



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E

INFORMÁTICA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2015



INFORME DE INVESTIGACIÓN

**Monitoreo automatizado de la temperatura y la humedad del suelo de un
invernadero para la producción de tomate, distrito de Morales,
junio - diciembre 2015**

AUTORES:

Ing. Buenaventura Ríos Ríos (Coordinador).

Ing. Elías Torres Flores

Ing. José Enrique Celis Escudero

COLABORADORES:

Ing. Carlos Armando Ríos López

Sr. Henry Charles Sánchez del Águila

Sra. Martha Elena Orbe Salazar

Est. Erick Napanga Paredes

Est. Yoni Leodan Calderón Barturen

Tarapoto – Perú

2019

Declaratoria de Autenticidad

Buenaventura Ríos Ríos identificado con DNI N° 08754876 y José Enrique Celis Escudero con DNI 00838985, docentes de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, y, Elías Torres Flores con DNI N° 05360645 docente de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con el Informe de Investigación Titulado: **MONITOREO AUTOMATIZADO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD DEL SUELO DE UN INVERNADERO PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE, DISTRITO DE MORALES, JUNIO - DICIEMBRE 2015.**

Declaramos bajo juramento que:

1. El Informe de Investigación es de nuestra autoría.
2. Hemos respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, el Informe de Investigación no ha sido plagiado ni total ni parcialmente.
3. El Informe de Investigación no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en el Informe de Investigación se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 2 de Noviembre del 2019.



Ing. Buenaventura Ríos Ríos
DNI N° 08754876





Ing. Elías Torres Flores
DNI N° 05360645





Ing. José Enrique Celis Escudero
DNI N° 00838985



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

| |
|---|
| Apellidos y nombres: <i>Ríos Ríos Buenaventura</i> |
| Código de alumno : _____ Teléfono: <i>942819724</i> |
| Correo electrónico : <i>bventura63@hotmail.com</i> DNI: <i>08754876</i> |

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

| |
|--|
| Facultad de: <i>Ingeniería de Sistemas e Informática</i> |
| Escuela Profesional de: <i>Ingeniería de Sistemas e Informática</i> |

3. Tipo de trabajo de investigación

| |
|--|
| Tesis () Trabajo de investigación (X) |
| Trabajo de suficiencia profesional () |

4. Datos del Trabajo de investigación

| |
|---|
| Título: <i>Monitoreo Automatizado de la Temperatura y la Humedad del Suelo de un Invernadero Para La Producción de Tomate, distrito de Morales, junio - Diciembre 2015.</i> |
| Año de publicación: |

5. Tipo de Acceso al documento

| |
|----------------------------------|
| Acceso público * (X) Embargo () |
| Acceso restringido ** () |

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

| |
|--|
| |
| |

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


.....
Firma del Autor



8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

12 / 11 / 2019



.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

| | | |
|----------------------|-----------------------|---------------|
| Apellidos y nombres: | TORRES FLORES, ELIAS. | |
| Código de alumno : | | Teléfono: |
| Correo electrónico : | | DNI: 05360695 |

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

| | |
|-------------------------|--------------------|
| Facultad de: | CIENCIAS AGRARIAS. |
| Escuela Profesional de: | AGRONOMIA |

3. Tipo de trabajo de investigación

| | | | |
|------------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| Tesis | () | Trabajo de investigación | (X) |
| Trabajo de suficiencia profesional | () | | |

4. Datos del Trabajo de investigación

| | |
|---------------------|---|
| Titulo: | MONITORIO AUTOMATIZADO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD DEL SUELO DE UN INVERNADERO PARA LA PRODUCCION DE TOMATE, DISTRITO DE MONTAÑA. 2015 |
| Año de publicación: | |

5. Tipo de Acceso al documento

| | | | |
|-----------------------|-----|---------|-----|
| Acceso público * | (X) | Embargo | () |
| Acceso restringido ** | () | | |

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

| |
|--|
| |
|--|

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.


Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

12 / 11 / 2019




Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

| | | |
|----------------------|-----------------------------|---------------|
| Apellidos y nombres: | Celis Escudero José Enrique | |
| Código de alumno : | | Teléfono: |
| Correo electrónico : | | DNI: 00838985 |

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

| | |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Facultad de: | Ingeniería de Sistemas e Informática |
| Escuela Profesional de: | Ingeniería de Sistemas e Informática |

3. Tipo de trabajo de investigación

| | | | |
|------------------------------------|-----|--------------------------|-------------------------------------|
| Tesis | () | Trabajo de investigación | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Trabajo de suficiencia profesional | () | | |

4. Datos del Trabajo de investigación

| | |
|---------------------|---|
| Título: | Monitoreo Automatizado de la temperatura y la Humedad del suelo de un Invernadero para la producción de Tomate, Distrito de Morales, Junio - Diciembre 2015 |
| Año de publicación: | |

5. Tipo de Acceso al documento

| | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|---------|-----|
| Acceso público * | <input checked="" type="checkbox"/> | Embargo | () |
| Acceso restringido ** | () | | |

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

| |
|--|
| |
| |

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.


.....
Firma del Autor



8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

12/11/2019




.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A los agricultores de la Región San Martín que, con su sabiduría y esfuerzo, impulsan el desarrollo regional y el bienestar de su gente.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, por el financiamiento de la presente investigación.

Índice General

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| Dedicatoria | vii |
| Agradecimiento | viii |
| Índice general | ix |
| Índice de tablas | x |
| Índice de figuras | xi |
| Resumen | xii |
| Abstract | xiii |
| Introducción | 1 |
| CAPITULO I. REVISION BIBLIOGRAFICA | 2 |
| 1.1 Fundamento teórico científico | 2 |
| CAPITULO II. MATERIAL Y METODOS | 8 |
| 2.1 Sistema de Hipótesis | 8 |
| 2.2 Sistema de Variables | 9 |
| 2.3 Tipo de método de la investigación | 9 |
| 2.4 Diseño de investigación | 9 |
| 2.5 Población y muestra | 10 |
| CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 11 |
| 3.1 Presentación de Resultados | 11 |
| 3.2 Discusión de Resultados | 19 |
| CONCLUSIONES | 22 |
| RECOMENDACIONES | 23 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 24 |
| ANEXOS | 25 |
| Anexo N° 01. Aspectos de Diseño y Construcción del Invernadero | 25 |
| Anexo N° 02. Diseño del Sistema de Control | 28 |
| Anexo N° 03. Programa de Control de Temperatura y Humedad del Suelo | 31 |
| Anexo N° 04. Acondicionamiento del Grupo Experimental y de Control | 35 |

Índice de Tablas

| | Página |
|---|--------|
| Tabla 1. Características del Sensor DHT22 | 29 |

Índice de Figuras

| | Páginas |
|--|---------|
| Figura 1. Variación de la Temperatura dentro y fuera del invernadero (mayo) | 12 |
| Figura 2. Variación de la Temperatura dentro y fuera del invernadero (junio) | 12 |
| Figura 3. Variación de la Temperatura dentro y fuera del invernadero (julio) | 13 |
| Figura 4. Variación de la Temperatura dentro y fuera del invernadero (agosto) | 13 |
| Figura 5. Variación de la Temperatura dentro y fuera del invernadero (setiembre) | 14 |
| Figura 6. Variación de la Humedad dentro y fuera del invernadero (mayo) | 15 |
| Figura 7. Variación de la Humedad dentro y fuera del invernadero (junio) | 15 |
| Figura 8. Variación de la Humedad dentro y fuera del invernadero (julio) | 16 |
| Figura 9. Variación de la Humedad dentro y fuera del invernadero (agosto) | 16 |
| Figura 10. Variación de la Humedad dentro y fuera del invernadero (setiembre) | 17 |
| Figura 11. Plantas de Tomate etioladas | 18 |
| Figura 12. Grupo Experimental | 19 |
| Figura 13. Grupo de Control | 19 |
| Figura 14. Estructura del Invernadero con cobertura de Polietileno | 25 |
| Figura 15. Cobertura de Plástico deteriorada por el Clima | 26 |
| Figura 16. Estructura metálica con cobertura de Tecnopor y Calamina | 27 |
| Figura 17. Circuito electrónico de interface conectado al ARDUINO | 28 |
| Figura 18. Experimentación de comunicación ARDUINO – Base de Datos | 29 |
| Figura 19. Instalación de sensores de Humedad en maceteros | 30 |
| Figura 20. Conexión ARDUINO – DHT22 | 30 |
| Figura 21. Grupo Experimental | 35 |
| Figura 22. Grupo de Control | 35 |
| Figura 23. Sistema de Aire Acondicionado | 36 |

Resumen

El presente trabajo de investigación trata sobre la insuficiente producción de Tomate (*Lycopersicum Esculentum*) en la Región San Martín, para satisfacer la demanda local, toda vez que presenta bajos niveles de productividad y rentabilidad, por lo que era necesario estudiar la viabilidad de la implantación de invernaderos controlados automáticamente. La investigación buscó correlacionar la productividad del Tomate, variedad Río Grande, con las variables de temperatura y humedad relativa del suelo, controlados automáticamente en un Invernadero, utilizando la plataforma del microcontrolador Arduino MEGA. Los datos de temperatura y humedad relativa, tanto del Grupo Experimental dentro del Invernadero como del Grupo de Control fuera de el, fueron almacenados remotamente en una Base de Datos, desde donde fueron monitoreados. Los resultados alcanzados indicaron que dentro del Invernadero no es suficiente controlar las variables de temperatura y humedad del suelo, siendo necesaria regular la aplicación de la luz solar. En la parte externa solo el 8% de las plantas de tomate fructificaron presentando un promedio de 3 frutos por planta. Como consecuencia, el control automático de la temperatura y la humedad del suelo en Invernadero no garantiza la productividad del Tomate.

