PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE IBARRA

ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS Y AMBIENTALES

"ECAA"

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO GEOTÉRMICO EN CHACHIMBIRO – IMBABURA PARA SU UTILIZACIÓN EN INVERNADEROS AGRÍCOLAS MEDIANTE CÁLCULOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA."

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Gestión Sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales.

Sublínea: Desarrollo y sostenibilidad.

AUTOR: CARLOS ANDRÉS ORQUERA ZAMBRANO.

ASESOR: Ph.D. CÉSAR ALONSO ZULETA PADILLA

IBARRA, SEPTIEMBRE 2018

Ibarra, 05 de octubre del 2018

ASESOR

Ph. D. CÉSAR ALONSO ZULETA PADILLA

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f:) .....

Ph. D. CÉSAR ALONSO ZULETA PADILLA.

C.C.: 1001037546

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f): .....

Ph. D. César Alonso Zuleta Padilla

C.C.: 1001037546

(f): .....

Mgs Edmundo René Recalde Posso

C.C.: 1001774494

(f): .....

Mgs. Edwin Fernando del Pozo Villacís

C.C.: 1001756566

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Carlos Andrés Orquera Zambrano, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: "Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilizaciones de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia".

Ibarra, 05 de octubre del 2018

f): .....

Carlos Andrés Orquera Zambrano

C.C.: 100319752-0

AUTORÍA

Yo, Carlos Andrés Orquera Zambrano, portador de la cédula de ciudadanía N° 1003197520, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

f): .....

Carlos Andrés Orquera Zambrano

C.C.: 100319752-0

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: Carlos Andrés Orquera Zambrano, con CC: 1003197520, autor del trabajo de grado intitulado: Evaluación del potencial energético geotérmico en Chachimbiro – Imbabura para su utilización en invernaderos agrícolas mediante cálculos de eficiencia energética., previo a la obtención del título profesional de, Ingeniero en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 05 de octubre del 2018

(f.).....

Carlos Andrés Orquera Zambrano.

C.C: 100319752-0

DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE TITULACIÓN

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación del proyecto de Titulación: Evaluación del potencial energético geotérmico en Chachimbiro – Imbabura para su utilización en invernaderos agrícolas mediante cálculos de eficiencia energética, lo propuesto en el código de Etica de investigación y aprendizaje de la Pontificia Universidad Catolica del Ecuadoer, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 03 de septiembre del 2018.

Para constancia firma:

(f).....

Carlos Andrés Orquera Zambrano

C.C: 100319752-0

Carrera: Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo.

Ibarra, 05 de octubre del 2018

AGRADECIMIENTO

Por más que la vida se nos ponga cuesta arriba y tengamos mil tropezones en el camino con Fe en Dios y perseverancia todo esfuerzo y sacrificio tarde o temprano tiene su fruto, mismo fruto que hoy veo plasmado en este arduo y duro trabajo que al fin veo finalizado y cumplido. Por esto te agradezco Dios mío, por haberme dado las fuerzas para no decaer en los momentos difíciles y llenarme de amor y entendimiento del por qué las cosas se dan según tu voluntad.

Al culminar esta etapa de gran importancia en mi vida, deseo expresar mi agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra por haber sido el templo donde pude forjarme como un profesional junto a profesores y compañeros.

Al Ph. D. Cesar Zuleta mi tutor de tesis, por su dedicación, conocimientos prestados, pero sobre todo por su paciencia para sobrellevar este trabajo, mismo que estuvo lleno de muchos imprevistos y trabas pero que de una forma u otra las supimos superar, siempre estaré inmensamente agradecido porque fue un pilar fundamental para cumplir con esta investigación y poder alcanzar esta meta tan anhelada.

A mis lectores Mgs Edmundo Recalde y Mgs. Edwin del Pozo por su tiempo y consejos.

A los Sres. Byron y David Armas dueños y encargados del complejo turístico Termas de Chachimbiro Arco Iris, quienes sin dudar prestaron su completa ayuda y todas las facilidades necesarias para poder realizar este trabajo. Asimismo al Sr. Miguel Andrango.

A mis grandes amigos y hermanos que me ha ido presentando la vida, a mi familia Tubarão con los que comparto cada día el sacrificio de entrenar y disfrutar de lo que realmente nos apasiona. A todos y cada uno por alentarme de una forma u otra.

Finalmente agradecer a cada persona que sin dudar me brindo su ayuda, apoyo y compañía, formando parte de esencial en este proceso, cada una de esas personas tiene un lugar muy especial en mi corazón y con las cuales estaré eternamente gratificado.

Agradecido con la vida por hacerles formar parte de mí.

DEDICATORIA

Para lo más valioso e importante que tengo en la vida, por haberme formado como un buen ser humano, amigo y ahora profesional. Dedicarles especialmente cada uno de mis logros y ahora este que está lleno de tanto trabajo y sacrificio:

A mis padres, Carlos Orquera y Janeth Zambrano quienes han sido sin lugar a duda los mejores padres del mundo, la base y pilares de todos los logros que he cosechado y seguiré cosechando el resto de mi vida. No me alcanzara la existencia para agradecerles todo el esfuerzo y sacrificio que han hecho por mí, para que sea una persona de bien y llena de valores, a pesar de no haberles tenido juntos gran parte de mi vida, han sabido guiarme por buen camino y ser un ejemplo para mí, y aunque no se los diga muy seguido siempre estaré orgulloso de tenerles en mi vida y poder llamarlos papás.

A mis abuelitos, quienes a pesar de que la vida me los arrebato demasiado pronto y ahora no puedo compartir esta alegría junto a ellos, sé que desde el cielo me cuidan y bendicen como lo han hecho siempre, y que ahora se sienten orgullosos de este logro tan importante para mi vida.

Para toda mi familia, que siempre ha estado pendiente de mí y de este arduo proceso, en especial a mi tío Luis, con el cual he vivido varios momentos que para mí han sido y siempre serán especiales y quien ha sido siempre un claro ejemplo de perseverancia y esfuerzo, y al cual le guardo un inmenso cariño por haber sido siempre para mí como como un segundo padre.

Y para las personas que llegaron a formar parte de mí, con los cuales compartí varias etapas de mi vida desde que llegaron a formar parte de la misma, como una familia, por estar siempre al pendiente y los cuales siempre llevaran una parte muy especial de mi vida y corazón.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. RESUMEN. 19

2. ABSTRACT. 21

3. INTRODUCCIÓN. 23

3.1. Objetivo General 25
3.2. Objetivos Específicos 25
3.3. Hipótesis. 25

4. ESTADO DEL ARTE. 26

4.1. Generalidades sobre la Energía Geotérmica. 26
4.1.1. Origen de la Energía Geotérmica. 26
4.1.2. Fuentes de la Energía Geotérmica. 27
4.1.3. Definiciones: 27
4.1.4. Tipos de yacimientos: 27
4.2. Usos de la Energía Geotérmica para la agricultura en invernaderos. 27
4.3. Lugares del mundo donde se usa Energía Geotérmica para agricultura de invernaderos. 29
4.4. Elementos meteorológicos que se utilizaron para el análisis. 30
4.4.1. Temperatura. 30
4.4.2. Humedad Relativa. 30
4.4.3. Relación entre Temperatura y Humedad Relativa. 30
4.5. Proyectos similares y sus resultados en otras partes del mundo. 31
4.6. Otros usos para la Energía Geotérmica 34
4.7. Geotermia en Ecuador. 36
4.8. Líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia. 36
4.9. Determinación del calor específico y Entalpia. 37
4.9.1. Concepto de energía interna y entalpía 38
4.10. Correlación y Regresión. 39
4.11. Teoría estadística: Normalidad, Test de Shapiro – Wilk, prueba t-Student. 39
4.12. Clasificación de la Energía Geotérmica (EG) en función de la temperatura. 41
4.12.1. Recurso geotérmico a baja temperatura. 41
4.12.2. Recurso geotérmico a muy baja temperatura. 41
4.13. La calefacción de invernaderos. 41
4.14. Recomendaciones para la ubicación de un invernadero. 43
4.14.1. Radiación solar. 44
4.14.2. Agua. 44

4.14.3. Elevación 44
4.14.4. Microclima. 44
4.14.5. Plagas. 44
4.15. Para el Cultivo de Tomate de Árbol. 44
4.15.1. Factores ambientales y edáficos 45
4.15.2. Clima. 45
4.15.3. Altitud. 45
4.15.4. Temperatura 45
4.15.5. Heladas 46
4.15.6. Precipitación 46
4.15.7. Humedad relativa. 47
5. MATERIALES Y MÉTODOS. - 48
5.1. Materiales 48
5.2. Métodos 48
5.3. Instrumentos. 53
5.4. Procedimiento. 54
6. RESULTADOS. 55
7. CONCLUSIONES. 84
8. RECOMENDACIONES. 85
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 86
10. ANEXOS 91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la Energía Geotérmica. 35

Tabla 2. Las temperaturas críticas y óptimas del tomate. 46

Tabla 3. Resultados de las mediciones promedios de los diferentes parámetros medidos en las plantas de tomate de árbol *Solanum betaceum*. 68

Tabla 4. Ubicación e identificación de vertientes (cajas) exploradas por toda la zona de estudio Chachimbiro. 91

Tabla 5. Variación horaria de Temperatura en el Exterior e Interior del invernadero. .. 92

Tabla 6. Datos diarios de humedad relativa Externa e Interna del invernadero. 93

Tabla 7. Relación entre temperatura, humedad relativa y cada parámetro medido en plantas seleccionadas, altura tomada como ejemplo para esta tabla. 94

Tabla 8. Variación horaria de Temperatura en el Exterior e Interior del invernadero, de un día seleccionado al azar. 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resultados de la Ciudad de Nueva York 2008 para la producción total de tomate del 16 al 31 de julio. 31

Figura 2. Comparación entre las temperaturas del aire exterior y el interior en invernadero calentado. 32

Figura 3 Humedad relativa: invernadero de calefacción (WC) e invernadero controlado (WT). 33

Figura 4. Invernadero dentro y fuera de la temperatura durante algunos días de febrero de 2015. Ti, temperatura interior; Ta, temperatura exterior. 34

Figura 5. Resumen de las aplicaciones más comunes del recurso geotérmico en funcion de su temperatura. 43

Figura 6. Dimensiones del Invernadero. 50

Figura 7. Elaboración del invernadero. 51

Figura 8. Esquema y elaboracion del sistema de tuberia para calefaccionar el invernadero. 52

Figura 9. Forma final del invernadero y aplicación de tratamientos en plantas seleccionada. 52

Figura 10. Modelo de correlación existente entre Altura de Plantas ubicadas en el interior y exterior del invernadero en la octava semana de medición. 58

Figura 11. Modelo de correlación existente entre Diámetro de tallo de Plantas ubicadas en el interior y exterior del invernadero en la octava semana. 59

Figura 12. Modelo de correlación existente entre Longitud de Hojas ubicadas en el interior y exterior del invernadero en la octava semana. 60

Figura 13. Modelo de correlación existente entre Ancho de hojas ubicadas en el interior y exterior del invernadero en la octava semana. 61

Figura 14. Comparación de promedios máximos y mínimos de altura de las plantas en el exterior e interior del invernadero. 63

Figura 15. Comparación de promedios máximos y mínimos del diámetro de tallo de las plantas en el exterior e interior del invernadero. 63

Figura 16. Comparación de promedios máximos y mínimos de longitud de hojas en el exterior e interior del invernadero. 65

Figura 17. Comparación de promedios máximos y mínimos del ancho de hojas en el exterior e interior del invernadero. 66

Figura 18. Variación horaria de Temperatura en el Exterior e Interior del invernadero. 67

Figura 19. Altura media de las plantas con relación a la humedad relativa Externa del invernadero. 69

Figura 20. Diámetro medio de los tallos de las plantas con relación a la humedad relativa Externa del invernadero. 70

Figura 21. Longitud media de las hojas de las plantas con relación a la humedad relativa Externa del invernadero. 71

Figura 22. Ancho medio de las hojas de las plantas con relación a la humedad relativa Externa del invernadero. 72

Figura 23. Altura media de las plantas con relación a la humedad relativa Interna del invernadero. 73

Figura 24. Diámetro medio de los tallos con relación a la humedad relativa Interna del invernadero. 74

Figura 25. Longitud media de las hojas de las plantas con relación a la humedad relativa Interna del invernadero. 75

Figura 26. Ancho medio de las hojas de las plantas con relación a la humedad relativa Interna del invernadero. 76

Figura 27. Relación entre temperatura y humedad relativa en el exterior del invernadero con la altura de plantas. 77

Figura 28. Relación entre temperatura y humedad relativa en el exterior del invernadero con el diámetro de tallo de las plantas. 78

Figura 29. Relación entre temperatura y humedad relativa en el exterior del invernadero con la longitud de hojas. 79

Figura 30. Relación entre temperatura y humedad relativa en el exterior del invernadero con el ancho de hojas. 79

Figura 31. Relación entre temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero con la altura de plantas. 80

Figura 32. Relación entre temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero con el diámetro de tallo de las plantas. 81

Figura 33. Relación entre temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero con la longitud de hojas. 81

Figura 34. Relación entre temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero con el ancho de hojas. 82

Figura 35. Variación semanal de altura de planta tratamiento (exterior) Cama 1. 96

