,88    | 0       | 0,00      | 47296,36  |
| 13/02/2018 | 687,28  | 47751,76  | 0,00    | 0,00      | 57,97   | 289,85    | 0       | 0,00      | 48041,61  |
| 16/02/2018 | 545,28  | 48297,04  | 0,00    | 0,00      | 37,51   | 327,36    | 0       | 0,00      | 48624,40  |

**ANEXO 4**

Tabla 7: Muestra del ingreso por calidad con el sistema sin automatizar

| FECHA      | SELECTO |           | PRIMERA |           | SEGUNDA |           | TERCERA |           | TOTAL     |
|------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|
|            | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Mes     | Acumulado | Acumulado |
| 31/01/2018 | 741,00  | 14911,00  | 135,20  | 832,00    | 31,20   | 390,00    | 0       | 0,00      | 16133,00  |
| 01/02/2018 | 500,50  | 15411,50  | 88,40   | 920,40    | 31,20   | 421,20    | 0       | 0,00      | 16753,10  |
| 02/02/2018 | 799,50  | 16211,00  | 88,40   | 1008,80   | 23,40   | 444,60    | 0       | 0,00      | 17664,40  |
| 05/02/2018 | 1209,00 | 17420,00  | 312,00  | 1320,80   | 85,80   | 530,40    | 0       | 0,00      | 19271,20  |
| 06/02/2018 | 422,50  | 17842,50  | 93,60   | 1414,40   | 0,00    | 530,40    | 0       | 0,00      | 19787,30  |
| 08/02/2018 | 1131,00 | 18973,50  | 291,20  | 1705,60   | 78,00   | 608,40    | 0       | 0,00      | 21287,50  |
| 11/02/2018 | 1696,50 | 20670,00  | 421,20  | 2126,80   | 62,40   | 670,80    | 0       | 0,00      | 23467,60  |
| 13/02/2018 | 1371,50 | 22041,50  | 332,80  | 2459,60   | 117,00  | 787,80    | 0       | 0,00      | 25288,90  |
| 14/02/2018 | 117,00  | 22158,50  | 0,00    | 2459,60   | 0,00    | 787,80    | 0       | 0,00      | 25405,90  |
| 15/02/2018 | 689,00  | 22847,50  | 260,00  | 2719,60   | 78,00   | 865,80    | 0       | 0,00      | 26432,90  |
| 18/02/2018 | 429,00  | 23276,50  | 239,20  | 2958,80   | 81,90   | 947,70    | 0       | 0,00      | 27183,00  |
| 20/02/2018 | 364,00  | 23640,50  | 192,40  | 3151,20   | 78,00   | 1025,70   | 0       | 0,00      | 27817,40  |
| 22/02/2018 | 208,00  | 23848,50  | 88,40   | 3239,60   | 54,60   | 1080,30   | 0       | 0,00      | 28168,40  |
| 25/02/2018 | 351,00  | 24199,50  | 156,00  | 3395,60   | 58,50   | 1138,80   | 0       | 0,00      | 28733,90  |
| 27/02/2018 | 227,50  | 24427,00  | 83,20   | 3478,80   | 58,50   | 1197,30   | 0       | 0,00      | 29103,10  |
| 01/03/2018 | 130,00  | 24557,00  | 52,00   | 3530,80   | 27,30   | 1224,60   | 0       | 0,00      | 29312,40  |
| 02/03/2018 | 0,00    | 24557,00  | 353,60  | 3884,40   | 0,00    | 1224,60   | 0       | 0,00      | 29666,00  |
| 05/03/2018 | 481,00  | 25038,00  | 0,00    | 3884,40   | 128,70  | 1353,30   | 0       | 0,00      | 30275,70  |
| 06/03/2018 | 0       | 25038,00  | 0,00    | 3884,40   | 66,30   | 1419,60   | 0       | 0,00      | 30342,00  |
| 07/03/2018 | 0       | 25038,00  | 0,00    | 3884,40   | 249,60  | 1669,20   | 0       | 0,00      | 30591,60  |
| 09/03/2018 | 0       | 25038,00  | 0,00    | 3884,40   | 226,20  | 1895,40   | 0       | 0,00      | 30817,80  |