Palabras Clave:

Productividad, temperatura, humedad relativa, microcontrolador.

Abstract

The following research deals with the insufficient production of Tomato (*Lycopersicum Esculentum*) in San Martín Department, to satisfy the local demand, since it presents low levels of productivity and profitability, reason why it was necessary to study the viability of the implantation of greenhouses automatically controlled. This research found out the productivity correlation of Tomato, variety Rio Grande, with the variables of temperature and relative humidity of the soil, automatically controlled in a greenhouse, using the Arduino MEGA microcontroller platform. The data of temperature and relative humidity, both of the Experimental Group within the Greenhouse and of the Control Group outside of it, were stored remotely in a Database, from where they were monitored. The results indicated that it is not enough to control the variables of temperature and soil moisture in the greenhouse and it is necessary to regulate the application of sunlight. On the outside, only 8% of the tomato plants were fruitful, with an average of 3 fruits per plant. As a consequence, the automatic control of soil temperature and humidity in Greenhouse does not guarantee the productivity of the Tomato.

Keywords: Productivity, temperature, relative humidity, microcontroller.



Introducción

De acuerdo a información proveniente de la Dirección Regional Agraria de San Martín (DRASAM), en el periodo 2010-2011, en la Región San Martín se han cultivado tomate en una extensión de 167.7 hectáreas. En el Plan Estratégico Sectorial Regional Agrario 2009-2015 se refiere que:

Para el autoconsumo regional, los principales mercados son las ciudades de Tarapoto, Moyobamba, Rioja, Juanjui y Tocache; sobre todo la primera por ser una ciudad de acentuado crecimiento urbano, consumiendo mayormente productos de pan llevar como arroz, frijol, plátano, algodón, yuca, café, cacao, tomate, frutales y otros. (DRASAM, 2009, p.10).

A pesar de lo enunciado en el párrafo anterior, la producción de tomate en la Región San Martín es insuficiente para satisfacer la demanda local, además, el producto no reúne las características de tamaño y color de los tomates que provienen de la Costa. El sistema de cultivo tradicional (secano) o con riego manual presenta bajos niveles de productividad que quitan rentabilidad a los agricultores que se dedican al cultivo del tomate. Por lo que se hizo necesario estudiar la pertinencia de implementar invernaderos controlados automáticamente, particularmente las variables de temperatura ambiental y humedad del suelo como en el presente caso. Sin embargo, se ha podido evidenciar que no controlar la variable de la luminosidad del Sol, que tiene efectos sobre la fotosíntesis de la planta de Tomate, es determinante para el éxito del experimento.

En el Capítulo I del estudio se expone los fundamentos teóricos y la definición de términos básicos; en el Capítulo II se presenta las Hipótesis nula y alterna de la investigación, el sistema de variables, la metodología de investigación, así como, la población y muestra experimentales. En el Capítulo III se da cuenta de los resultados obtenidos de la experimentación y la discusión de resultados, que nos permiten arribar a conclusiones.

CAPITULO I

REVISION BIBLIOGRAFICA

1.1 Fundamento teórico científico

1.1.1 El tomate.

El tomate pertenece a la familia de las Solanáceas, los cuales existen en cerca de 75 géneros y unas 2.300 especies de plantas, en su gran mayoría productoras de alcaloides tóxicos; podemos mencionar entre ellas a la belladona, la mandrágora y el beleño (Eroski, 2015). Algunas como la tomatara son comestibles.

El tomate es el fruto de la tomatara. En concreto, se considera oriundo del Perú, Ecuador y la zona norte de Chile; su introducción en Europa tuvo lugar desde México; en un principio, la aceptación del tomate en Europa fue muy escasa porque se la consideraba venenosa; idea que fue cambiando progresivamente hasta que comenzó a consumirse y hacerse muy popular en el siglo XVIII, época en que apareció la salsa de tomate; sin embargo, fue a partir del siglo XX cuando su cultivo se extendió por todo el mundo (Eroski, 2015).

Sin embargo, en cuanto al origen del tomate, conocida botánicamente como *Lycopersicum Esculentum*, existe la versión de Hernansaez y Pastor (1958) quien refiere que:

Todas las indagaciones conducen a suponer que la cuna de origen de esta planta fue la zona de Centroamérica y más concretamente el Perú, en donde el tomate era plantado por los indígenas del país, intercalado con las plantaciones de maíz, práctica que todavía conservan algunos de nuestros huertanos. (p.1).

Existen casi cien variedades de tomates que se clasifican según su uso, tamaño y forma, divididas todas ellas en tomates para cocinar y tomates para ensalada; entre estos últimos, tenemos variedades como: Dan-Ronc, Monserrat, Cereza o Cherry; en cuanto a los tomates para cocinar se tiene variedades como: Tomates para cocinar: Daniela, Pera (Eroski, 2015).

A los tomates los podemos encontrar durante todo el año, los de mejor calidad, por ejemplo para ensalada, se recolectan en los meses de mayor calor como el verano; su valor nutritivo y su aroma son mayores cuando el tomate madura al sol en pleno campo, es decir, como los pimientos y las berenjenas, con quienes comparten la misma familia botánica, soportan mejor las altas temperaturas y son más sensibles al frío (Eroski, 2015).

Los tenemos de diversas características. Los ponemos encontrar de forma esférica, alargada o periforme. En cuanto al tamaño y peso varían de 3 centímetros como el tomate Cherry hasta 10 centímetros como los tomates para ensaladas; su peso varía entre 80 y 300 gramos, y, en cuanto al color hay tonalidades que van de verde a rojo, según la especie y el grado de maduración (Eroski, 2015).

Como ya se ha mencionado, los factores climáticos tales como la temperatura, humedad, luminosidad y concentración de CO₂, tienen una gran importancia en el desarrollo vegetativo del tomate (Serrano, 2005). Los que se pueden sintetizar de las formas siguientes:

- Absorción por las raíces de las soluciones del suelo, con humedad óptima y temperatura controlada.

- Producción de elementos orgánicos por medio de la fotosíntesis, cuando en el ambiente hay luminosidad suficiente, con una concentración óptima de CO₂ a una temperatura adecuada.
- Transpiración de vapor de agua excedente en la planta, cuando la humedad no es excesiva y la temperatura es la apropiada.
- Respiración óptima del vegetal en un medio excedente en oxígeno y normal en CO₂, temperatura y humedad. (Serrano, 2005, p.26).

El cultivo del tomate revierte gran importancia por su gran adaptabilidad para obtener altos niveles de producción, ya que permite que se exploten tanto en climas cálidos (tropicales) como en templados de diversas regiones del mundo, así:

La temperatura óptima para desarrollo normal de tomates está entre los 18 y 27 °C. La formación de flores se ve afectada bajo temperaturas superiores a los 27 °C. Por esta razón, la mayoría de los cultivos a aire libre se encuentran en zonas de clima templado entre 30 y 40 grados de latitud tanto en el hemisferio norte como en el sur. (YARA, 2015).

En términos de Santiago, Mendoza y Borrego (1998), se sabe que en cuanto:

A los requerimientos de temperatura, se tiene que entre los 20 y 30°C, la cutícula se ablanda y el agua es más fluida, aumentado entonces la absorción de la solución nutritiva aplicada. El tomate es considerado como una planta de clima cálido, que tiene gran sensibilidad a las heladas, y a las temperaturas altas principalmente nocturnas, por lo que se recomienda, para el establecimiento de este cultivo, un clima templado, con noches frescas y humedad relativa alta. La temperatura y la luz, son los factores del medio ambiente más importante, que afectan el tamaño de la inflorescencia, se ha visto que temperaturas de 14 °C durante el periodo de crecimiento causan un incremento en la producción de flor, comparado con las plantas que se desarrollan a temperaturas de 25 a 30 °C. (p.60).

Igualmente:

Para poder analizar el rendimiento de una planta es necesario el estudio de sus componentes del rendimiento. Para el caso del tomate, los componentes del rendimiento son, el número de frutos por planta y el peso de fruto. El número de frutos por planta está determinado por el número de flores que son fecundadas y alcanzan a desarrollarse en fruto... el peso del fruto, a su vez está determinado por la relación entre la potencia de la fuente y la potencia de la demanda durante el periodo de crecimiento del fruto. (Santiago et al, 1998, p.60).

Del mismo modo los autores refieren que:

Para clasificar los frutos de acuerdo a su calidad, es necesario tomar en cuenta una serie de características: (1) firmeza de los frutos, puede ser consistente, esponjosa y flácida, (2) limpieza, los frutos deben estar libres de polvo y residuos de plaguicidas, (3) uniformidad en madurez y tamaño, sólo se permite limitado por ciento de defectos, (4) forma de los frutos, las hendiduras y deformaciones influyen en la calidad, (5) sanidad. (Santiago et al, 1998, p.60).

Una opción viable es la producción orgánica del tomate. Afirma Márquez (2005) que: “El tomate orgánico ocupa 10 veces menos superficie y alcanza una cotización 10 veces mayor que la del cultivo convencional, presenta rendimientos de 17 t/Ha. Pudiendo aumentar, produciéndolo en invernadero...” (p.2).