Figura 36. Variación semanal diámetro de tallo tratamiento (exterior) Cama 1. 97

Figura 37. Variación semanal Longitud hoja tratamiento (exterior) Cama 1. 98

Figura 38. Variación semanal ancho hoja tratamiento (exterior) Cama 1. 99

Figura 39. Variación semanal altura de plantas tratamiento (exterior) Cama 2. 100

Figura 40. Variación semanal diámetro tallo tratamiento (exterior) Cama 2. 101

Figura 41. Variación semanal largo hoja tratamiento (exterior) Cama 2. 102

Figura 42. Variación semanal ancho hoja tratamiento (exterior) Cama 2. 103

Figura 43. Variación semanal altura de plantas tratamiento (interior) Cama 1. 104

Figura 44. Variación semanal diámetro tallo tratamiento (interior) Cama 1. 105

Figura 45. Variación semanal longitud hoja tratamiento (interior) Cama 1. 106

Figura 46. Variación semanal ancho hoja tratamiento (interior) Cama 1. 107

Figura 47. Variación semanal altura de plantas tratamiento (interior) Cama 2. 108

Figura 48. Variación semanal diámetro tallo tratamiento (interior) Cama 2. 109

Figura 49. Variación semanal longitud hoja tratamiento (interior) Cama 2. 110

Figura 50. Variación semanal ancho hoja tratamiento (interior) Cama 2. 111

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Tablas resultantes de los objetivos específicos realizados. 91

ANEXO II. Gráficos de variación de crecimiento semanal para cada parámetro medido de las plantas tanto en el exterior como en el interior del invernadero..... 96

ANEXO III. Socialización de la investigación. 112

ANEXO IV. Encuesta de la socialización. 113

ANEXO V. Listado de asistentes a la socialización. 114

ANEXO VI Resultados de la socialización. 115

ANEXO VII. Evidencias fotográficas. 119

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Determinación de calor específico y entalpia. 37

Ecuación 2. Ecuación de Recta. 39

Ecuación 3. Área de un círculo 56

Ecuación 4. Volumen. 57

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Reconocimiento de fuentes de agua termal. 119

Fotografía 2: Armado de invernadero. 119

Fotografía 3: Sistema de tubería para circulación de agua termal. 120

Fotografía 4: Mediaciones para base de datos de los diferentes parámetros medidos. 120

Fotografía 5: Toma de datos con la Estación meteorológica Hyundai WS 2061 Garden. 120

Fotografía 6: Acampada en el lugar específico del invernadero. 121

1. RESUMEN.

En Chachimbiro - Imbabura, las aguas de origen volcánico sólo se utilizan con fines de turismo recreacional en complejos de piscinas termales, aún no se ha considerado la posibilidad de aprovecharlas con fines energéticos en la agricultura. En el presente estudio se pretende potencializar su uso en la calefacción de invernaderos, tomando en cuenta que la zona tiene valores de radiación solar bajos y alta nubosidad.

En el proyecto se trata de estudiar y aprovechar la eficacia en el uso de una energía que proviene del interior de la propia tierra: el potencial geotérmico. Su principal propósito es el de aumentar los rendimientos por medio del manejo de la temperatura y humedad que inciden en el desarrollo de los cultivos, gracias a esta energía limpia, renovable y respetuosa con el medio ambiente; lo que disminuiría la emisión del dióxido de carbono a un coste mínimo.

Los métodos utilizados fueron descriptivos, observacionales, comparativos, analíticos, estadísticos y bibliográficos con un enfoque cuantitativo considerando la variable de humedad relativa atmosférica y los parámetros de desarrollo de la planta en estudio, *Solanum betaceum* (tomate de árbol). La cual tiene mejor desarrollo en clima templado, mientras que, en climas fríos, el inicio de la primera cosecha se retarda, la temperatura ideal para su evolución depende de la altitud y cubre un rango de 13 a 24ºC, pero su óptimo es un promedio anual de 15 a 19ºC; mientras que en temperaturas inferiores a 12ºC ocasionan la caída de las flores o la fecundación es defectuosa o nula. Temperaturas sobre los 30ºC afectan la fructificación. Asimismo, la temperatura nocturna puede ser determinante, pues debe oscilar de 15 a 22°C.

En el proyecto se aplicaron dos tratamientos, en el primero, las plantas fueron ubicadas en el Interior del invernadero aprovechando el poder calorífico (calefacción) de la fuente termal que pasa por un sistema de tuberías construido para este efecto. El segundo tratamiento fue ubicado a cielo abierto Exterior del invernadero, donde las plantas se desarrollaron bajo las condiciones climáticas normales. Se hicieron comparaciones para establecer posibles diferencias en los parámetros del crecimiento de la planta: altura, diámetro de tallo, longitud y ancho de la hoja. Resultando ser el tratamiento geotérmico beneficioso para el desarrollo de las plantas, puesto que, en general cada uno de los parámetros medidos obtuvieron una mejora en su crecimiento, poniendo como ejemplo

la altura de las plantas que obtuvieron un resultado promedio de crecimiento de 33,61 cm en el interior, a diferencia del exterior del invernadero donde crecieron un promedio de 19,16 cm en los dos meses de toma de datos; estadísticamente hay una diferencia significativa, denotando así también que el tiempo para que las plantas alcancen su madurez se ve acortado, lo que en términos de producción sugiere un mayor ingreso y ahorro económico.

Se realizaron también análisis estadísticos para establecer correlaciones y estadísticas correspondientes con la ayuda del programa STATGRAPHICS Plus.

Palabras Clave: Temperatura**,** Humedad Relativa, Parámetros medidos, Invernadero, Calefacción, Energía Geotérmica, Entalpia.

2. ABSTRACT.

In Chachimbiro - Imbabura, actually, waters of volcanic origin are only used for recreational tourism in thermal pool complexes, the possibility of using them for energy purposes in agriculture has not yet been considered. In the present investigation, it is intended to potentiate its use in the heating of greenhouses, taking into account that the area has low solar radiation values and high cloudiness.

The project is about studying and taking advantage of the efficiency in the use of an energy that comes from within the earth itself: the geothermal potential. Its main purpose is to increase yields by managing the temperature and humidity that affect the development of crops, thanks to this clean, renewable and environmentally friendly energy; which would reduce the emission of carbon dioxide at a minimum cost.

The used methods were descriptive, observational, comparative, analytical, statistical and bibliographic with a quantitative approach considering the atmospheric relative humidity variable and the development parameters of the plant under study, Solanum betaceum (tree tomato). This plant develops well in temperate climate, while, in cold climates, the start of the first harvest is delayed, the ideal temperature for its evolution depends on the altitude and covers a range of 13 to 24ºC, but its optimum is an average annual from 15 to 19ºC; while in temperatures lower than 12ºC they cause the fall of the flowers or the fertilization is defective or null. Temperatures above 30ºC affect fructification. Also, the night temperature can be decisive, since it must oscillate from 15 to 22 ° C.

In the project two treatments were applied, in the first, the plants were located in the interior of the greenhouse taking advantage of the calorific power (heating) of the thermal source that passes through a system of pipes built for this purpose. The second treatment was located in the open sky outside the greenhouse, where the plants developed under normal climatic conditions. Comparisons were made to establish possible differences in plant growth parameters: height, stem diameter, leaf length and width. It turned out to be the geothermal treatment beneficial for the development of the plants, since, in general, each of the measured parameters obtained an improvement in their growth, As the example of the height of the plants that obtained a result of growth of 33.61 cm in the interior, a difference of the exterior of the greenhouse where they grew an average of 19.16 cm in the two months of data collection; statistically there is a significant difference,

also denoting that the time for the plants to reach maturity is shortened, which in terms of production, it suggests higher income and economic savings.

Statistical analyzes were performed to establish correlations and corresponding statistics with the help of the STATGRAPHICS Plus program.

Key Words: Temperature, Relative Humidity, Measured Parameters, Greenhouse, Heating, Geothermal Energy, Entalpia.

3. INTRODUCCIÓN.

Las personas en el mundo requieren del uso de energía para cualquier actividad que desarrollen, por ejemplo, en la industria y la agricultura. Todos los procesos que brindan los lujos y comodidades de la vida cotidiana, demandan un gasto energético. Este proceso industrial puede desarrollarse mediante el uso de diferentes fuentes renovables y no renovables. Las primeras se reemplazan con el tiempo y por lo tanto no desaparecen fácilmente ya que se encuentran de forma ilimitada, como es el caso del sol, el viento, etc. Sin embargo, las fuentes de energía no renovable están amenazadas y pueden desaparecer si su uso es alto, porque su velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración, tenemos como ejemplo, el uso de combustibles fósiles (Lenntech, 2017), como se cita en (McKinney y Schoch, 2003; Miller, 1999).

Uno de los mayores problemas al producir o generar energía mediante combustibles fósiles son los impactos hacia el medio ambiente, la utilización de éstos conlleva emisiones que son tóxicas y perjudiciales, su costo es mayor y se produce un agotamiento de las reservas a corto y mediano plazo ya que los combustibles fósiles no se regeneran fácilmente.

En Chachimbiro, provincia de Imbabura, lugar donde se desarrolló la investigación, las aguas de origen volcánico sólo se utilizan con fines de turismo recreacional en complejos de piscinas termales. No se ha considerado hasta ahora la posibilidad de aprovecharlas con fines energéticos, tales como en la industria y la agricultura. En este estudio se pretende potencializar su uso en la agricultura de invernaderos, remediando las necesidades de calefacción interna debido a que la zona donde se implementó el proyecto tiene valores de radiación solar bajos, debido a que se encuentra ubicada a 2755m.s.n.m, y muestra altos valores de nubosidad, lo que desfavorece a la mayoría de cultivos agrícolas de importancia comercial.

La mayoría de los recursos naturales del planeta no son utilizados de una manera sustentable, además, las fuentes de contaminación se han multiplicado en los últimos años, es por eso que debemos buscar otros medios de energía como los renovables y aprovechar que son menos contaminantes que los de origen fósil.

En el proyecto se intenta aprovechar y estudiar la eficacia en el uso de una energía renovable y limpia que proviene del interior de la propia tierra, el denominado

potencial geotérmico, para la calefacción de invernaderos. Su principal propósito es mejorar las condiciones de cultivo a través de la regulación de la temperatura y humedad y así aumentar los rendimientos de los cultivos, disminuyendo al mismo tiempo la emisión del dióxido de carbono (Geotérmica, 2011).

Melguizo (2014) dice que a través de la utilización de la energía geotérmica se busca, no solo suministrar a las plantas las condiciones más propicias para su desarrollo durante toda su etapa de evolución, sino además reducir los costes energéticos al máximo y lo que es más importante, reducir al máximo la contaminación atmosférica. En Ecuador no se dan las 4 estaciones climáticas bien marcadas, sin embargo, existen épocas o meses en los que las lluvias son intensas, por ende, la temperatura baja y las heladas son menos tolerables para las plantas.

La energía geotérmica reducirá la dependencia energética del petróleo, además de que los residuos se reducirían al mínimo y ocasionarían un menor impacto ambiental. Además, este sistema es de gran ahorro, tanto económico como energético y supone una ausencia casi total de ruidos exteriores. También hay que tener en cuenta que es una energía renovable y no se encuentra sujeta a los precios de mercado, como en el caso de los combustibles fósiles.

Según datos de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad del Ecuador ARCONEL (2015), se trata de reemplazar el consumo de combustible fósiles por un 51,78% en la producción de energía renovable, lo cual representa 13.638,89 gigavatios hora (GWh) distribuidos en beneficio de la sociedad ecuatoriana. El propósito es alcanzar el 93% de energía limpia y renovable, aprovechando el potencial de los recursos naturales como los hídricos, solares, eólicos, y desechando de manera gradual la producción de energía contaminante; permitiendo además un incremento en la capacidad instalada de generación a 6.009,83 megavatios (MW). En concordancia con los datos elaborados por la ARCONEL y presentados en el Taller “Fortalecimiento de las estadísticas básicas como apoyo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible”, el Ecuador, hasta el 2015 supera el 97% de cobertura de suministro de servicio de energía eléctrica.

Como se puede ver, incluso en los análisis de ARCONEL, no se toma en cuenta la energía geotérmica para incluir en el programa de desarrollo. Es por eso altamente

justificable la introducción de un tipo de investigación como la presente, que plantea el aprovechamiento del potencial geotérmico de las aguas termales de Chachimbiro, a través de un sistema de calefacción para invernaderos y así mejorar las condiciones del desarrollo de las plantas, incentivando de esta manera un tipo de energía que no se ha tomado en cuenta para aplicarla en beneficio de la sociedad.

3.1. Objetivo General

Evaluación del potencial energético geotérmico en Chachimbiro Imbabura para su utilización en invernaderos agrícolas mediante cálculos de eficiencia energética.

3.2. Objetivos Específicos

1. Identificar vertientes de aguas termales con capacidad en volumen y poder calorífico óptimo con el fin de su aprovechamiento en la agricultura.
2. Determinar la entalpía de los fluidos extraídos de las cajas localizadas en la zona de producción para la realización de los cálculos energéticos dirigidos hacia el diseño de un invernadero.
3. Desarrollar un modelo basado en la eficiencia energética aplicado a un invernadero.
4. Implementar el tratamiento geotérmico en un invernadero para así comparar con los resultados obtenidos en el sistema a cielo abierto y nuestro tratamiento geotérmico.
5. Socializar los resultados obtenidos con productores agrícolas de la zona de influencia del complejo turístico termas de Chachimbiro Arco Iris.

3.3. Hipótesis.

El desarrollo y crecimiento de las plantas ubicadas en el inerior es mayor que el de las plantas ubicadas en el exterior del invernadero.

H0: El tratamiento uno (interior) es igual que el tratamiento dos (exterior) del invernadero.

H1: El tratamiento uno (interior) es diferente que el tratamiento dos (exterior) del invernadero.

4. ESTADO DEL ARTE.

4.1. Generalidades sobre la Energía Geotérmica.

Ceratti (2016) nos dice que esta energía llama la atención, debido a que puede generar electricidad con un menor impacto ambiental y a un menor costo que el requerido por los combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón. Y por ser una fuente renovable, ayuda a mejorar la seguridad del suministro eléctrico. Según ESMAP (s.f) en su estudio "Análisis Comparativo de Estrategias para Mitigar los Riesgos Asociados con los Recursos Geotérmicos de un fondo global de asistencia en proyectos energéticos administrado por el Banco Mundial" afrontar el uso de esta energía alternativa es relevante puesto que la mayoría de las áreas adecuadas para el desarrollo geotérmico son campos vírgenes que necesitan ser desarrollados desde el inicio o también denominados Green Fields.

El informe explica que el potencial global de exploración es de entre 70 y 80 GW. Sin embargo, después de más de 100 años, sólo el 15% de las reservas geotérmicas conocidas en todo el mundo serán explotadas para la producción de electricidad, y generan apenas 12GW.

Según Erenovable (2016), la empresa eslovaca Arllen Development ha instalado la primera central geotérmica de España. La entidad ya ha dado sus primeros pasos para levantar las instalaciones de alta temperatura. Arllen empleará el calor procedente de un pozo seco y lo transformará en energía eléctrica, enviada a la red de distribución convencional.

4.1.1. Origen de la Energía Geotérmica.

Para Erenovable (2016) la mayoría de las energías renovables tienen su origen en el Sol, y la geotérmica escapa a la norma, ya que tiene su origen en las diferencias de temperatura que existen entre el interior de la Tierra y la superficie, a la que se denomina Gradiente Térmico. Normalmente, existe un aumento de 2 a 4 ºC de temperatura por cada 100 metros si descendemos al interior de la Tierra.

La energía geotérmica a baja temperatura (50 a 100°C) se utiliza principalmente para calefacción, a través de redes de calor, y de manera más marginal para la calefacción de invernaderos o la acuicultura.

4.1.2. Fuentes de la Energía Geotérmica.

La energía geotérmica, es un tipo de energía renovable que se obtiene mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El interior de la tierra está caliente y ese calor se va incrementando a medida que se va profundizando. A gran profundidad encontramos capas freáticas en las que el agua debido a su gran temperatura, se calienta, ascendiendo en forma de vapor de agua, hasta alcanzar la superficie manifestándose como géiseres o fuentes termales (Marimar, 2016).

4.1.3. Definiciones:

- Gradiente geotérmico: Una proporción en la que, a cierta distancia desde la superficie a nivel del mar, hacia el interior, se aumenta 1ºC.

- Calor radiogénico: Relativo a la energía interna de la materia, generando calor por el decaimiento de distintos isótopos.

- Yacimientos geotérmicos: Son puntos en el mapa donde encontramos una mayor temperatura, por cuestiones absolutamente naturales. Pueden ser zonas de grietas o roturas en las placas tectónicas, o zonas con actividad que causan terremotos, erupciones.

4.1.4. Tipos de yacimientos:

- Yacimientos de alta temperatura: existe un foco de calor, donde el fluido se almacena a unos 100ºC. El foco está rodeado de roca permeable, que a su vez está rodeada por una capa de rocas que presenta grietas.

- Yacimientos de baja temperatura: su temperatura se encuentra entre 60 - 100ºC.

- Yacimientos de muy baja temperatura: por encima de 15ºC.

- Yacimientos de roca caliente: son rocas que se encuentran entre 5 y 8 kilómetros bajo tierra (Erenovable, 2016).

4.2. Usos de la Energía Geotérmica para la agricultura en invernaderos.

Según Melguizo (2014), se busca mediante la utilización de la energía geotérmica, no sólo proporcionar a las plantas las mejores condiciones ambientales y de desarrollo

durante toda su etapa de evolución, sino además reducir los costes energéticos al máximo y lo que es más importante, reducir al máximo la contaminación atmosférica.

Los invernaderos de uso agrícola tienen unas necesidades energéticas para las que se necesitarían toneladas de combustible por hectárea en los meses menos cálidos. El uso de combustibles fósiles se reduciría a 0 por el uso del calor geotérmico y el gas natural que se produce a ciertas profundidades.

FAO (2015) destaca que, en algunas economías en desarrollo, hasta la mitad de todos los alimentos producidos se pierde en la etapa post-cosecha, lo que se debe en parte a la falta de energía asequible para el procesado. Carlos da Silva, economista especializado en agronegocios en la División de Infraestructuras Rurales y Agroindustrias de la FAO afirma que la energía geotérmica "es una fuente de energía renovable, limpia y de bajo costo, una vez realizada la inversión inicial para aprovecharla", además también dice que "Con el uso de una fuente de energía limpia, no sólo se hace frente a la cuestión de los costes sino también a los impactos ambientales de la producción y procesamiento de alimentos".

EGEC (s.f), señala que el sector agrícola es uno de los grandes consumidores de energía y a la par, es uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero, por tanto, necesita ser más sostenible, competitivo para garantizar la seguridad alimentaria. Esto implica, unos desafíos importantes a la vez que crea la necesidad urgente de encontrar una fuente de energía estable, de bajo costo, basado en energías renovables locales para poder reducir su impacto climático.

FAO (2015) continua en su artículo haciendo énfasis en que la investigación sugiere que el uso de la calefacción geotérmica para invernaderos disminuye las infecciones de hongos y reduce los costos de combustible hasta en un 80%, lo que es de gran importancia ya que denota un ahorro importante para los presupuestos de explotación. Mientras que el petróleo y el gas pueden resultar costosos y escasear en algunas partes del mundo, los cerca de 42 millones de megavatios (MW) de potencia que se calcula irradian desde el núcleo terrestre a 5 000 grados Celsius, no se agotarán en miles de millones de años. "La energía geotérmica para la agricultura puede aprovecharse incluso en pequeña escala y contribuir significativamente a la generación de ingresos, la creación de empleo y la mejora de la seguridad alimentaria y nutricional en los países en desarrollo", añade Divine

Njie, co-editor del informe y Director Adjunto de la División de Infraestructuras Rurales y Agroindustrias de la FAO.

4.3. Lugares del mundo donde se usa Energía Geotérmica para agricultura de invernaderos.

Ambientum (2011) en su portal destaca la labor llevada a cabo por la Empresa Energía Geotérmica, con sede en Valencia, que está desarrollando el proyecto de investigación de climatización de invernaderos en la Comunidad Valenciana. Se pretende dar a cada planta, semilla, esqueje o flor sus temperaturas y ventilación ideales de crecimiento a un coste mínimo, utilizando la energía geotérmica, que es limpia, respetuosa con el medio ambiente e inagotable. Su principal fin es el de aumentar los rendimientos de los cultivos, disminuyendo al mismo tiempo la emisión del dióxido de carbono.

FIA (2013) nos habla del primer invernadero hortícola piloto, climatizado con energía geotérmica de baja temperatura, que permitirá mejorar los rendimientos productivos, disminuir las perdidas productivas debido a bajas temperaturas, a un bajo costo energético y económico, se puso en funcionamiento en la comuna de Lampa – Chile. A nivel nacional, los invernaderos no son climatizados en la actualidad, y los muy pocos de alta tecnología que existen pertenecientes a grandes empresas, utilizan para ello combustibles fósiles.

Álvarez (2014) nos da algunos ejemplos de países y lugares en donde se ha aplicado energía geotérmica en invernaderos. Dos invernaderos en el Real Jardín Botánico de Madrid aprovechan la energía geotérmica, en ellos se desarrollan plantas tropicales moderando los extremos climáticos de Madrid.

Por otra parte, el invernadero más grande del mundo (50 hectáreas) en Gran Bretaña se autoabastece energéticamente con fuentes geotérmicas.

Islandia se las arregla para producir tomates, páprika y pepinos todo el año, aprovechando localmente la energía geotérmica, aunque la temporada de cultivo es corta.

De acuerdo a Erenovable (2016), la energía geotérmica puede relanzar la riqueza de la agricultura en muchos países. Esto supondría un gran avance en aquellos lugares que rodean el denominado “Anillo de Fuego del Pacífico”, como México, Indonesia, Colombia o Ecuador.

Según Prol-Ledesma (s.f.) el calor geotérmico para calentar invernaderos es utilizado en un gran número de países: Francia, Hungría, Islandia, Italia, Japón, Nueva Zelanda, Rumania, Estados Unidos, la Unión Soviética, India y algunos otros. Por ejemplo, en Islandia se cultivan unas 1.000 toneladas de vegetales en un área de 11 hectáreas utilizando fluidos geotérmicos, con lo que ese país se ahorra al año cerca de 20.000 toneladas métricas de petróleo, que gastaría si los invernaderos utilizaran este combustible.

En 2015, treinta y un países usaban energía geotérmica para calentar invernaderos, y Turquía, Rusia, Hungría, China y los Países Bajos eran líderes mundiales. Se estima que 1,333 hectáreas de invernaderos se calientan geotérmicamente en la actualidad, un aumento del 16% desde 2010.

4.4. Elementos meteorológicos que se utilizaron para el análisis.

4.4.1. Temperatura.

La temperatura es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente. Dicha magnitud está vinculada a la noción de frío (menor temperatura) y caliente (mayor temperatura). (Gardey, 2010)

4.4.2. Humedad Relativa.

Es la relación entre la humedad absoluta y el vapor de saturación por lo que normalmente se expresa en %. La humedad relativa depende de la humedad absoluta y del vapor de saturación. Esto quiere decir que la humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que hay en un ambiente en relación a la cantidad de vapor de agua que podría contener como máximo ese aire a una determinada temperatura. Cuando el aire no puede absorber más vapor de agua, este se condensa y se convierte en líquido. (Salom, 2017)

4.4.3. Relación entre Temperatura y Humedad Relativa.

La relación de proporcionalidad inversa de ambos parámetros: cada vez que la temperatura sube (gráfica inferior) la humedad relativa baja y viceversa. Sabiendo que en un ambiente en el que no hay aporte exterior de humedad y que el punto de rocío (HR =100%) es constante. A mayor temperatura del aire, se contiene mayor cantidad de vapor de agua. (Bijloo, 2014).

4.5. Proyectos similares y sus resultados en otras partes del mundo.

Dell y otros (2011) comentan que en la Universidad Agrícola de Islandia en Hveragerdi desde 2007 se ha puesto en marcha un jardín experimental que consta de 50 m^2 y el jardín de control de 25 m^2 y en el suelo a profundidades de 10 y 20 cm sobre un sistema de tuberías que es similar a una acera calentada. Un pozo geotérmico suministra vapor y condensado de vapor a temperaturas que oscilan de 100 ° a 125 °C por tubería por la que circula una mezcla de agua y anticongelante automotriz continuamente durante todo el año en un circuito cerrado a temperaturas entre 45-65 ° C. Un sistema similar en la ciudad de Nueva York se incorpora a los invernaderos. Ambos sistemas de lecho caliente tienen estaciones de crecimiento extendidas y un aumento estacional promedio en el crecimiento de la planta del 20%. En Islandia, los cultivares fuera de rango crecen en las camas con calefacción y mueren o crecen mal en la parcela de control. Algunas áreas con pasto caliente son verdes durante todo el invierno. En la ciudad de Nueva York se han documentado cosechas tempranas y mejoradas de tomates y flores de invierno. En ambas parcelas, los patrones de crecimiento de malezas produjeron resultados similares. Estos al ser preliminares, requieren de mayor estudio. La temporada de crecimiento se incrementó tanto en Islandia como en Nueva York en un mínimo de cuatro semanas.

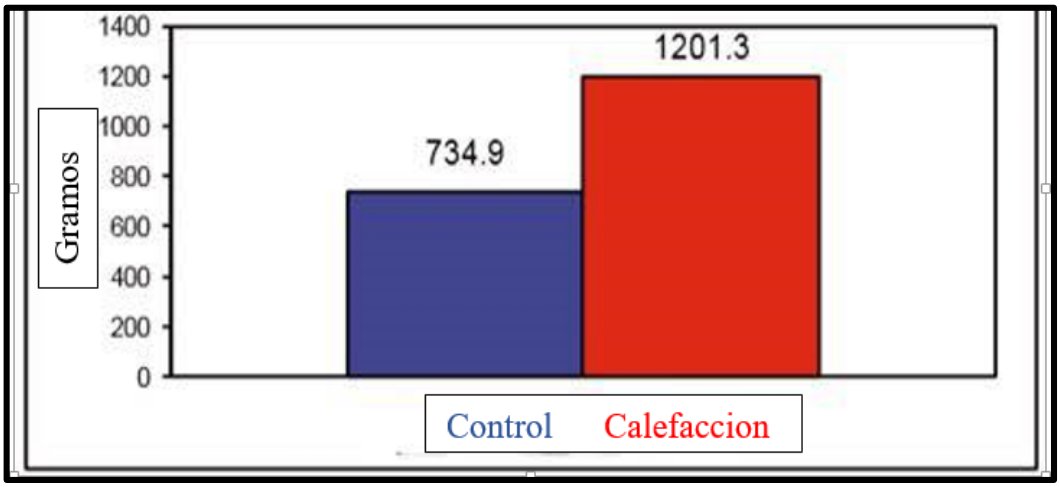


Figura 1. Resultados de la Ciudad de Nueva York 2008 para la producción total de tomate del 16 al 31 de julio.