Tal como ocurre en la sierra del Perú, tanto al norte como al sur, donde se han venido desarrollando algunas experiencias haciendo uso de invernaderos para el cultivo de hortalizas, es decir, aplicaciones en climas templados o fríos. Por ejemplo, se cuenta con información sobre la producción de tomate en la comunidad de Ahijarreo (Cajamarca), en las que se reportó que, a través de invernaderos, se ha logrado entre 12 y 13 kilos por planta (Marrufo, 2015).

Igualmente, se reporta en la sierra sur del país, que estudiantes del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás de Abancay, han venido desarrollando estudios de evaluación de cuatro sustratos en el cultivo del tomate variedad Río Grande. Así:

La producción de tomate en invernadero ha atraído la atención en los últimos años, por tratarse de un cultivo alternativo. La atracción se basa en la percepción de que los tomates de invernaderos pueden ser más rentables que los cultivos tradicionales y por el alto uso de agroquímicos. (Camacho, 2015).

1.1.2 El invernadero.

El Invernadero o Invernáculo es un recinto de vidrio o plástico construido sobre una estructura que puede ser de madera o de tubos de fierro, en el que se mantienen constantes, entre otras variables, la temperatura, humedad, luminosidad y concentración de CO₂, para favorecer el cultivo de plantas.

De acuerdo a con López (2008):

El invernadero aprovecha el efecto producido por la radiación solar que, al atravesar un vidrio u otro material translucido, calienta los objetos que hay detrás de éstos. El cristal o vidrio utilizado en un invernadero trabaja como medio selectivo de la transmisión para diversas frecuencias espectrales, su efecto es atrapar energía en forma de calor dentro del invernadero, calentando el ambiente interior; se puede demostrar este efecto abriendo una ventana del invernadero: la temperatura disminuye considerablemente. (p. 2).

En el Perú, siempre de acuerdo con la opinión de López (2008):

Solamente el 6% de la superficie total del país tiene aptitud agrícola, su utilización adecuada supone el manejo integral de un conjunto de variables entre los cuales están la disponibilidad de recursos como: el agua, el clima, el suelo, entre otros. Así tenemos

la región costera árida y con déficit de agua, la región de la sierra especialmente las zonas alto-andinas con drásticas variaciones climáticas. (p.6).

El cultivo de hortalizas haciendo uso de invernaderos en el Perú, recién está tomando cuerpo. La razón principal por el cual el cultivo bajo invernadero en el Perú no es muy utilizado es la falta de capital para la inversión en la construcción del invernadero y contar con una tecnología accesible a los agricultores.

Muñoz y Nuñez (2012) nos dicen que “un invernadero protege a los cultivos de las plagas y de medios ambientes adversos” (p.7).

Por su parte, López (2008) de la PUCP da cuenta que “el invernadero es el único sistema de protección que permite el cultivo totalmente fuera de temporada... se sabe por los resultados que un invernadero que cuenta con un sistema de control climático proporciona mejores resultados que un invernadero que no cuenta con uno. En la actualidad un ejemplo vivo es el distrito Almería en España; en el cual, hablar de cultivar en este lugar años atrás era imposible, por las características que presenta el terreno” (p.7).

CAPITULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Sistema de hipótesis

Hipótesis alternativa (H1).

La implementación de un Invernadero con sistema automático de control de temperatura y humedad relativa del suelo mejora la productividad del Tomate en la provincia de San Martín.

Hipótesis nula (H₀).

La implementación de un Invernadero con sistema automático de control de temperatura y humedad relativa del suelo no mejora la productividad del Tomate en la provincia de San Martín.

2.2 Sistema de variables

Variable independiente (X).

“La implementación de un Invernadero que controla la temperatura y la humedad relativa del suelo”.

Variable dependiente (Y).

“Mejora la productividad del Tomate en la provincia de San Martín”.

2.3 Tipo de método de la investigación

La presente investigación de tipo aplicada y, al mismo tiempo, es una investigación experimental toda vez que busca encontrar la relación de dependencia existente entre dos variables.

2.4 Diseño de investigación

A partir de la Hipótesis y objetivos planteados, el presente estudio busca medir el efecto del uso de un Invernadero, en la que se controla automáticamente la temperatura ambiente y la humedad relativa del suelo, en la productividad del Tomate (*Lycopersicum Esculentum*).

Para dicho efecto, el 16 de mayo del 2016, se sembraron plantas de Tomate al interior del Invernadero, colocando 24 unidades experimentales organizadas en 4 filas y 6 columnas, separadas medio metro unas de otras, que serían contrastadas con otro grupo de 24 plantas, que actuaron como testigo, organizadas de la misma forma en la parte externa contigua al Invernadero, monitoreadas en forma manual y en un ambiente natural.

Material biológico.- Semillas de Tomate de la variedad Rio Grande, sembradas sobre un macetero de plástico, tanto al interior del Invernadero como en el área destinada para el Grupo de Control.

Lugar experimental.- Se acondicionó el Invernadero, con su respectivo sistema de control electrónico, en el costado izquierdo de la Escuela Profesional de Idiomas, en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, ubicada en el distrito de Morales. De igual manera, se habilitó el área de terreno destinado a actuar como Grupo de Control, al costado derecho del Invernadero.

Diseño experimental.- Se aplicó un diseño de post prueba únicamente y Grupo de Control, en el que la manipulación de la Variable Independiente (X) “la implementación de un Invernadero que controle la temperatura y la humedad relativa del suelo”, sólo alcanza dos niveles posibles: Presencia y ausencia. Los sujetos se asignan de manera aleatoria, de modo que, cuando concluya la manipulación, a ambos grupos se le aplica una medición sobre la variable dependiente, es decir, “la productividad del tomate”.

El diseño de la investigación tiene la forma siguiente:

| | | |
|-----|---|----|
| RG1 | X | 01 |
| RG2 | - | 02 |

2.5 Población y muestra

La población del presente trabajo de investigación es de 48 unidades, 24 experimentales y 24 del Grupo de Control; como es un número reducido esta misma cantidad se convierte en la Muestra a investigar.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Presentación de resultados

Resultados de control de temperatura.

El Sistema de Control de Temperatura, funcionó con algunos altibajos durante el proceso de experimentación, que abarca los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre del 2016, con la planta de Tomate variedad Río Grande sembrada desde el 16 de mayo del 2016, tal como se observa en las siguientes gráficas.

En la Figura 1 se observa que la temperatura en Sala (dentro del Invernadero) se mantuvo entre los 24 °C a 26 °C, mientras que en el ambiente externo se mantuvo en mínimos de 24 °C hasta máximos de 31 °C. Excepto los días 12, 22, 23 y 24 de mayo, en que se midieron niveles iguales a cero en ambos sensores. Es preciso señalar que estos mínimos se presentaron por problemas de conexión y medición, sin embargo, la temperatura dentro del Invernadero se mantuvo en 26 °C manipulando manualmente el Aire Acondicionado.

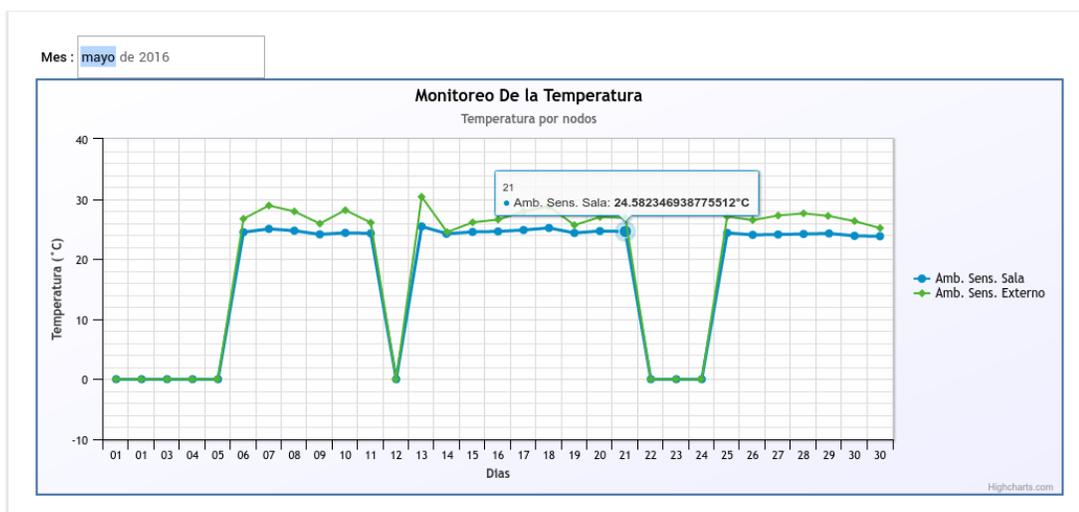


Figura 1.- Variación de Temperatura dentro y fuera del Invernadero (Mayo).

En la Figura 2 se observa que la temperatura en Sala (dentro del Invernadero) se mantuvo entre los 24 °C a 25 °C, mientras que en el ambiente externo se mantuvo en mínimos de 23 °C hasta máximos de 29 °C. Excepto el día 30 de junio. La temperatura dentro del Invernadero se mantuvo controlada en 26 °C.