Fuente y elaborado por: (Dell, y otros, 2011).

Babi, Dobbi, Saighi, & Bouchekima (2007) describen en su proyecto que, el invernadero está ubicado en Ouargla, en el sur de Argelia. Las condiciones climáticas en la región se caracterizan por temperaturas ambientales bajas y altas durante el invierno y el verano, respectivamente. Es muy importante determinar el índice de flujo necesario para el riego en un oasis durante el período de calentamiento, a fin de calcular el área apropiada del proyecto de invernadero y evitar el desequilibrio hídrico entre la calefacción y el riego. Es necesario calcular la pérdida total de calor del invernadero para determinar su demanda de calor del agua geotérmica. La temperatura del aire interior es la temperatura interna del invernadero. Puede llamarse la temperatura de referencia requerida por el cultivo durante la noche para garantizar las condiciones favorables para su crecimiento.

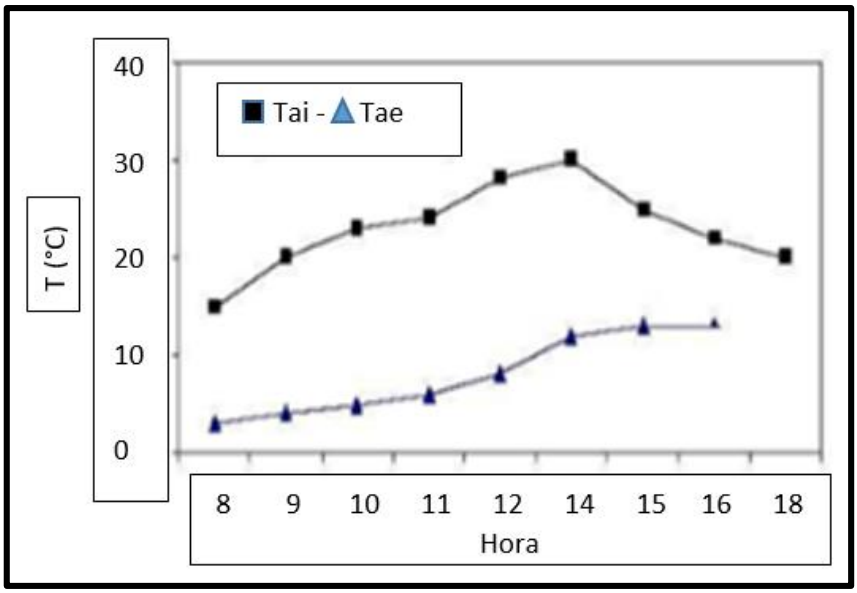


Figura 2. Comparación entre las temperaturas del aire exterior y el interior en invernadero calentado.

Fuente y elaborado por: (Babi, Dobbi, Saighi, & Bouchekima, 2007).

El valor de temperatura utilizado es la temperatura mínima que se desea mantener dentro del invernadero durante el período de calentamiento. Este valor se elige como la temperatura más favorable para un cultivo durante la noche.

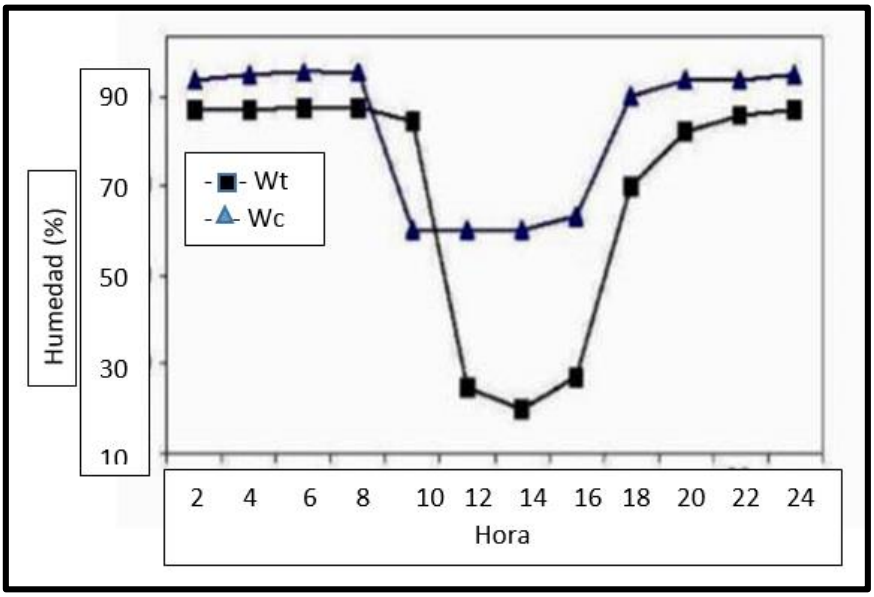


Figura 3 Humedad relativa: invernadero de calefacción (WC) e invernadero controlado (WT).

Fuente y elaborado por: (Babi, Dobbi, Saighi, & Bouchekima, 2007).

Los resultados experimentales obtenidos en invernaderos calentados por agua geotérmica en el sur de Argelia para la producción de vegetales y frutas fuera de temporada comercial como tomates, melones,etc son satisfactorios; lo que permite pensar en un gran potencial por desarrollar esta técnica en un futuro cercano para la población, puesto que el suministro en estas regiones la energía geotérmica es abundante.

Anifantis, Pascuzzi, & Scarascia-Mugnozza (2016) hablan de su estudio realizado cuyo objetivo basado en datos experimentales medidos, como la temperatura interior del invernadero y el rendimiento de la bomba de calor (temperaturas de entrada y salida del fluido de trabajo, consumo eléctrico), fue la evaluación de la idoneidad de fuentes de calor geotérmicas de baja entalpía para necesidades agrícolas tales como calefacción de invernaderos. El estudio se llevó a cabo en la granja experimental de la Universidad de Bari (Italia), donde se organizó un invernadero con un sistema de calefacción conectado a una bomba de calor de origen terrestre (GSHP), que debía cubrir la demanda de energía térmica.

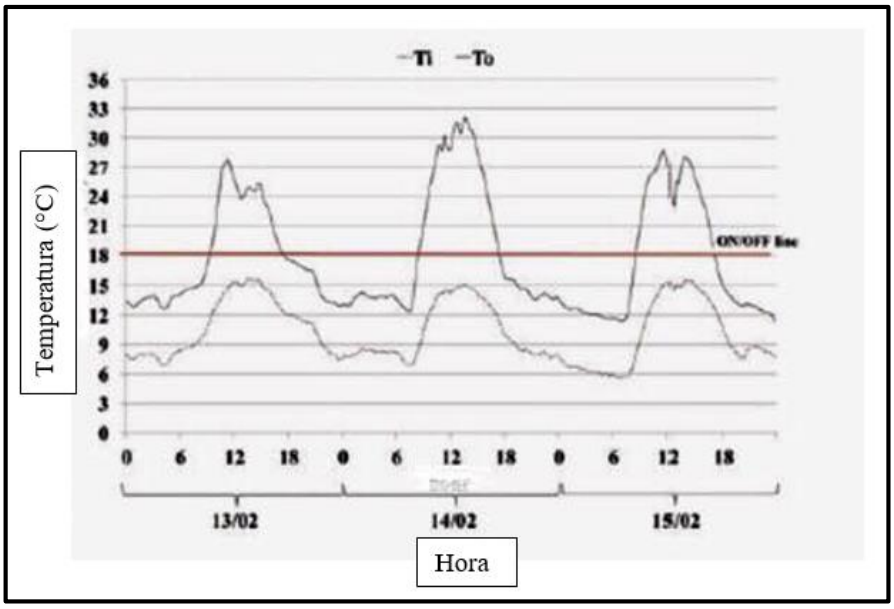


Figura 4. Invernadero dentro y fuera de la temperatura durante algunos días de febrero de 2015. Ti, temperatura interior; Ta, temperatura exterior.

Fuente y elaborado por: (Anifantis, Pascuzzi, & Scarascia-Mugnozza, 2016).

La Figura anterior muestra las temperaturas registradas al aire libre durante algunos días (13-15 de febrero de 2015) del período de prueba de noviembre de 2014 a marzo de 2015 y las correspondientes registradas dentro del invernadero experimental con el sistema de calefacción realizado conectado al GSHP encendido. Los gráficos resaltan una diferencia casi constante entre la temperatura del aire interior y exterior del invernadero geotérmico cuando el sistema de calefacción está funcionando; mientras que la baja temperatura de captación del invernadero en el aire es superior a 6 °C para asegurar al menos la baja temperatura de confort del cultivo (Anifantis, Pascuzzi, & Scarascia-Mugnozza, 2016).

4.6. Otros usos para la Energía Geotérmica

Entre otros usos de la energía geotérmica tenemos:

- Aprovechamiento directo del calor para fines industriales o en las conocidas aguas termales.
- Calefacción y calentamiento del agua: Con el establecimiento de redes de agua. También se aprovecha esta red de agua para calentar invernaderos, e incluso en acuicultura, para mantener el agua de las piscifactorías a una temperatura adecuada.
- Refrigeración por absorción: Requieren un equipo específico.

- Generación de electricidad: Captando el calor y utilizando generadores se pueden alimentar ciudades enteras, aunque para ello requieren una gran inversión. Esta tecnología se utiliza en la región de Toscana (Italia) y en California (Erenovable, 2016).

Tabla 1. *Ventajas y desventajas de la Energía Geotérmica*.

Ventajas	**Desventajas**
–Los recursos geotérmicos en el mundo, son mayores que los del carbón, petróleo, gas natural y uranio, aun combinados. –No contamina con ningún tipo de ruido en el exterior. –Todo el sistema que se utiliza es muy económico y ahorrativo. –Es verdad que produce residuos, pero comparados con el carbón o el petróleo son mínimos. –Por su gran abundancia, evitará la dependencia energética del exterior. –No está sujeto a precios internacionales, sus costos siempre serán locales o nacionales. –No requiere una gran construcción como presas, ni talar árboles, ni la construcción de tanques de almacenamiento de combustible.	–Esta energía está disponible sólo para lugares determinados. –Deteriora el paisaje y contamina las aguas próximas con sustancias como el arsénico y amoníaco. –Cuando hay una gran emisión de ácido sulfhídrico no se percibe y es letal. –La emisión de CO_2, con aumento de efecto invernadero, es inferior al que se emitiría para obtener la misma energía por combustión.

Fuente: (Solar, s,f)

Elaborado por: El Autor

4.7. Geotermia en Ecuador.

En la actualidad, el uso de la geotermia en el Ecuador se limita a balnearios y piscinas termales. Según un estudio publicado en el 2010 por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), denominado "Plan para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos en el Ecuador", en el país existen 16 zonas de interés geotérmico que todavía no han sido estudiadas en detalle: Tufiño, Chiles, Cerro Negro, Chachimbiro, Chacana, Chalpatán y Chalupas.

El propósito del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) es que se incluya a la Geotermia como una línea de investigación prioritaria, que permitirá diversificar la matriz energética, fomentando el uso de energías renovables no convencionales que cubran la demanda energética nacional (INER, Geotermia, s.f.).

Reve (2014) menciona que en Ecuador la exploración geotérmica se inició en el año de 1978, a través del desaparecido Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), que se enfocó en la búsqueda de sistemas geotermales, principalmente en la región Sierra. Se obtuvo valiosa información de los prospectos potenciales de Chalupas, Tufiño, Chachimbiro, entre otros. A partir del año 2008, el Gobierno Nacional retomó las investigaciones relacionadas con este recurso energético a través del "Plan de Aprovechamiento Geotérmico", a cargo del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER).

En el marco de dicho Plan se identificaron algunos prospectos geotérmicos importantes, entre los que se incluye Chalpatán. Estos estudios implican complementar el estudio geológico, levantamiento topográfico, y el análisis de las características geoquímicas, geofísicas e hidrogeológicas, para definir el modelo y la ubicación de las perforaciones de los pozos exploratorios. Se estima que la construcción de la planta geotérmica de Chalpatán podría aportar al Sistema Nacional Interconectado con 1024 MW/h de energía eléctrica al año, contribuyendo a la demanda de energía del país y poblaciones de la provincia del Carchi.

4.8. Líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia.

El recurso geotérmico está siendo aprovechado a nivel mundial, dando uso a esta energía de manera directa (calefacción, balnearios, piscicultura, etc.) e indirecta (generación

eléctrica). En el campo de la energía eléctrica el Ecuador, al ser un país ubicado en el arco volcánico andino posee un gran potencial geotérmico, estimado en 1700 MWe (Preliminary report: Geothermal energy, the potential for clean power from the Earth. Geothermal Energy Association, 1999).

En la actualidad, la utilización de los recursos geotérmicos en Ecuador se limita a balnearios y piscinas termales. Sin embargo, los usos alternativos importantes siguen siendo desconocidos por la sociedad ecuatoriana. La geotermia de baja temperatura puede generar proyectos para su uso directo en criadero de peces, invernaderos, calefacción y aplicaciones industriales, si se eleva el nivel de conocimiento del recurso. El proyecto "Plan de líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia, está dirigido a establecer metodologías de trabajo a ser empleados en futuros proyectos de interés geotérmico de media y baja entalpia, mediante estudios de reconocimiento avanzado (geología de detalle y geoquímica de aguas y gases) en un prospecto geotérmico piloto (INER, s.f.).

4.9. Determinación del calor específico y Entalpia.

Según Atarés, L. (s.f.) El calor específico (c) de una sustancia se define como la energía calorífica necesaria para que una cierta masa de esa sustancia, que inicialmente se encuentra a una cierta temperatura, eleve ésta en un cierto incremento de temperatura.

Así pues, las dimensiones de esta magnitud son Energía sobre masa incremento de T

$$\frac{Energía}{masa.\Delta T}$$

Las unidades que se tienen en el numerador son normalmente julios o calorías (las unidades de energía más utilizadas). La equivalencia entre ambas es 1cal = 4.18J.

Las unidades de incremento de temperatura pueden ser, indistintamente, ºC o K, ya que un aumento de temperatura de 1ºC equivale a un aumento de temperatura de 1K.

El flujo de calor que debe recibir una cierta masa de un fluido para aumentar su temperatura en un cierto incremento de T se calcularía según la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Determinación de calor específico y entalpia.

$$Q = mc\Delta T$$

Donde:

Q es el flujo de calor.

m es la masa de sustancia.

ΔT es el incremento de temperatura que sufre esa sustancia.

La misma ecuación se utilizaría para calcular el flujo de calor desprendido por una cierta masa de una sustancia que se enfría.

4.9.1. Concepto de energía interna y entalpía

La entalpía es la cantidad de energía calorífica de una sustancia.

En una reacción química, si la entalpía de los productos es menor que la de los reactantes se libera calor y decimos que es una reacción exotérmica. Si la entalpía de los productos es mayor que la de los reactantes se toma calor del medio y decimos que es una reacción endotérmica. El cambio de entalpía se denomina ΔH y se define como: el flujo de calor en los procesos químicos efectuados a presión constante cuando el único trabajo es de presión-volumen, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

La energía interna de un sistema, es el resultado de la energía cinética de las moléculas o átomos que lo constituyen, de sus energía de rotación y vibración, además de la potencial intermolecular debida a las fuerzas de tipo gravitatorio, electromagnético y nuclear, que la constituyen conjuntamente. Al aumentar la temperatura de un sistema, sin que varíe nada más, aumenta su energía interna. Se simboliza por U, y el cambio

$$\Delta U = U_F - U_I$$

El cambio de energía interna es independiente de la trayectoria o del proceso que se realice para ir desde el estado inicial al estado final.

Ecuación de Estado

Se denomina ecuación de estado a la relación que existe entre las variables P, T y V

$$PV = RT$$

4.10. Correlación y Regresión.

(Vinuesa, P. (2016) conceptualiza a la correlación como una medida de la relación (covariación) lineal entre dos variables cuantitativas continuas (x, y). La manera más sencilla de saber si dos variables están correlacionadas es determinar si co-varían (varían conjuntamente). La correlación es en esencia una medida normalizada de asociación o covariación lineal entre dos variables. Esta medida o índice de correlación r puede variar entre -1 y +1, ambos extremos indicando correlaciones perfectas, negativa y positiva respectivamente. Un valor de r = 0 indica que no existe relación lineal entre las dos variables. Una correlación positiva indica que ambas variables varían en el mismo sentido. Una correlación negativa significa que ambas variables varían en sentidos opuestos.

Molina & Rodrigo (2010) explican que la regresión es la representación de la relación entre dos (o más) variables a través de un modelo formal supone contar con una expresión lógico-matemática que, aparte de resumir cómo es esa relación, va a permitir realizar predicciones de los valores que tomará una de las dos variables (la que se asuma como variable de respuesta, dependiente, criterio o Y) a partir de los valores de la otra (la que se asuma como variable explicativa, independiente, predictora o X). Las puntuaciones de los sujetos en 2 variables -una de ellas considerada como variable predictora (X) y la otra como variable de respuesta (Y)- vienen representadas (modeladas) por la ecuación de una línea recta:

Ecuación 2. Ecuación de Recta.

$$Y = a + bX$$

4.11. Teoría estadística: Normalidad, Test de Shapiro – Wilk, prueba t-Student.

En la presente investigación se utiliza la distribución para realizar los cálculos estadísticos. Multitud de variables aleatorias continuas siguen una distribución normal o aproximadamente normal. Una de sus características más importantes es que casi cualquier distribución de probabilidad, tanto discreta como continua, se puede aproximar por una normal bajo ciertas condiciones.

Muchas de las distribuciones pueden tener una media (μ) o una desviación estándar distinta (σ). Por tanto, el número de distribuciones normales es ilimitado y sería imposible proporcionar una tabla de probabilidades para cada combinación de μ yσ.

Para resolver este problema, se utiliza un solo "miembro" de la familia de distribuciones normales, aquella cuya media es 0 y desviación estándar 1 que es la que se conoce como distribución estándar normal, de forma que todas las distribuciones normales pueden convertirse a la estándar.

El test de Shapiro – Wilk tiene como objetivo principal comprobar o determinar si una muestra aleatoria posee una distribución Normal Se aplica a una muestra que sea menor a 50 datos, con observaciones independientes y muestreo o selección aleatoria de una población, el programa devuelve el valor del estadístico, así como su probabilidad crítica, P-value (pc) que da la clave para aceptar o rechazar la hipótesis nula de normalidad, que representamos por H0. Si pc<0.05, se rechazará la hipótesis con un nivel de significación del 5%; pc<0.01, se rechazará con un nivel del 1% (Tecnostats, s.f.).

La distribución t-Student es un conjunto de curvas estructurada por un grupo de datos de unas muestras en particular. La contribución de esta prueba, específicamente, es para comparar dos muestras de tamaño ≤ 30. La primera presunción es formular la hipótesis nula y la hipótesis alterna, que establece que no hay diferencias en la media de las dos muestras independientes y que, de existir esta diferencia, sólo se debe al azar. Si la t calculada que se origina de las dos muestras es desmesurada (valor de p que se encuentra en las tablas respectivas), entonces se rechazaría la hipótesis nula (error tipo I). Es importante mencionar que este valor depende del valor de significancia establecido con anterioridad de lo que se quiere probar, para la diferencia entre las medias de las dos muestras. Este valor de significancia es la probabilidad de rechazar erróneamente la hipótesis nula (Sánchez, 2015)

Líneas de acción Prioritarias.

Las líneas de investigación y desarrollo deben estar dirigidas para poder concretar una satisfactoria explotación de los recursos geotérmicos. Su objetivo general tiene que apuntar a la utilización de los recursos geotérmicos de alta y baja entalpía para el desarrollo de las economías regionales. La investigación debe darse en las distintas áreas geotérmicas con mayor grado de importancia económica y establecer su futuro

utilización, tal como es su aprovechamiento en la agricultura, adecuando invernaderos que sean calefaccionados con este recurso que mejoren la calidad y desarrollo de los cultivos debido a las beneficiosas condiciones micro climáticas que se producen dentro de ellos, estas implementaciones podrían darse a pequeña o gran escala Su explotación mejorará las condiciones económicas y sociales de las comunidades y productores rurales y contribuyendo al desarrollo regional (Pesce, s,f).

4.12. Clasificación de la Energía Geotérmica (EG) en función de la temperatura.

- E.G. Alta Temperatura: Tª>150ºC; Producción energía eléctrica.
- E.G. Media Temperatura: 150ºC >Tª>90ºC; Uso directo. COP: 10-20.
- E.G. Baja Temperatura: 90ºC >Tª>25ºC; Uso directo. COP:10-20.
- E.G. Muy baja Temperatura: Tª<25ºC: Intercambio geotérmico. COP 3,5-5.

Dónde: COP: (Coeficiente of Performance) (EVE, 2008).

4.12.1. Recurso geotérmico a baja temperatura.

Calefacción y calentamiento de aguas mediante aprovechamiento directo del recurso. Ideal para la calefacción de invernaderos ya que se posee temperaturas que van de 25 a 90°C, precisamente el rango de temperatura en el que se encuentra la toma de agua termal de este proyecto.

4.12.2. Recurso geotérmico a muy baja temperatura.

Recursos geotérmicos de muy baja temperatura, de menos de 25ºC se usa principalmente para climatizar, es decir, proporcionar calefacción y refrigeración, además de agua caliente a edificios y viviendas. En verano el edificio se refrigera al cederse calor al terreno (Geoplat, 2016).

4.13. La calefacción de invernaderos.

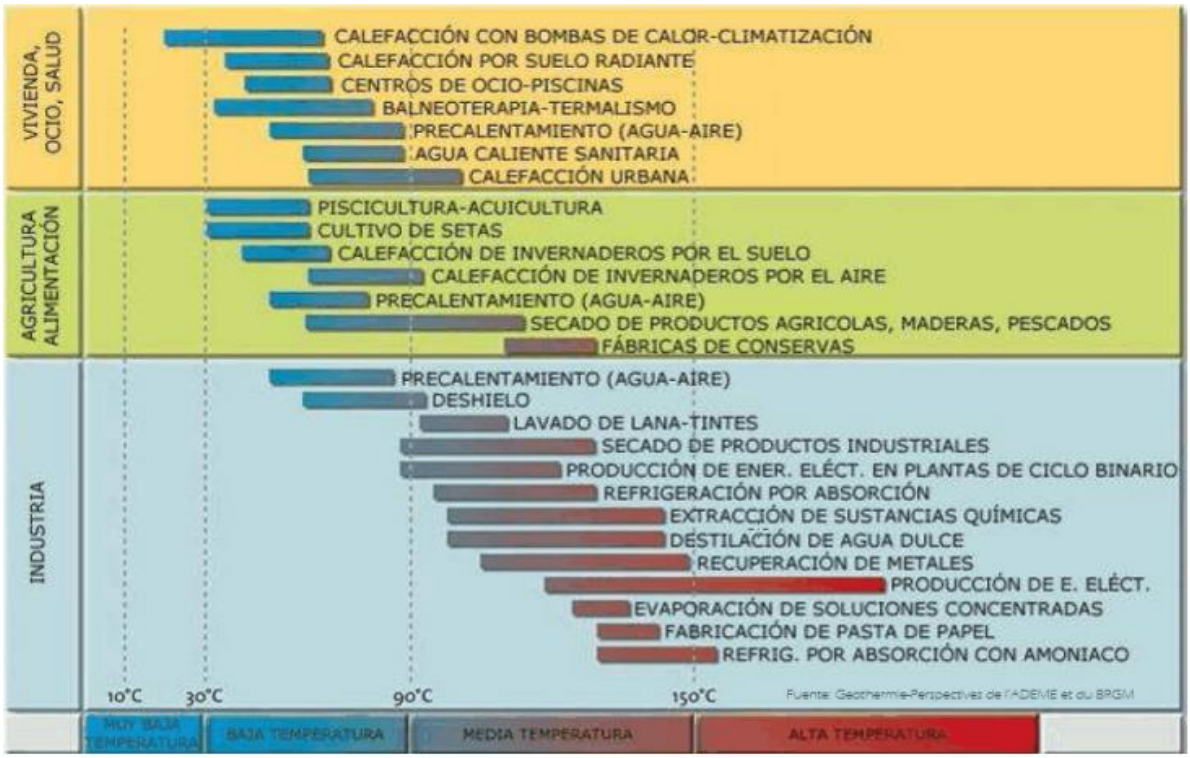
Según Pesce (s,f).

- De todas las aplicaciones posibles de la energía geotérmica en la agricultura en este trabajo sólo se hará referencia a la calefacción de invernaderos para uso de agricultura intensiva.

- La demanda energética de los invernaderos para usos agrícolas alcanza valores elevados. La temperatura requerida varía según el tipo de cultivo, pero la más usual oscila entre los 35 y los 60 grados centígrados. Una particularidad de los invernaderos en relación a la calefacción convencional es su baja inercia térmica (capacidad que tiene de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente). Las necesidades energéticas mayores se concentran durante la noche mientras que durante el día son más reducidas, dado que dependen del grado de insolación. En algunos casos sólo una pequeña cantidad de energía que se entregue en la noche es suficiente para restituir el consumo nocturno de la energía acumulada a lo largo del día.
- También es posible combinar la calefacción de invernaderos con otras aplicaciones térmicas como, por ejemplo, en piscicultura.

En la Figura 5 se muestra la intensidad de poder calorífico que requiere la aplicación de distintas actividades llevadas acabo por el hombre.

Figura 5. Resumen de las aplicaciones más comunes del recurso geotérmico en función de su temperatura.



Fuente y elaborado por:(energylab, 2009)

4.14. Recomendaciones para la ubicación de un invernadero.

Alexander (2012) menciona que seleccionar una ubicación para construir un invernadero es una elección tan importante como seleccionar materiales de construcción, así como innumerables factores sobre los que se tiene que decidir para asegurar el éxito de la operación.

4.14.1. Radiación solar: Debido a que las plantas requieren luz para la fotosíntesis. La ubicación del invernadero y la época del año suponen una gran diferencia en la fotosíntesis; las ubicaciones que no reciban radiación solar suficiente en el invierno van a necesitar luz suplementaria.

4.14.2. Agua: Los niveles de pH deben ser ajustados alrededor de 5.8-6.5 para tomates, y si el agua de manantial es básica o alcalina (pH superior a 7), agrega ácidos tales como nítrico, fosfórico, y sulfúrico. Si el agua de manantial es ácida (pH muy inferior a 7), agregar una base.