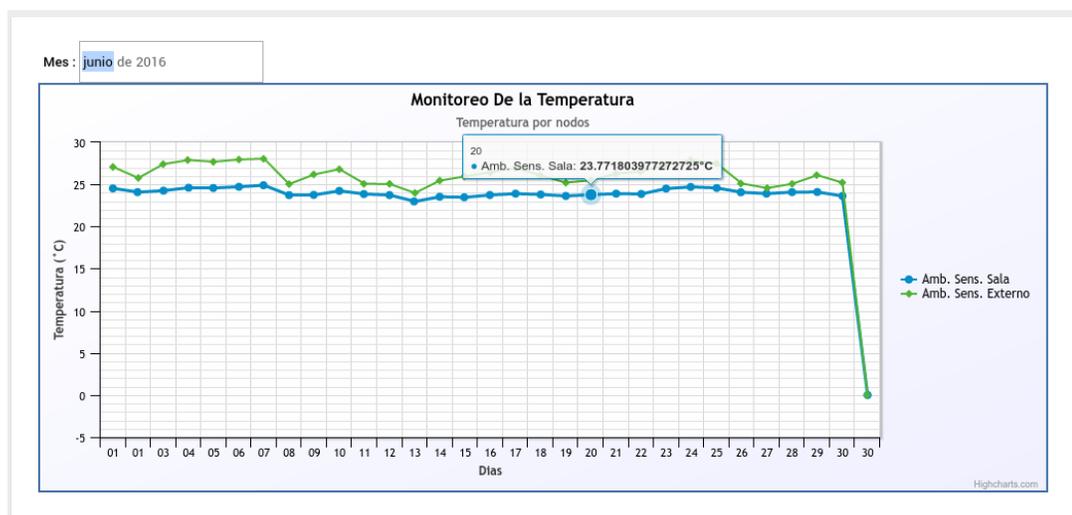


Figura 2.- Variación de temperatura dentro y fuera del Invernadero (Junio).

En la Figura 3 se observa que la temperatura en Sala (dentro del Invernadero) se mantuvo entre los 24 °C a 26 °C, mientras que en el ambiente externo se mantuvo en mínimos de 22 °C hasta máximos de 32 °C. Excepto los días 8 al 24 de julio, en que se midieron niveles iguales a cero en los sensores, producto de la sulfatación de sensores requiriendo limpieza. Sin embargo, la temperatura en el Invernadero se mantuvo en 26 °C.

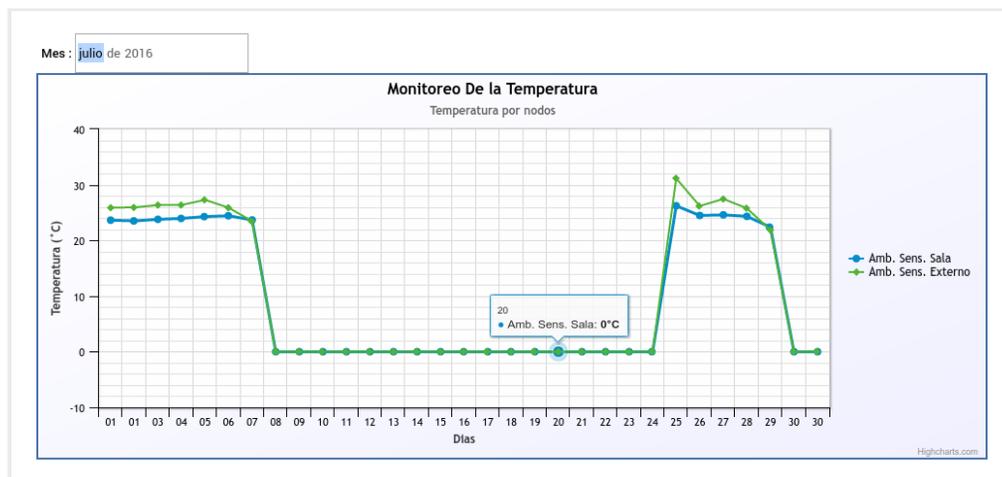


Figura 3.- Variación de la temperatura dentro y fuera del Invernadero (Julio).

En la Figura 4 se observa que la temperatura en Sala (dentro del Invernadero) se mantuvo entre los 24 °C a 27 °C, mientras que en el ambiente externo se mantuvo en mínimos de 23 °C hasta máximos de 31 °C. Excepto los días 1 al 4, y, 23 al 27 de agosto, en que se midieron niveles iguales a cero en ambos sensores, producto de la sulfatación de estos dispositivos requiriendo de limpieza. La temperatura en el Invernadero se mantuvo en 26 °C.

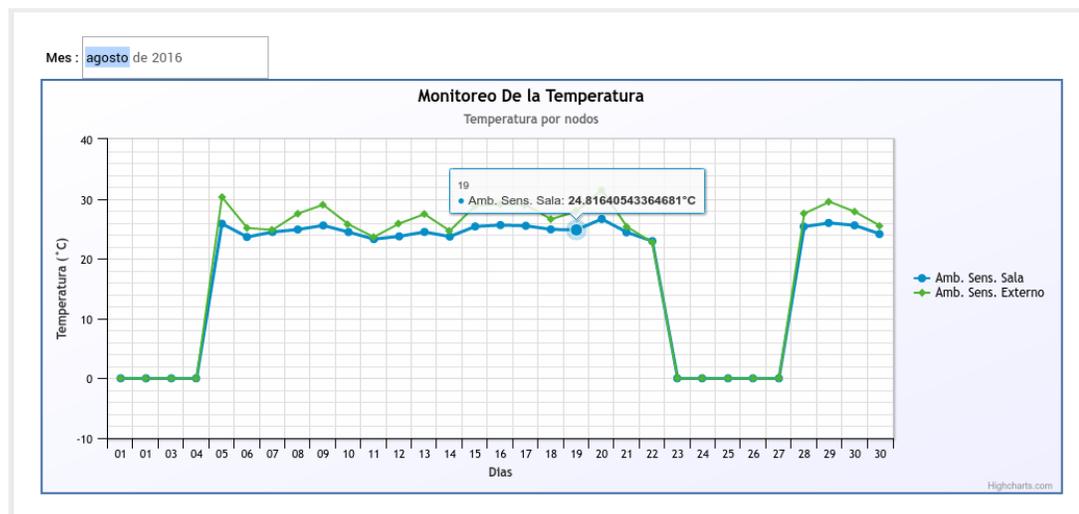


Figura 4.- Variación de temperatura dentro y fuera del Invernadero (Agosto).

En el mes de setiembre sólo se midió temperatura el día 3, presentando 29 °C al interior y 36 °C al exterior del Invernadero. Esto debido a los problemas de sulfatación de los sensores DHT22 que no resisten mayor tiempo. Ver Figura 5.

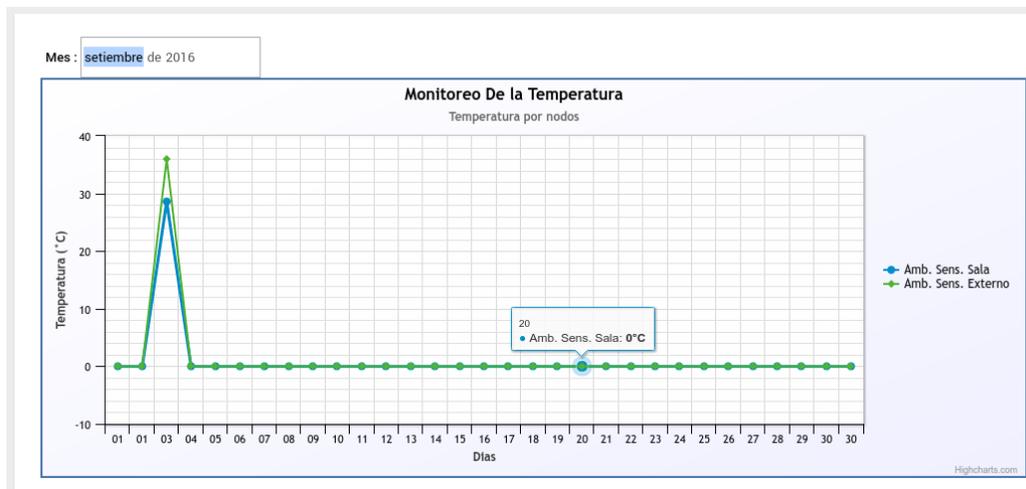


Figura 5.- Variación de temperatura dentro y fuera del Invernadero (Setiembre).

Resultados de control de la humedad del suelo.

El Sistema de Control de Humedad del Suelo, funcionó con algunos altibajos durante el proceso de experimentación, que abarca los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre del 2016, con la planta de Tomate variedad Río Grande sembrada desde el 16 de mayo del 2016.

Se utilizaron tres (3) sensores DHT22, dos dentro del Invernadero para medir la humedad del suelo y otro para medir la humedad del ambiente, asimismo, un sensor adicional para medir la humedad del suelo en la parte exterior al Invernadero.