4.14.3. Elevación: La elevación afecta a las temperaturas altas en el verano y a las temperaturas bajas en el invierno, y en consecuencia afectará a los costos de enfriamiento y calefacción.

4.14.4. Microclima: Hay muchos factores diferentes que pueden afectar al ambiente interno del invernadero, incluyendo latitud y altitud. También debe ser consciente de árboles, montañas, y otras obstrucciones cercanas a la estructura, las cuales pueden proyectar sombra sobre el invernadero, especialmente en las mañanas. Otras consideraciones ambientales son las nubes y la niebla que pueden formarse en ciertas horas del día en áreas específicas reduciendo la luz solar y en consecuencia la fotosíntesis.

4.14.5. Plagas: Se recomienda escoger un sitio que esté lejos de otras áreas agrícolas de producción, o como alternativa, crear una zona de amortiguamiento entre tu operación y otras áreas de producción para prevenir la infestación de plagas.

4.15. Para el Cultivo de Tomate de Árbol.

Revelo, Peréz, & Maila, (s,f) nos dan relevante informacion sobre distintos factores ambientales a ser tomados en cuenta para la realizacion de este proyecto que son detallados a continuación:

4.15.1. Factores ambientales y edáficos: Su mejor desarrollo y producción se obtiene en los valles interandinos subtropicales y templados de la sierra ecuatoriana, con las siguientes características:

4.15.2. Clima: Zonas con clima templado a templado frío del Callejón Interandino. El clima templado es el óptimo. En climas fríos, el inicio de la primera cosecha se retarda, pudiendo iniciarse alrededor de los 14 meses después del transplante. Además, en estas zonas es frecuente la presencia de heladas y granizo a los cuales es sensible.

4.15.3. Altitud: Es posible cultivarlo en un rango de 430 a 3000 msnm, sin embargo, el óptimo se encuentra en 1500 a 2600 msnm.

4.15.4. Temperatura: Depende de la altitud y cubre un rango de 13 a 24ºC, pero su óptimo es un promedio anual de 15 a 19ºC. Temperaturas inferiores a 12ºC ocasionan la caída de las flores. Temperaturas sobre los 30ºC afectan la fructificación. Asimismo, la temperatura nocturna puede ser determinante en la cuaja, pues debe ser suficientemente fresca (15 a 22°C).

Las temperaturas inferiores a 12 - 15ºC también originan problemas en el desarrollo de la planta y pueden provocar frutos deformes. En general, con temperaturas superiores a 25ºC e inferiores a 12ºC la fecundación es defectuosa o nula.

La planta detiene su crecimiento entre los 10ºC y 12ºC y se hiela a -2ºC.

Tabla 2. *Las temperaturas críticas y óptimas del tomate.*

Afectaciones	**°C**	
Se hiela la planta	-2	
Detiene su desarrollo	10 – 12	
Desarrollo normal de la planta	18 – 25	
Mayor desarrollo de la planta	21 – 24	
Germinación óptima	25 – 30	
Temperaturas óptimas para:		
Desarrollo	Diurna	23 - 26
	Nocturna	13 – 16
Floración	Diurna	23 – 26
	Nocturna	15 – 18
Maduración		15 – 22

Fuente: (InnovaChile, 2009).

Elaborado por: El Autor

4.15.5. Heladas: Zonas libres de este fenómeno para evitar la destrucción del cultivo. Altitudes sobre los 2600 msnm es usual la presencia de heladas.

4.15.6. Precipitación: La planta de tomate de árbol requiere alrededor de 1200 mm de precipitación, distribuidos regularmente durante el año, para proporcionar una producción óptima. En zonas con precipitaciones inferiores a 1000 mm anuales, es necesario disponer de agua suplementaria, la misma que es facilitada al cultivo mediante riegos a intervalos de 8 días. En presencia de precipitaciones superiores a 2500 mm anuales, se deben realizar canales de drenaje, debido a que las raíces no resisten el exceso de agua y el encharcamiento. Cuando se presentan estas condiciones, las raíces se pudren, la planta se marchita, las hojas, flores y frutos se caen y la planta muere.

4.15.7. Humedad relativa.

Cada especie vegetal posee una humedad ambiental que es la óptima para vegetar en perfectas condiciones, por ejemplo: al tomate, al pimiento y berenjena les gusta una humedad relativa sobre el 50-60%; al melón, entre el 60-70%; al calabacín, entre el 65-80% y al pepino entre el 70-90%.

5. MATERIALES Y MÉTODOS. -

5.1. Materiales

A continuación, se detallan los materiales que fueron necesarios en la ejecución de la presente investigación.

- GPS.
- Termómetro laser.
- Caudalímetro
- Esferográfico.
- Libreta de campo.
- Mochila.
- Ropa de campo.
- Pingos.
- Plástico de invernadero.
- Tiras de eucalipto.
- Clavos.
- Tubos de agua Galvanizados.
- Herramientas de construcción.
- Plantas.
- Cinta métrica.
- Metro plegable.
- Cámara fotográfica (celular).
- Cronometro.
- Estación meteorológica Hyundai WS 2061 Garden.

5.2. Métodos

Para realizar este proyecto, se plantearon las siguientes tareas: trabajo de campo, recolección de datos e investigación documental. En el proceso se tomaron en cuenta los métodos de observación, comparativo, analítico, estadístico y bibliográfico.

Se contactó con los propietarios del complejo turístico Termas Chachimbiro Arco Iris para contar con su participación y aprobación para las consiguientes visitas y así mismo, para que se nos brinden las facilidades de traslado hacia el sector donde se socializó la idea y se eligió un espacio de terreno para el proyecto.

Para dar cumplimiento al objetivo específico uno: se identificaron las vertientes o cajas, como son llamadas en el lugar, para lo cual se llevaron a cabo varias salidas de campo que consistieron en la visita al complejo turístico Termas Chachimbiro Arco Iris,

para después movilizarse en caminatas por toda la zona de estudio, recorriendo los acueductos (mangueras plásticas) que abastecen de agua termal al complejo, al mismo tiempo que se tomaron datos de georreferenciación con la ayuda de un GPS de cada una de las vertientes (cajas).

Para dar cumplimiento al objetivo específico dos: se realizó el reconocimiento de la posible fuente de agua termal, con el fin de analizar su posterior uso en volumen y poder calorífico, la misma que suministró la cantidad de agua suficiente para la calefacción del invernadero. Se tomó los valores caloríficos del agua en el lugar de la fuente determinada en las diferentes salidas de campo, se promedió los resultados obtenidos en cada ocasión. La energía que llegó al invernadero se calculó de acuerdo a la fórmula de la cantidad de flujo de calor $Q = mc\Delta T$, y se determinó tanto en la toma a la entrada como en la salida.

Dependiendo de la cantidad de calor óptima se buscó el lugar para construir el invernadero con las especificaciones establecidas más abajo, en el punto de la metodología del objetivo específico cuatro.

Para dar cumplimiento al objetivo específico tres: se estableció un modelo dependiendo de cómo se dé la distribución de los puntos medidos pudiendo ser estos de tipo logarítmico o lineal.

- Selección de Plantas: Se realizó un modelo para cada uno de los parámetros que serán medidos en las plantas *Solanum betaceum* (tomate de árbol), con su respectiva comparación. Para llevar a cabo los modelos, se contó con un total de 24 plantas divididas en dos camas de 12 cada una, de las cuales se seleccionaron 6 – 6 con la técnica de Muestreo Aleatorio Simple (M.A.S.), sin reposición, es decir un individuo elegido para la muestra una vez ya no entraría otra vez en el sorteo, por lo que es un sistema muy rápido y sobre todo fiable con el cual nos aseguramos la obtención de muestras representativas, por lo tanto, cada individuo o planta tiene idéntica probabilidad de ser seleccionado para la muestra.

- Medición de plantas y Obtención de datos: Se procedió a medir semanalmente los parámetros establecidos de las plantas, durante un período de ocho semanas dicho periodo de tiempo se debe a que las plantas tenían dos meses de edad al iniciar el experimento y es precisamente aquí, en los primeros meses (etapa vegetativa de la planta) donde el crecimiento de la planta es continuo, el tallo crece en altura y las hojas pueden llegar a

alcanzar su máximo crecimiento, en este caso para los análisis correspondientes se tomaron en cuenta solo los datos obtenidos en la octava semana de cada parámetro (Pereira, 2014).

- Análisis de datos: Los datos fueron evaluados en el programa estadístico STATGRAPHICS Plus para determinar las estadísticas correspondientes cuyo resultado final fue la preparación de un modelo de proyección que se pueda extrapolar a otros lugares, utilizando cálculos de regresión simple, realizando un análisis de la relación entre la variación de los parámetros de las plantas en el interior y exterior en la octava semana. Se muestra la función de proyección dependiente de los valores interiores hacia los exteriores.

Se realizó también un análisis estadístico de los parámetros por separado, realizando una comparación de datos obtenidos tanto del interior como del exterior, para determinar el grado de correlación, evaluar su distribución y mediante la prueba t-Student se determinó cuál de las hipótesis planteadas es aceptada o rechazada.

Para dar cumplimiento al objetivo específico número cuatro: se determinó la zona más propicia y cercana al efluente de agua termal.

- Construcción del invernadero e implementación del tratamiento geotérmico: teniendo que contratar movilización del material desde la ciudad de Ibarra hasta el sitio de estudio, así mismo a trabajadores con experiencia en este tipo de proyectos, que con la ayuda de un arquitecto se pudo llevar a cabo la implementación de esta estructura con las especificaciones que serán vistas a continuación:

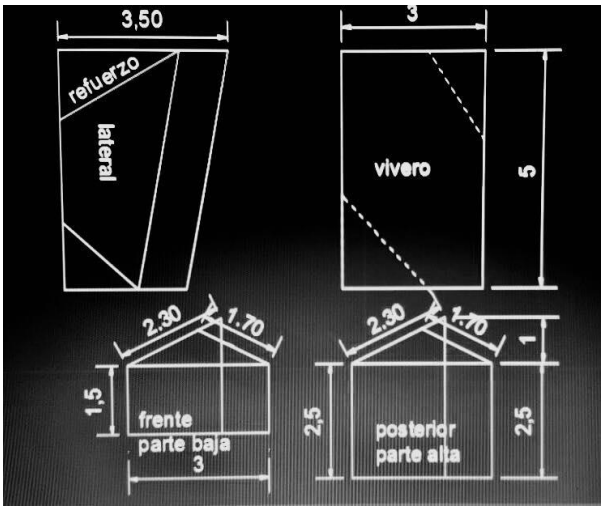


Figura 6. Dimensiones del Invernadero.

- Para la realización estructural del prototipo: se usaron materiales que son brevemente detallados.

- 2 pingos de 2,5 metros.
- 2 pingos de 3,5 metros.
- 4 pingos de 4 metross.
- 2 pingos (costaneras) de 4 metros.
- 4 pingos (costaneras) de 2,5 metros.
- 2 pingos (costaneras) de 2 metros.
- 3 pingos (costaneras) de 5 metros.
- 30 tiras de eucalipto de 2x2 de 2,40 metros.
- Plástico de invernadero.



Figura 7. Elaboración del invernadero.

Para el sistema de tuberías de calefacción interna del invernadero, por donde circulará permanentemente el agua termal se necesitó:

- 5 tubos de acero galvanizado HG de ¾ cortados según las dimensiones requeridas,
- 14 codos HG de ¾,
- 1 acople roscado (unión de manguera de agua termal y tubería), y
- 1 manguera negra de ¾ para salida de agua.

Con esto se aplicó el siguiente esquema a ser aplicado en las dos caras laterales del invernadero.

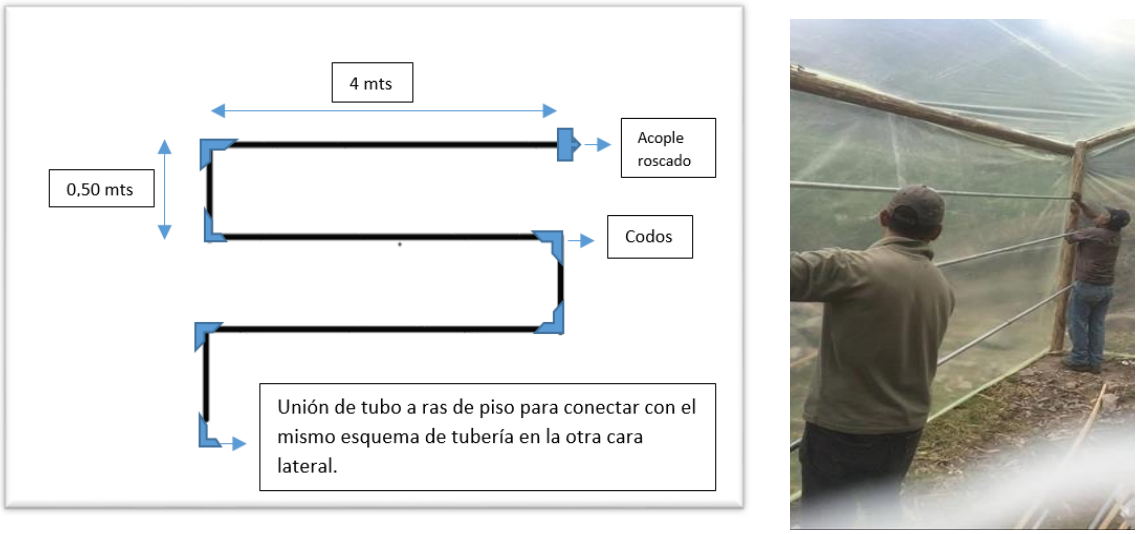


Figura 8. Esquema y elaboracion del sistema de tuberia para calefaccionar el invernadero.