Las mediciones respectivas se observa en las siguientes gráficas:

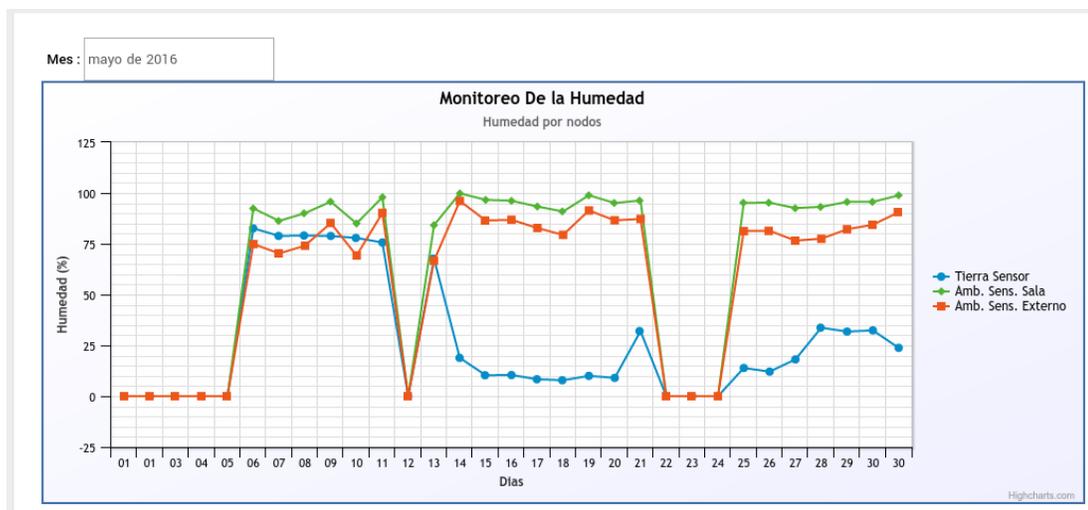


Figura 6.- Variación de la Humedad dentro y fuera del Invernadero (Mayo).

En la Figura 6 se observa que la Humedad del Suelo en Sala (dentro del Invernadero) varió entre valores máximos de 73 % y mínimos de 0 %, estos mínimos se presentaron del 13 al 30 de mayo. La humedad del ambiente dentro del invernadero varió entre 100 % y 77 %, menos los días 12, 22, 23 y 24 de mayo, asimismo, la humedad ambiente en el exterior varió de 90 % a 70 % menos los días 12, 22, 23 y 24.

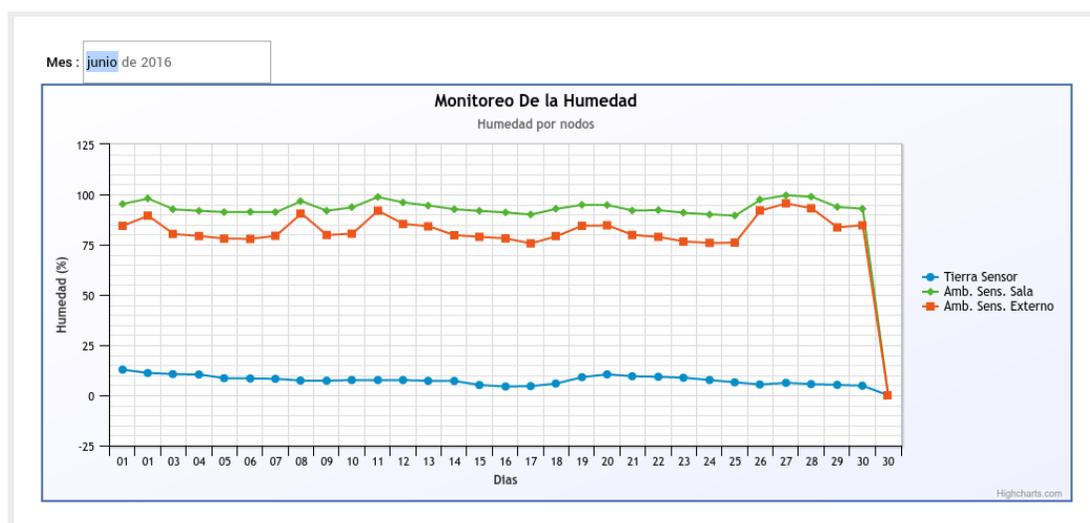


Figura 7.- Variación de la Humedad dentro y fuera del Invernadero (Junio).

En la Figura 7 se observa que la Humedad del Suelo en Sala (dentro del Invernadero) varió entre valores máximos de 15 % y mínimos de 0 %, valores no adecuados para efectos

del experimento. La humedad del ambiente dentro del invernadero vario entre 100 % y 90 %, y, la humedad del ambiente en el exterior vario de 90 % a 75 %.

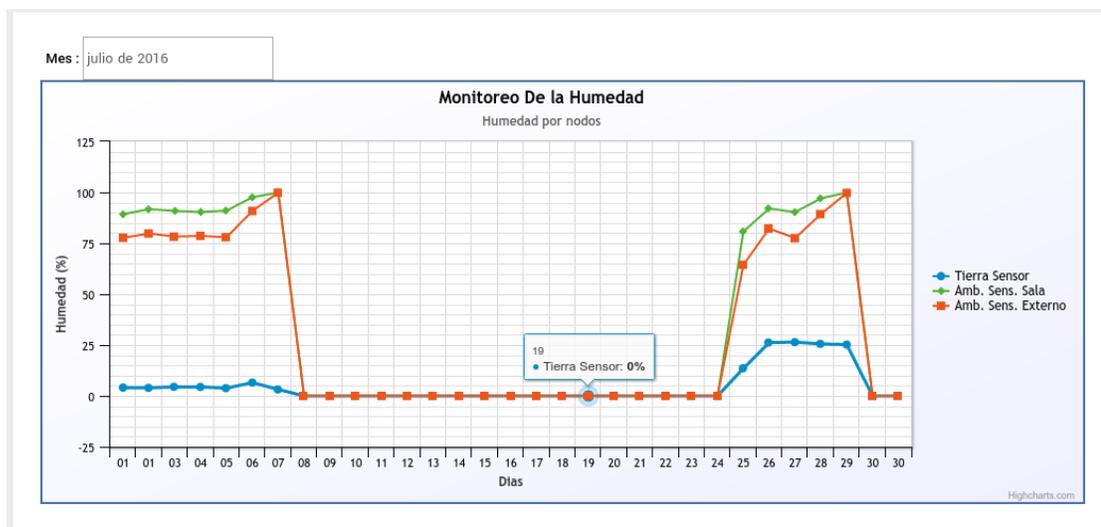


Figura 8.- Variación de la humedad dentro y fuera del Invernadero (Julio).

En la Figura 8 se observa que la Humedad del Suelo en Sala (dentro del Invernadero) varió a un promedio de 5 % excepto los días que van del 24 al 30 que subió a 25 %, valores insuficientes para el experimento. La humedad del ambiente dentro del invernadero vario entre 100 % y 80 % excepto del 8 al 24 de julio que fue 0 %, y, la humedad del ambiente en el exterior vario de 100 % a 75 %, pero en las fechas antes citadas también fue 0 %.

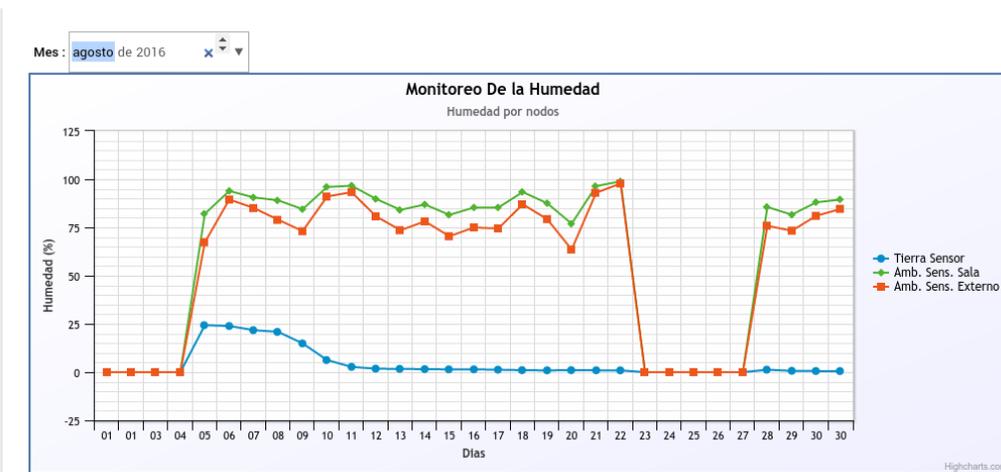


Figura 9.- Variación de la humedad dentro y fuera del Invernadero (Agosto).

En la Figura 9 se observa que la Humedad del Suelo en Sala (dentro del Invernadero) varió entre 25 % y 0 % en los días 4 al 12, en los demás días fue de 0 %. La humedad del ambiente dentro del invernadero vario entre 100 % y 80 % excepto del 23 al 27 de julio que fue 0 %, mientras la humedad del ambiente en el exterior vario de 100 % a 65 %, con excepción de los días 23 al 27 en que estuvieron en 0 %.

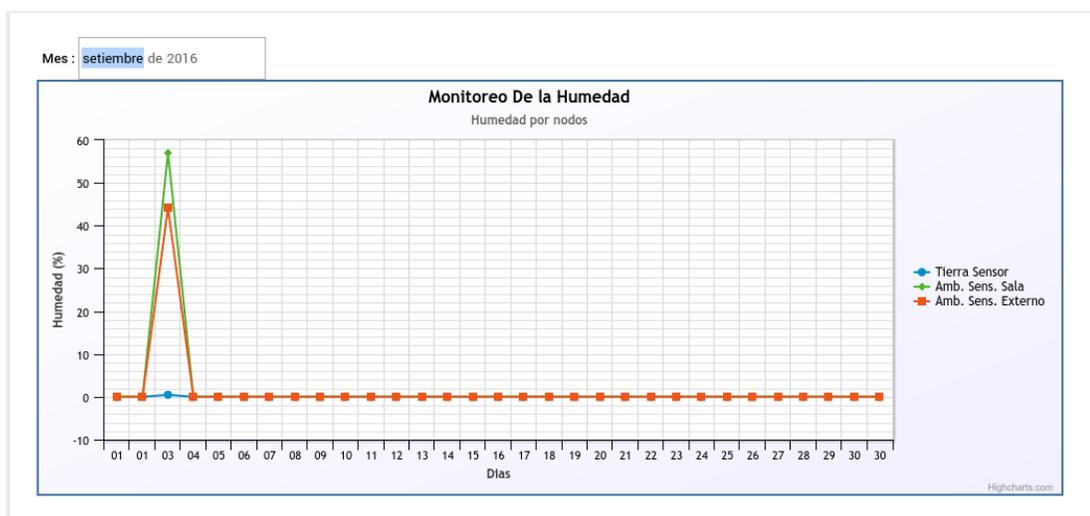


Figura 10.- Variación de la humedad dentro y fuera del invernadero (Set.).