Posteriormente aplicado y realizado todo lo antes mencionado, el prototipo quedo de la siguiente manera.



Figura 9. Forma final del invernadero y aplicación de tratamientos en plantas seleccionada.

- Recolección de datos de Humedad y Temperatura: Para la comparación de datos obtenidos de los diferentes tratamientos aplicados se calculó los promedios de cada parámetro, obteniendo un grupo de ocho datos por parámetro en cada tratamiento. Durante la investigación se aplicó dos tipos de variables independientes, a saber, la temperatura y la humedad relativa, tanto para el exterior como para el interior del invernadero. Para el exterior, se utilizaron los datos de temperatura y humedad relativa de la estación meteorológica de Otavalo de un período de 23 años de los meses septiembre, octubre y noviembre, dando un total de 56 días. La estación meteorológica de Otavalo se encuentra a una altura de 2550 m.s.n.m, casi en el mismo piso altitudinal y bajo las mismas condiciones de la zona donde se realizó el proyecto que está a 2755 m.s.n.m. (Zuleta, 2017). Para el interior del invernadero, los datos de temperatura y humedad relativa fueron tomados de los promedios de las mediciones hechas por la estación meteorológica Hyundai WS 2061 Garden, a las 07:00, 13:00 y 19:00 horas.

5.3. Instrumentos.

- Mediciones fisiológicas de las plantas: la recolección de datos se dio a través de varias salidas de campo que fueron efectuadas semanalmente, empezadas el 09 de septiembre del 2017, realizando tres tipos de mediciones en la planta, la primera, medición de la altura con la ayuda de un metro plegable, las plantas más pequeñas pueden medirse con una regla, mientras que las plantas de mayor tamaño pueden requerir de una cinta métrica o un patrón de medida en yardas o metros. Se tiene que cerciorar de que la regla comience en cero en la parte que se ubica en la base de la planta, si se mide una planta que se encuentra dentro de una maceta, la regla debe iniciar desde el nivel del suelo. Para la tercera que es el diámetro de la base del tallo, se utiliza una cinta métrica rodeando el tronco a la altura deseada. En la tercera y cuarta el largo y ancho de la planta respectivamente con una cinta métrica, se escoge una muestra aleatoria de hojas, la regla debe estar sostenida desde la base hasta la punta de la hoja y el mismo procedimiento se repite para hallar el ancho de las hojas. Las hojas se miden por la parte más ancha, con el mayor grado de especificidad posible, en centímetros y milímetros. (WikiHow, s.f.). Este proceso se lo hizo durante dos meses, es decir en ocho salidas de campo, culminando el 04 de noviembre del 2017.

- Registro de datos de temperatura y humedad relativa: se tomó mediciones hechas por la estación meteorológica Hyundai WS 2061 Garden para la parte interior

promediando los valores obtenidos a las 07, 13, y 19 horas. En cambio, para la parte exterior se usó los datos históricos de la estación meteorológica de Otavalo de un período de 23 años para los días señalados en la época de medición con el fin de obtener resultados objetivos para esas épocas del año.

5.4. Procedimiento.

El presente proyecto de investigación constó de dos tratamientos, en el uno, las plantas son ubicadas dentro del invernadero aprovechando el poder calorífico (calefacción) de la fuente termal que pasa por el sistema de tuberías; permitiendo con esto una diferenciación en los parámetros microclimáticos. El otro tratamiento a cielo abierto, exterior del invernadero, se usó datos históricos de la estación climática ubicada en Otavalo, que se encuentra a casi la misma altura del lugar seleccionado, dejando que las plantas se desarrollen bajo las condiciones climáticas normales, éste a su vez servirá como testigo dentro del estudio.

El elemento meteorológico investigado fue la humedad relativa tanto en el exterior como dentro del invernadero con la finalidad de comparar los resultados que se obtendrán en el desarrollo de la especie.

También se realizó una mediación durante un día, escogido al azar, en el cual se visitó el lugar del proyecto y se acampó en el mismo, haciendo la toma de datos cada hora durante el plazo antes mencionado; con el objetivo de conocer la variación diaria de la temperatura esperando recibir los valores extremos dentro de un rango aceptable con las medias medidas en lo histórico.

Cada tratamiento constó de dos camas de 1 m de largo cada uno, donde se ubicarán 12 plantas por cama de la misma especie frutal (*Solanum betaceum)* Tomate de Árbol dando un total de 24 ejemplares por tratamiento.

La serie de datos completa constó de mediciones semanales durante 2 meses, es decir 8 grupos de datos por cada parámetro elegido, a saber, altura de la planta, diámetro de tallo, largo y ancho de la hoja.

6. RESULTADOS.

En el análisis de los resultados obtenidos se realizaron comparaciones entre los grupos de plantas ubicadas tanto en el exterior como en el interior del invernadero.

Para la identificación de las vertientes de agua termal expuestas en el **objetivo específico número uno**, se realizaron varias caminatas exploratorias por toda la zona seleccionada como lo muestra la Tabla 4 de Anexos, y para el mismo fin, determinar la capacidad calorífica y el volumen deseado de la fuente escogida para suministrar el agua termal al invernadero. La fuente idónea para realizar la investigación se encuentra ubicada en el lugar llamado Ashubiro (Santa Susana) con coordenadas X= 0806860, Y= 0051029 y situada a una altura de 2830 m.s.n.m. Posee una capacidad adecuada para satisfacer las necesidades volumétricas, resultó ser de un caudal medio de Q = 0,15 l/s debido a las dimensiones de la tubería a utilizarse y a la velocidad de desplazamiento hasta llegar al punto de toma en la entrada del invernadero. Además, la temperatura media tomada en la salida de la fuente (caja) fue de 44,8 °C.

Para la realización del **objetivo específico número dos** se midió la entalpía de la fuente de agua termal seleccionada localizada en la zona de estudio, en el sector denominado Santa Susana (Ashubiro), por ser la más próxima al terreno elegido para la implementación del invernadero, mismo que se encuentra ubicado a 75 metros abajo de la ubicación de la fuente seleccionada a una altura de 2755 m. s. n. m.

Para la determinación de entalpia de la fuente elegida se procedió a realizar el cálculo, tomando en cuenta que el valor promedio de la temperatura saliente en la fuente (caja) que fue de 44,8 ºC, en el trayecto se perdió una cantidad de energía equivalente a la disminución de la temperatura por un valor de 13,3 ºC y el valor promedio de llegada a la entrada del invernadero fue de 31,5 ºC. Para saber de manera exacta el valor de disipación de la energía dentro del invernadero, se tomó en cuenta la diferencia entre el promedio del valor de entrada y el de salida de la temperatura cuyo valor fue de 30,8 ºC. Así pues, para definir la cantidad de energía usada, se aplica la siguiente fórmula sabiendo que el calor específico para el agua es $c = \frac{1Cal}{g}$, y de acuerdo al SI $1\ cal = 4{,}18\ J$, haciendo los cálculos por unidad de masa:

$$Q = mc\Delta T$$

$$\Delta T = 31{,}5 - 30{,}8$$

$$\Delta T = 0{,}7$$

$$Q = 1g\,.\frac{1Cal}{g}\,.0{,}7$$

$$Q = \frac{0{,}7}{4{,}18} = 0{,}167\,J = 1{,}67.10^{-1}J$$

Resultado que significa el uso de energía por unidad de masa dentro del invernadero, energía utilizada para la calefacción. Para determinar la energía que pasa por la tubería durante la unidad de tiempo, entonces se tiene que calcular el volumen total de ella con el fin de obtener la masa de agua existente en la misma unida de tiempo.

Para la determinación del volumen, utilizamos los parámetros de la tubería: el diámetro interior y la longitud de todo el sistema seleccionado para la circulación de agua termal en el interior del invernadero. Sabiendo que el diámetro interior de la tubería es 25,9 milímetros, y su longitud 30 metros.

$$d = 25{,}9\,mm$$

$$r = 12{,}95\,mm \rightarrow r = 1{,}295\,x\,10^{-2}\,m$$

Ecuación 3. Área de un círculo.

$$A = \pi.r^2$$

$$A = \pi\,(1{,}295\,.10^{-2})^2\,m^2$$

$$A = 5{,}27\,.10^{-4}m^2$$

$$V = A\,.\,l$$

$$V = 5{,}27\,.10^{-4}m^2\,x\,30m$$

$$V = 1{,}58.10^{-2}m^3$$

Es decir, el volumen total del circuito fue de 0,0158 m^3.

Para calcular el valor de la entalpia, es necesario calcular la masa del sistema en la unidad de tiempo.

Ecuación 4. Volumen.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$m = V.\rho$$

Donde:

m es la masa del sistema

V el volumen del sistema

ρ la densidad del agua

$$m = 1{,}58.10^{-2} m^3 . 9{,}97.10^2 \frac{Kg}{m^3} = 15{,}75\ Kg = 1{,}575.10$$

$$Q = 1{,}67.10^{-1}\ J\ .\ 1{,}575.10\ Kg$$

$$Q = 2{,}63\ J\ .\ Kg$$

El significado del resultado, Q, es el siguiente: la energía desprendida durante el trayecto en la tubería sirve para calefaccionar el ambiente con un valor de $2{,}63\ J$ por cada kg de masa de agua que pase por la tubería durante la unidad de tiempo, segundo. Es el calor adicional que recibe el invernadero, en relación con la parte exterior de él.

El cálculo diario de la entrega de calor es de:

$$Q = 2{,}27232.10^2\ J\ .\ Kg/día$$

Durante las ocho semanas de estudio, 56 días, el total de energía entregada fue de:

$$Q = 1{,}2725.10^6\ J\ .\ Kg$$

Para solucionar el objetivo **específico número tres** se planteó desarrollar modelos de variación de crecimiento de los diferentes parámetros estudiados de la planta. Se formó las relaciones entre las variaciones de los parámetros en la parte interior con los del exterior y se estableció el modelo de dependencia existente entre los dos sistemas. De acuerdo a la metodología establecida, los cálculos fueron realizado hasta la octava semana de crecimiento.

6.1. Cálculo de Regresión Lineal Simple y análisis estadístico de Altura de Plantas de *Solanum betaceum* (tomate de arbol) ubicadas en el interior y exterior del invernadero.

El análisis muestra la relación entre la variación de la altura de planta en el interior y exterior. La ecuación de dependencia es:

$$y = 7{,}77 + 1{,}15x$$

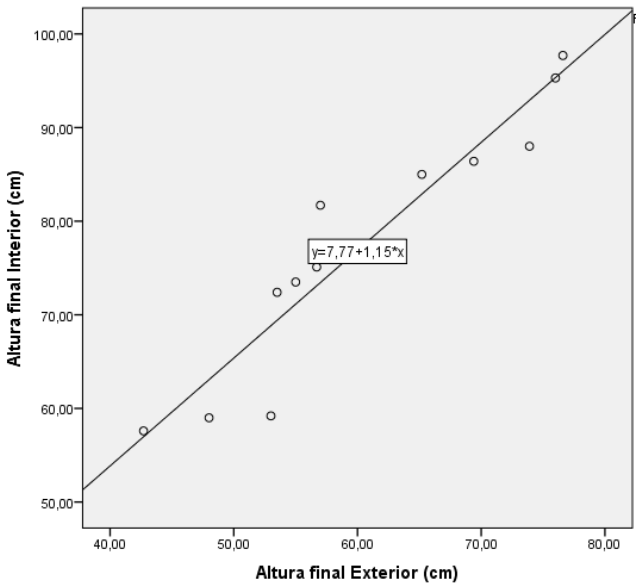


Figura 10. Modelo de correlación existente entre Altura de Plantas ubicadas en el interior y exterior del invernadero en la octava semana de medición.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

El programa estadístico STATGRAPHICS arroja un resultado $R^2 = 0{,}891$ que es el cuadrado del coeficiente de correlación de momento del producto Pearson mediante los puntos de datos conocidos de Y y X. Sabiendo esto el resultado de correlación existente entre las variables es $R = 0{,}94$. El procedimiento ejecuta una prueba t-Student para comparar los promedios de las dos muestras y una prueba F para comparar las varianzas. Dado que P-value = 0.0034 para la prueba t-Student, es menor que 0,05, nos hace rechazar la H0 y aceptar H1, significancia estadística con un nivel del 5%, diferencia entre los promedios.

Estos resultados suponen que las varianzas de las dos muestras son iguales. Esto se basó en la prueba F, que tiene un P-value = 0,5193 mayor que o igual a 0,05. Estos valores suponen que las poblaciones de donde vienen las muestras puede ser representado por distribuciones normales.

También se realizó la prueba de Shapiro – Wilks para asegurarnos acerca de la distribución normal. Los P-value resultantes fueron 0,3870 y 0,3737 tanto para el interior como para el exterior, respectivamente.

6.2. Cálculo de Regresión Lineal Simple y análisis estadístico de Diámetro de tallo de Plantas de *Solanum betaceum* (tomate de arbol) ubicadas en el interior y exterior del invernadero.