En el mes de setiembre no se hicieron mediciones.

En suma, las mediciones de temperatura se mantuvieron en los rangos permisibles, mientras que los correspondientes a la humedad no estuvieron en el rango de 50% a 100% necesarios para el éxito del experimento. Sin embargo, ante las fallas en las mediciones se mantuvo los niveles de humedad del suelo manualmente, haciendo uso del sistema de riego por goteo implementado.

Germinación y desarrollo de las plantas de tomate río grande.

Las plantas de Tomate dentro del Invernadero, es decir, el Grupo Experimental, germinaron en las 24 macetas implementadas, sin embargo, los respectivos tallos carecían de consistencia. Esto se debió a la insuficiencia de luz solar, toda vez que el techo del Invernadero, implementada con calaminas, sólo tenía dos planchas de calamina transparente. La escases de luz solar impidió el proceso de fotosíntesis de las plantas de Tomate.

Las plantas de Tomate fuera del Invernadero, correspondiente al Grupo de Control o testigo, se desarrollaron con consistencia, logrando germinar, crecer y desarrollarse con buen nivel de consistencia; en todo caso su desarrollo estuvo más condicionado por la variable temperatura y el exceso de calor.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de la planta de Tomate, habiéndose controlado la temperatura ambiental y la humedad relativa del suelo, sin considerar la cantidad de luz solar, no ha brindado los resultados esperados, obteniendo plantas etioladas que no lograron desarrollarse durante los cuatro meses de monitoreo, ver Figura 11.



Figura 11.- Plantas de Tomate etioladas en ambiente controlado y con escasos de luz solar.

Sin embargo, en la parte externa, las unidades experimentales en calidad de testigo, tampoco tuvieron el éxito esperado (ver Figura 12 y Figura 13), las plantas de tomates debido a los efectos de la temperatura y humedad relativa del suelo expuestos al medio ambiente natural, sólo han logrado fructificar en 8 % con 3 frutos en promedio por planta.



Figura 12.- Grupo Experimental



Figura 13.- Grupo de Control

3.2 Discusión de resultados

Se implementó el Sistema de Control Automático del Invernadero, considerando como variables independientes la temperatura y humedad relativa del suelo, utilizando como plataforma el Arduino MEGA que hace uso del microprocesador ATMEGA2560. Según Santiago et al. (1998), en cuanto a los requerimientos de temperatura, se tiene que “entre los 20 y 30 °C, la cutícula se ablanda y el agua es más fluida, aumentado entonces la absorción de la solución nutritiva aplicada”, por lo que se fijó el nivel de temperatura en 26 °C al interior del Invernadero, pese a que el mismo autor sostiene que a 14 °C se tienen mejores resultados.

En cuanto a la medición de la humedad relativa del suelo, a través del sensor DHT22, se ha podido comprobar que la base metálica del sensor se sulfata antes de cumplir los dos meses, presentando problemas de medición; situación ante la cual se recurrió a medios mecánicos para mantener la humedad relativa en el rango de 50 % a 100 %.

Lo cierto es que se logró mantener en su nivel de operación a los sensores de temperatura y de humedad relativa del suelo. Siendo necesario investigar otros modelos de sensores que tengan mayor resistencia ante su exposición al agua que el utilizado.

La plataforma Arduino MEGA ha demostrado ser un dispositivo versátil para el control de la temperatura y la humedad relativa del suelo, no presentando mayores inconvenientes en cuanto al uso del código de programación ad hoc que posee; hecho que lo convierte en un dispositivo accesible para diversos tipos de aplicaciones y por diversos operadores.

Sin embargo, a pesar de haber mantenido las condiciones ambientales de temperatura y de humedad relativa del suelo, en sus niveles de operación, no se han obtenido los resultados esperados de productividad del tomate tanto con el Grupo Experimental (al interior del Invernadero), como con el Grupo de Control ubicado en el entorno. Es más, en el Invernadero, en condiciones de temperatura y humedad del suelo controladas, las plantas de Tomate solo llegaron a germinar pero no se obtuvieron frutos; hecho que contrasta con el medio externo, donde se aplicó el Grupo de Control, que en condiciones de secano mostro un 8 % de plantas con fruto, con tres (3) tomates en promedio por planta.

De acuerdo a la opinión de Serrano (2005), las condiciones de temperatura, humedad, luminosidad y concentración de CO₂ tiene efectos positivos en el desarrollo del tomate, pues permite la “Producción de elementos orgánicos por medio de la fotosíntesis, cuando en el ambiente hay luminosidad suficiente, con una concentración óptima de CO₂ a una temperatura adecuada”. En el presente estudio no se consideraron como variables a controlar la luminosidad y la concentración de CO₂, que a la larga resultaron ser determinantes para los fines del proyecto, particularmente la luminosidad para efectos de la fotosíntesis de la planta de Tomate.

Cuando se utilizó una cobertura de polietileno (plástico) sobre la estructura metálica del Invernadero, se presentó un exceso de luz solar, la misma que se manifestó en niveles de calor inapropiados para la germinación y desarrollo del Tomate, entre los 30 °C y 35 °C. Se confirma así la opinión de López (2008) cuando afirma que “el invernadero aprovecha el efecto producido por la radiación solar que, al atravesar un vidrio u otro material traslucido, calienta los objetos que hay detrás de éstos”, pero, en el caso de la provincia de San Martín,

que se caracteriza por un clima tropical, resulta contraproducente para el desarrollo de la planta de Tomate.

Por el contrario, cuando se cambió la cobertura por el Tecnopor en las partes laterales y calamina metálica en el techo, exceptuando las dos calaminas transparentes para el paso de la energía solar, los niveles de luz solar al interior del Invernadero fueron mínimos, tanto que no permitió el desarrollo de las plantas.

Por lo expuesto podríamos decir, en consonancia con Serrano (2005) que, el proceso de fotosíntesis y crecimiento orgánico de la planta de Tomate solo es posible cuando hay “luminosidad suficiente” y a una “temperatura adecuada”. En nuestro caso, no se cumplió con el requisito de luminosidad suficiente, lo que no permitió alcanzar los resultados esperados, pues solo se obtuvieron plantas etioladas que no dieron frutos.

A través del Grupo de Control se pudo observar que, a diferencia de las plantas del Grupo Experimental, estas si germinaron y desarrollaron medianamente, pero solo rindieron frutos en el 8% de las plantas, con tres (3) frutos en promedio por planta. Este hecho demuestra que en condiciones de secano y exposición permanente a la luz solar, la planta de tomate germina y se desarrolla, pero sin alcanzar los niveles de productividad esperados; por lo que no constituye una alternativa rentable para los agricultores de la provincia de San Martín.

Ante las evidencias empíricas, debemos discrepar con López (2008) cuando afirma que “se sabe por los resultados que un invernadero que cuenta con un sistema de control climático proporciona mejores resultados que un invernadero que no cuenta con uno”, agregando que eso solo es posible si además del control de la temperatura y la humedad relativa del suelo, hacemos lo propio con la luz solar y de ser posible con la concentración de CO₂.

CONCLUSIONES

1. Dado los resultados obtenidos y analizados en la discusión, debemos considerar como válida la Hipótesis Nula (H0), toda vez que la implementación de un Invernadero que controla la temperatura y la humedad relativa del suelo, en las condiciones establecidas en el estudio, no mejora la productividad del Tomate en la provincia de San Martín.
2. La presencia y/o ausencia de luz solar dentro del invernadero es determinante para la germinación, desarrollo y fructificación de las plantas de Tomate, variedad Río Grande, necesaria para que se exprese el fenómeno de la fotosíntesis, proceso que permite gracias a la energía luminosa transformar un substrato inorgánico en materia orgánica rica en energía.
3. La cobertura de polietileno del Invernadero no es adecuado para la germinación y desarrollo de la planta de Tomate, porque el exceso de luz genera demasiado calor, por encima de los 30°C, haciendo dificultoso controlar las variables de temperatura y humedad del suelo, propiciando un ambiente no propicio para el crecimiento de la planta. Además, el clima tropical deteriora las condiciones físicas del polietileno, cuarteándolo y haciéndolo vulnerable ante los embates del viento.
4. Por su parte, la cobertura de Tecnopor en las paredes del invernadero y de calamina en los techos, con dos planchas de plástico transparente, no fueron suficientes para el paso de la luz solar, en cantidad suficiente para la fotosíntesis de la planta, lo que produjo plantas de Tomate etioladas que no pudieron desarrollarse en condiciones óptimas.
5. Los sensores multipropósito DHT22, de temperatura y humedad relativa del suelo, presentan dificultades en la medición por efectos de la sulfatación de sus partes metálicas, particularmente en los sensores de humedad relativa del suelo, cuando se exponen a los efectos del agua en los dos primeros meses.
6. La plataforma Arduino MEGA y su microcontrolador ATMEGA2560, no presenta dificultades para la implantación del sistema de control de temperatura y humedad relativa del suelo del Invernadero, tanto en hardware como en software, constituyendo una herramienta valiosa para aplicaciones de este tipo.

RECOMENDACIONES

1. El sistema de control de un invernadero, que tiene por objetivo mejorar la productividad de la planta de Tomate, variedad Río Grande, debe considerar además de las variables temperatura ambiente y humedad relativa del suelo, la variable de la luminosidad solar, y, de ser posible la concentración de CO₂.
2. En la cobertura del invernadero, paredes y techo, debe utilizarse material que permita aislar la temperatura interna de la externa como el Tecnopor, así como, materiales que puedan soportar las inclemencias del clima tropical como el exceso de calor y la presencia de vientos fuertes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camacho, J. (2015). *Cultivo de tomate en Invernadero*. Recuperado en marzo del 2015, de <http://www.utea.edu.pe/portal/noticias/item/117-cultivo-de-tomate-en-invernadero.html>.
- DRASAM. (2015). *TN de tomate*. Recuperado el 15 de marzo del 2015, de <http://www.agrodrasam.gob.pe/sites/default/files/sma-VBP-Setiembre-2011.pdf>.
- DRASAM. *Plan Estratégico Sectorial Agrario 2009-2015*. Recuperado el 15 de marzo del 2015, de: http://www.regionsanmartin.gob.pe/administracion/documentos_transparen.
- EROSKI CONSUMER. (2015). *Hortalizas y Verduras: Guía práctica de Verduras*. Recuperado el 15 de marzo del 2015, de <http://verduras.consumer.es/tomate/introduccion>.
- Hernansaez, P., Pastor, J. *El Tomate, su cultivo y sus enfermedades*. Universidad de Murcia.
- López, L. (2008). *Diseño de un Sistema de Control de Temperatura ON/OFF para Aplicaciones en Invernadero Utilizando Energía Solar y Gas Natural*. Tesis sin publicar. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Marruffo, S (2015). *Siembra de Tomate Orgánico en Invernadero*. Recuperado el 15 de marzo del 2015, de <http://radiocoremarca.com/siembra-de-tomate-organico-en-invernadero/>.
- Márquez, C., Cano, P. (2005). *Producción Orgánica de Tomate Cherry bajo Invernadero*. Actas Portuguesas de Horticultura. No. 5 Volumen 1 – 219-224.
- Muñoz, j., Nuñez, D. (2012). *Automatización de Invernadero en Clima Templado*. Tesis sin publicar. Universidad San Buenaventura. Cali.
- Santiago, J., Mendoza, M., Borrego, F., (1998). *Evaluación de Tomate (Lycopersicon Esculentum, Mill) en Invernadero: Criterios fenológicos y fisiológicos*. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. México.
- Serrano, Z. (2005). *Construcción de Invernaderos*. Ediciones Mundi-Prensa, tercera edición. México.
- YARA PERU. (2015). *Principios Agronómicos en Tomate*. Recuperado de <https://www.yara.com.pe/nutricion-vegetal/tomate/principios-agronomicos-en-tomate/>.

ANEXOS

Anexo N° 01

Aspectos de diseño y construcción del invernadero.

En un primer momento se diseñó e implemento una estructura metálica de 8 metros de largo por 4 metros de ancho, con techo a dos aguas de 3.5 metros de altura en la parte central y 3.0 metros en los costados, cubierta por una cobertura de material plástico (polietileno) tanto en los costados como en el techo.



Figura 14.- Estructura del Invernadero con cobertura de Polietileno

Esta estructura generó al interior niveles de temperatura superiores a los de la parte externa, por encima de los 30 °C, a pesar del sistema de Aire Acondicionado instalado, los que resultaban inapropiados para la germinación y desarrollo de la planta de Tomate. La cobertura plástica permitía el ingreso indiscriminado de la luz solar, los que generaban calor al interior del Invernadero y como consecuencia exceso de temperatura.

La cobertura de plástico (polietileno), expuesta a las variaciones climáticas, al Sol y a las lluvias, con el tiempo se deterioró cambiando su composición y textura, debilitándose hasta colapsar ante los embates del viento.



Figura 15.- Cobertura de plástico deteriorada por el Clima

En un segundo momento se implementó una cobertura diferente para la misma estructura metálica del Invernadero, esta vez se revistió las paredes de la estructura con planchas de Tecnopor de una pulgada de espesor y, el techo, con calamina metálica la mayor parte, utilizando dos planchas de calamina plástica transparente en la parte central para dejar pasar los rayos del Sol. El techo de calamina nos permitió proteger el Invernadero de los efectos del viento y de las lluvias.



Figura 16.- Estructura metálica con cobertura de Tecnopor y calamina.

Esta segunda estructura nos permitió obtener y controlar al interior del Invernadero el nivel de temperatura en $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el nivel de humedad entre 50 % a 100 %, niveles permisibles para la investigación, creando el microclima necesario para el desarrollo de la planta de Tomate. Sin embargo, la cantidad de luz solar que ingresó al interior del Invernadero disminuyó dramáticamente.

Anexo N° 02

Diseño del sistema de control de temperatura y humedad.

El Diseño del Sistema de Control se realizó sobre la base de una plataforma electrónica de código abierto denominado Arduino, que trabaja utilizando Microcontroladores ATMEGA8 y/o ATMEGA168 de Atmel, al que se le añadió una tarjeta como interface para la comunicación de datos.

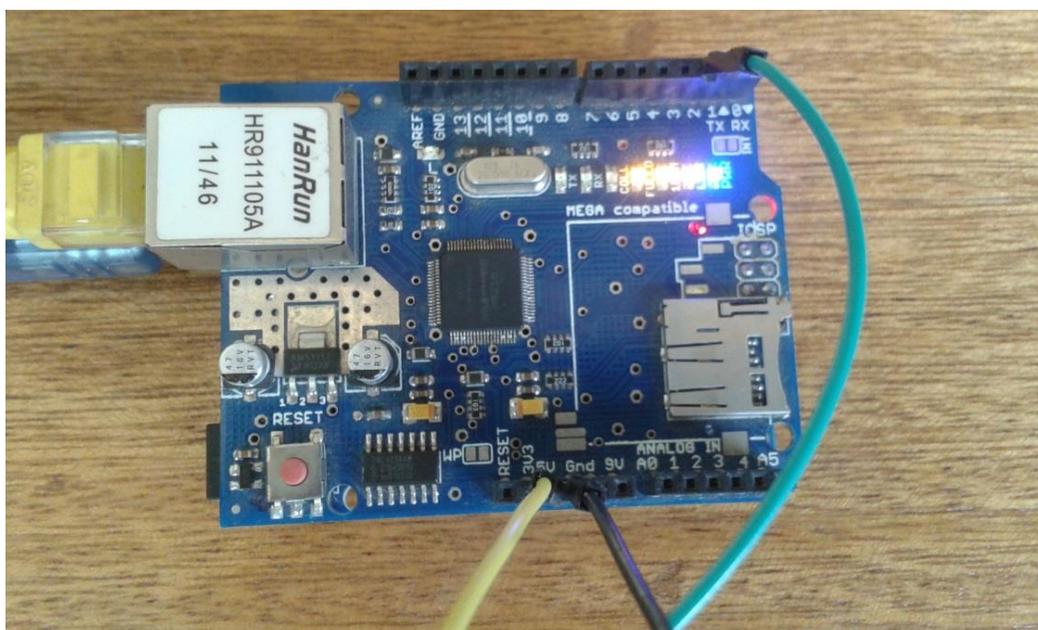


Figura 17.- Circuito electrónico de interface conectado al Arduino.

Adicionalmente se hizo uso de un Modem/Router WiFi ADSL, equipo que cuenta con dos antenas, dos puertos LAN y WiFi, para el envío inalámbrico de datos correspondientes a la temperatura y la humedad del suelo, medidos a través de sensores de temperatura y humedad, desde el invernadero hasta una Bases de Datos, ubicada en el tercer piso de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática (FISI); donde fueron almacenados, procesados y retransmitidos por Internet. De modo que se podía observar el detalle de la información en forma remota.

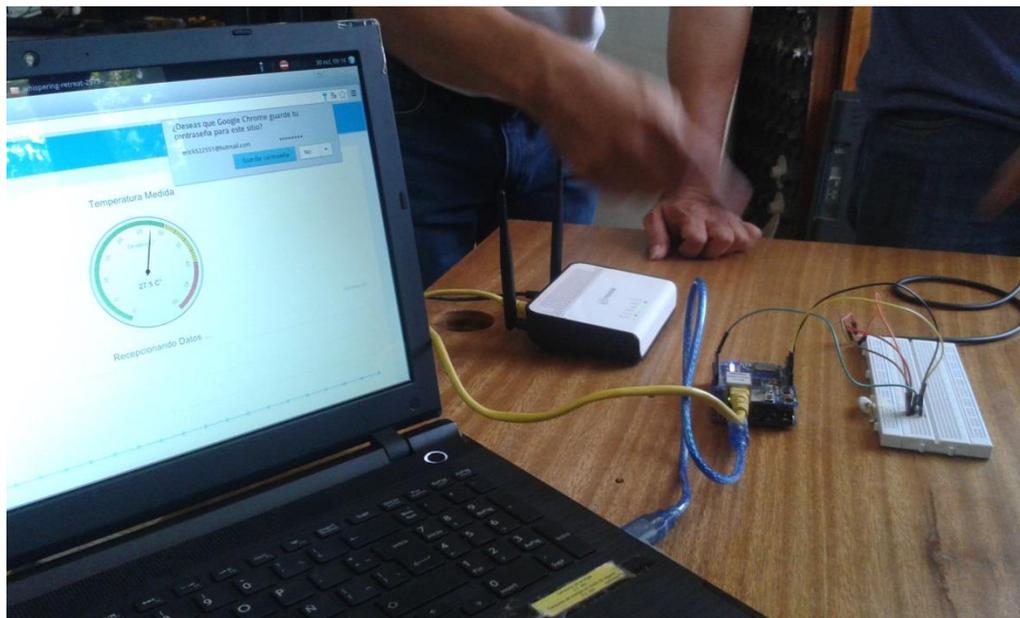


Figura 18.- Experimentación de comunicación Arduino y Base de Datos.

Para el control de temperatura y la humedad relativa del suelo se utilizaron sensores DHT22, que tienen la propiedad de medir las dos variables al mismo tiempo. Se utilizaron dos (2) sensores de temperatura, uno al interior del Invernadero y otro en la parte externa para efectos de comparación. Del mismo modo, se utilizaron cuatro (4) sensores para medir humedad, tres (3) en la parte interna y uno (1) en la parte externa.

Tabla 1

Características del sensor DHT22

| Modelo | DHT22 |
|----------------------------------|---------------------|
| Rango de medición de Temperatura | -40 °C hasta +80 °C |
| Precisión de Temperatura | +/- 0.5 °C |
| Rango de medición de Humedad | 0 % hasta 100 % HR |
| Precisión de Humedad | +/- 2 % HR |



Figura 19.- Instalación de sensores de humedad en maceteros.

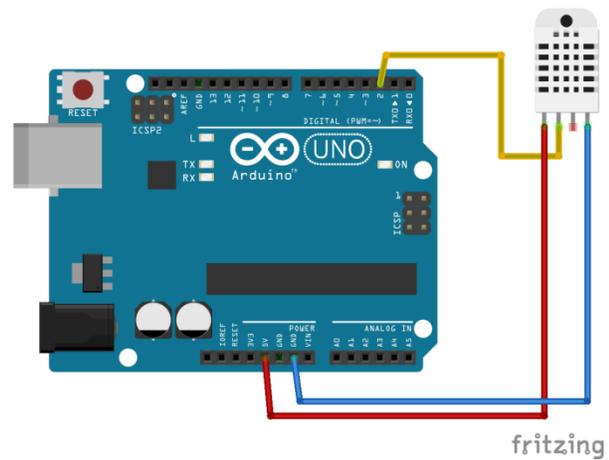


Figura 20.- Conexión Arduino – DHT22.

Anexo N° 03

Programa de control de la temperatura y humedad del suelo.

El código de programación del dispositivo Arduino MEGA se muestra a continuación:

```
#include "DHT.h"
#include <Ethernet.h>
#include <SPI.h>
#include "RestClient.h"

#define DHTPIN_2 2
#define DHTPIN_3 3
//#define DHTPIN_4 4
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht_2(DHTPIN_2, DHTTYPE);
DHT dht_3(DHTPIN_3, DHTTYPE);
//DHT dht_4(DHTPIN_4, DHTTYPE);
RestClient client = RestClient("192.168.1.33",3000);
const int Pin_8 = 8;
const int Pin_9 = 9;
int m=0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(Pin_8, OUTPUT);
  pinMode(Pin_9, OUTPUT);
  Serial.println("DHTxx test!");
  client.dhcp();
  dht_2.begin();
  dht_3.begin();
  // dht_4.begin();
}
String response;
String response_3;
String response_4;
String response_5;
```

```

void loop() {
  int s = analogRead(A0); //take a sample
  float p;
  p=(1023-s)*0.09775;
  Serial.print("sensor 1 = ");
  Serial.println(p);
  delay(500);
  int s1 = analogRead(A1); //take a sample
  float p1;
  p1=(1023-s1)*0.09775;
  Serial.print("sensor 2 = ");
  Serial.println(p1);
  delay(500);
  int s2 = analogRead(A2); //take a sample
  float p2;
  p2=(1023-s2)*0.09775;
  Serial.print("sensor 3 = ");
  Serial.println(p2);
  delay(500);
  int s3 = analogRead(A3); //take a sample
  float p3;
  p3=(1023-s3)*0.09775;
  Serial.print("sensor 4 = ");
  Serial.println(p3);
  Serial.println();
  delay(500);
  float pp=(p+p1+p2+p3)*0.25;
  if(m >= 2){
  char Param_5[150];
  String Parameters_5 = "";
  Parameters_5 = Parameters_5 + "reporte%5Bgrupo_id%5D=1";
  Parameters_5 = Parameters_5 + "&reporte%5Bhumedad%5D=" + String(pp);
  Parameters_5.toCharArray(Param_5, 150);
  response_5 = "";
  int statusCode_4 = client.post("/reportes.json",Param_5, &response_5);
  Serial.print("Status code from server: ");
  Serial.println(statusCode_4);
  Serial.print("Response body from server: ");
  Serial.println(response_5);
  }
  Serial.println(pp);
  Serial.println();
}

```

```

float h = dht_2.readHumidity();
float t = dht_2.readTemperature();
float f = dht_2.readTemperature(true);
if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
  Serial.println("Failed to read from DHT sensor numero 1!");
  //return;
}

if(m>=2){
char Param[150];
String Parameters = "";
Parameters = Parameters + "reporte%5Bgrupo_id%5D=2";
Parameters = Parameters + "&reporte%5Btemperatura%5D=" + String(t);
Parameters = Parameters + "&reporte%5Bhumedad%5D=" + String(h);
Parameters.toCharArray(Param, 150);
response = "";
int statusCode_1 = client.post("/reportes.json",Param, &response);
Serial.print("Status code from server: ");
Serial.println(statusCode_1);
Serial.print("Response body from server: ");
Serial.println(response);
}
Serial.print("Humedad_sensor_1: ");
Serial.print(h);
Serial.print(" %\t");
Serial.print("temperatura: ");
Serial.print(t);
Serial.print(" *C ");
Serial.println(" ");
delay(2000);

float h_3 = dht_3.readHumidity();
float t_3 = dht_3.readTemperature();
float f_3 = dht_3.readTemperature(true);
if (isnan(h_3) || isnan(t_3) || isnan(f_3)) {
  Serial.println("Failed to read from DHT sensor numero 2!");
  //return;
}
if(m>=2){
char Param_3[150];
String Parameters_3 = "";

```

```

Parameters_3 = Parameters_3 + "reporte%5Bgrupo_id%5D=3";
    Parameters_3 = Parameters_3 + "&reporte%5Btemperatura%5D=" + String(t_3);
    Parameters_3 = Parameters_3 + "&reporte%5Bhumedad%5D=" + String(h_3);
Parameters_3.toCharArray(Param_3, 150);
response_3 = "";
int statusCode_2 = client.post("/reportes.json",Param_3, &response_3);
Serial.print("Status code from server: ");
Serial.println(statusCode_2);
Serial.print("Response body from server: ");
Serial.println(response_3);
m=0;
}
m=m+1;
Serial.print("Humedad_sensor_2: ");
Serial.print(h_3);
Serial.print(" %\t");
Serial.print("Temperatura_sensor_2: ");
Serial.print(t_3);
Serial.print(" *C ");
Serial.println(" ");
delay(2000);
float tp = (t+t_3)*0.5;
int i;
if(i<=0){
    if(tp<=25){digitalWrite(Pin_9, HIGH); delay(250); digitalWrite (Pin_9, LOW);
i=1;
}}
if(i>=0){
if(tp>=28){digitalWrite(Pin_9, HIGH); delay(250); digitalWrite (Pin_9, LOW);
i=0;
}}
//else{digitalWrite(Pin_9, LOW);}
if(pp<=50){digitalWrite(Pin_8, HIGH);}
else{digitalWrite(Pin_8, LOW);}
delay(23000);
}

```

Anexo N° 04

Acondicionamiento del grupo experimental y grupo de control.

Como se indicó anteriormente, se sembraron semillas de Tomate, variedad Río Grande, en envases de plástico, para su germinación y desarrollo. Se ubicaron 24 envases en la parte interior, para el Grupo Experimental, organizados en 4 filas y 6 columnas, separadas por una distancia de medio metro unas de otras. De manera similar, se hizo lo propio para el Grupo de Control, en la parte externa contigua al Invernadero, manteniendo la misma organización y distribución.



Figura 21.- Grupo Experimental.



Figura 22.- Grupo de Control.

El sistema de riego para mantener la humedad del suelo dentro del Invernadero fue por goteo, haciendo uso de mangueras de riego agrícola de polietileno, con goteros autocompensados desmontables, uno para cada envase con su respectiva planta. Como actuador se hizo uso de una Válvula Hidráulica controlada por electricidad. Esto permitió mantener al suelo en el rango de 50 % a 100 % de Humedad Relativa. En la parte externa, el Grupo Testigo se mantuvo con agua de lluvia natural.

La temperatura ambiente dentro del Invernadero se mantuvo en 26 °C, adecuado para la germinación y desarrollo del Tomate, haciendo uso de un sistema de Aire Acondicionado de 18,000 BTU.



Figura 23.- Sistema de Aire Acondicionado programado en 26 °C.