El análisis muestra la relación entre la variación de diamtero del tallo en el interior y exterior. La ecuación de dependencia es:

$$y = -0{,}92 + 1{,}24x$$

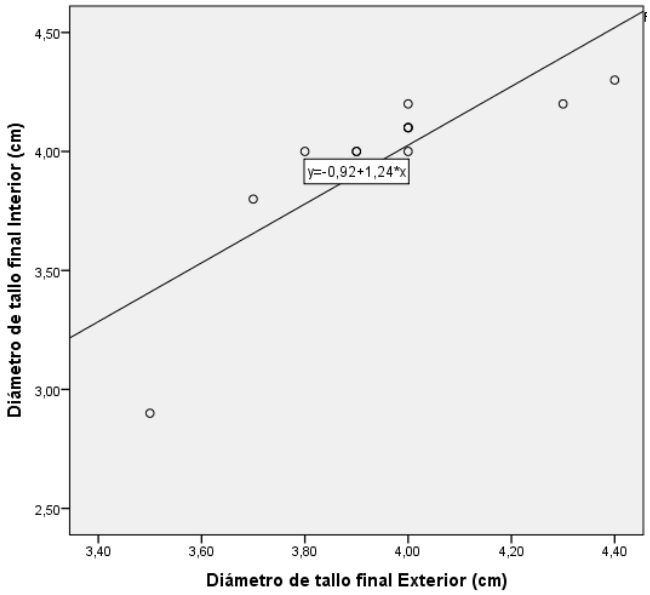


Figura 11. Modelo de correlación existente entre Diámetro de tallo de Plantas ubicadas en el interior y exterior del invernadero en la octava semana.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

El programa estadístico STATGRAPHICS arroja un resultado $R^2 = 0{,}666$ que es el cuadrado del coeficiente de correlación de momento del producto Pearson mediante los puntos de datos conocidos de Y y X. Sabiendo esto el resultado de correlación existente entre las variables es $R = 0{,}82$. El procedimiento ejecuta una prueba t-Student para comparar los promedios de los dos muestras y una prueba F para comparar las varianzas. Dado que para la prueba t el P-value = 0,8954 es mayor o igual a 0,05 lo que nos dice que para este caso se acepta la H0 y se rechaza H1, no hay diferencia estadísticamente significativa.

Estos resultados suponen que las varianzas de las dos muestras son iguales. Esto se basó en la prueba F, que tiene un P-value = 0,1845 mayor o igual a 0,05. Los resultados anteriores suponen que las poblaciones de las que provienen las muestras pueden ser representadas por distribuciones normales.

También se realizó la prueba de Shapiro – Wilks para asegurarnos acerca de la distribución normal. Los P-value resultantes fueron 0,0002 y 0,3168 tanto para el interior como para el exterior, respectivamente.

6.3. Cálculo de Regresión Lineal Simple y análisis estadístico de Longitud de hojas de *Solanum betaceum* (tomate de arbol) ubicadas en el interior y exterior del invernadero.

El análisis muestra la relación entre la variación de la longitud de hojas en el interior y exterior. La ecuación de dependencia es:

$$y = 6{,}46 + 0{,}68x$$

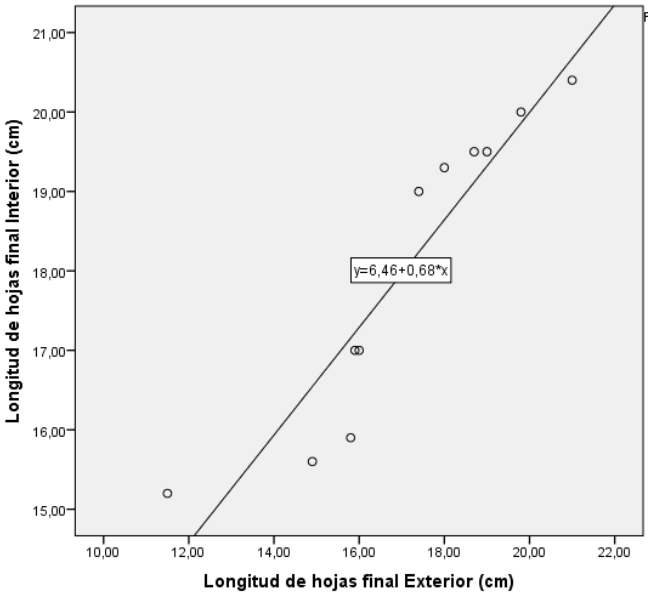


Figura 12. Modelo de correlación existente entre Longitud de Hojas ubicadas en el interior y exterior del invernadero en la octava semana.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

El programa estadístico STATGRAPHICS arroja un resultado $R^2 = 0{,}870$ que es el cuadrado del coeficiente de correlación de momento del producto Pearson mediante los puntos de datos conocidos de Y y X. Sabiendo esto el resultado de correlación existente entre las variables es $R = 0{,}93$. El procedimiento ejecuta una prueba t-Student para

comparar la media de las dos muestras y una prueba F para comparar las varianzas. Dado que para la prueba t-Student el P-value = 0,3113 es mayor o igual a 0,05 se acepta la H0 y se rechaza H1, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios en el nivel de significancia del 5%.

Estos resultados suponen que el las varianzas de las dos muestras son iguales. Esto se basó en la prueba F, que tiene un P-value = 0,3029 mayor o igual a 0,05. Los resultados anteriores supongamos que las poblaciones de las que provienen las muestras pueden ser representado por distribuciones normales.

También se realizó la prueba de Shapiro – Wilks para asegurarnos acerca de la distribución normal. Los P-value resultantes fueron 0,2219 y 0,7483 tanto para el interior como para el exterior, respectivamente.

6.4. Cálculo de Regresión Lineal Simple de Ancho de hojas de *Solanum betaceum* (tomate de arbol) ubicadas en el interior y exterior del invernadero.

El análisis muestra la relación entre la variación de la ancho de hojas en el interior y exterior . La ecuación de dependencia es:

$$y = -0{,}34 + 1{,}05x$$

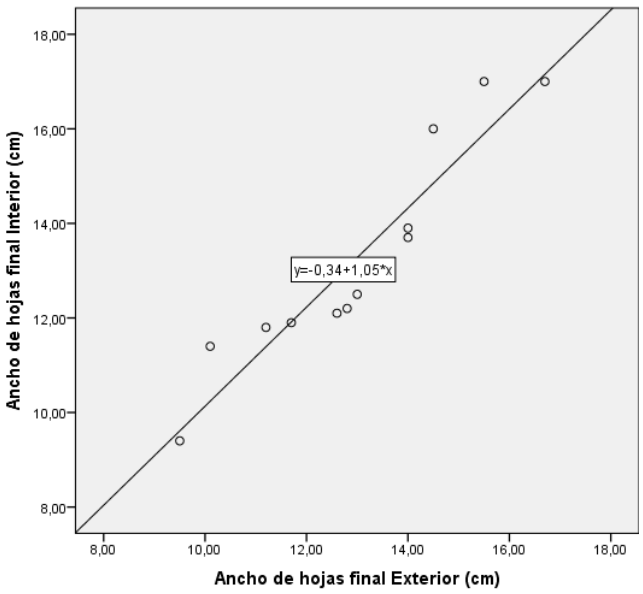


Figura 13. Modelo de correlación existente entre Ancho de hojas ubicadas en el interior y exterior del invernadero en la octava semana.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

El programa estadístico STATGRAPHICS arroja un resultado $R^2 = 0{,}892$ que es el cuadrado del coeficiente de correlación de momento del producto Pearson mediante los puntos de datos conocidos de Y y X. Sabiendo esto el resultado de correlación existente entre las variables es $R = 0{,}94$. El procedimiento ejecuta una prueba t-Student para comparar los promedios de las dos muestras y una prueba F para comparar las varianzas. Dado para prueba la t-Student el el P-value = 0,7675 es mayor o igual a 0,05 en este caso se acepta la H0 y se rechaza H1, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre lass medias en el 5% de nivel de significancia..

Estos resultados suponen que las varianzas de las dos muestras son iguales. Esto se basó en la prueba F, que tiene un P-value = 0,7372 mayor o igual a 0,05. Los resultados anteriores suponen que las poblaciones de las que provienen las muestras pueden ser representadas por distribuciones normales.

También se realizó la prueba de Shapiro – Wilks para asegurarnos acerca de la distribución normal. Los P-values resultantes fueron 0,2174 y 0,9853 tanto para el interior como para el exterior, respectivamente.

Ya implementado el tratamiento geotérmico a continuación se realiza una comparación descriptiva de los resultados obtenidos a cielo abierto y el sistema de calefacción aplicado dentro del invernadero, como se puede observar en el **objetivo específico cuatro.**

6.5. Análisis comparativo de parámetros en el exterior e interior del invernadero.

En este punto se hace un análisis cuantitativo de la forma de crecimiento de las plantas en todos los parámetros estudiados, a saber, la altura de planta, diámetro de tallo, longitud de hoja y ancho de hoja. Para cada caso se seleccionaron dos plantas, una que muestra las dimensiones máximas para cada parámetro y de igual manera una que muestra el menor crecimiento para cada parámetro, es decir dimensión máxima alcanzada y otra que indica la dimensión mínima lograda de las doce ubicadas en cada tratamiento, seleccionadas tanto de la parte exterior y otra de la interior.

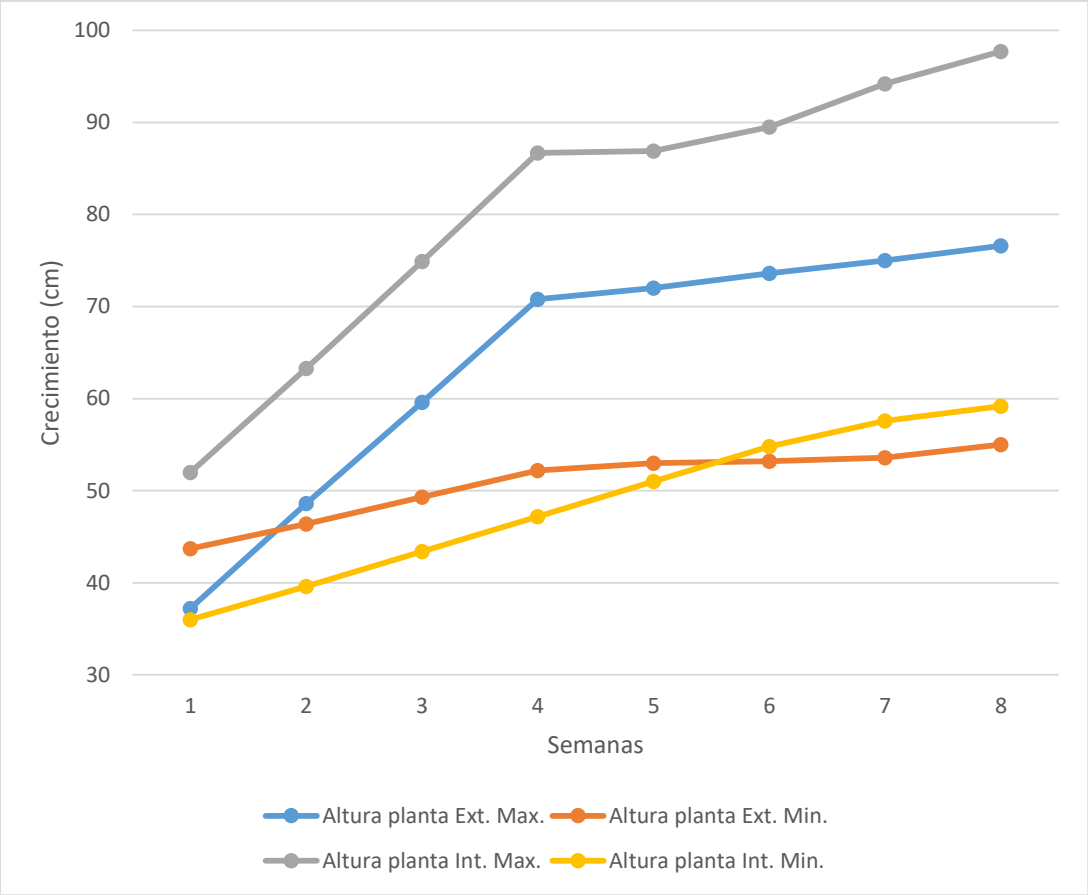


Figura 14. Comparación de promedios máximos y mínimos de altura de las plantas en el exterior e interior del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 14 observamos el parámetro medido que es la altura de plantas, donde se hace más notable la diferencia entre las plantas ubicadas en el exterior con las ubicadas en el interior del invernadero; podemos notar un mayor crecimiento en el tratamiento del invernadero calefaccionado. El promedio máximo en el exterior para la primera medición fue de 37,2 cm y la última de 76,6 cm dando una diferencia de 39,4 cm; el promedio máximo en el interior va desde los 52 cm hasta los 97,7 cm dando una diferencia de 45,7cm. Se realizó una prueba t-Student para ver si esta diferencia es significativa o no, dando como resultado P-value = 0,0481 dicho valor P para la prueba t es menor que 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios en el 5% Nivel significativo.

El promedio mínimo en el exterior que va desde los 43,7 cm hasta los 55 cm dando una diferencia de 11,3 cm; el promedio mínimo en el interior va desde los 36 cm hasta los 59,2 cm con una diferencia de 23,2 cm, se realizó una prueba t-Student dando como

resultado un P-value = 0,52 dado que el valor P para la prueba t es mayor o igual a 0,05, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios.

En los dos casos es importante recalcar que en el interior del invernadero las plantas elegidas alcanzaron un mayor desarrollo en su altura.

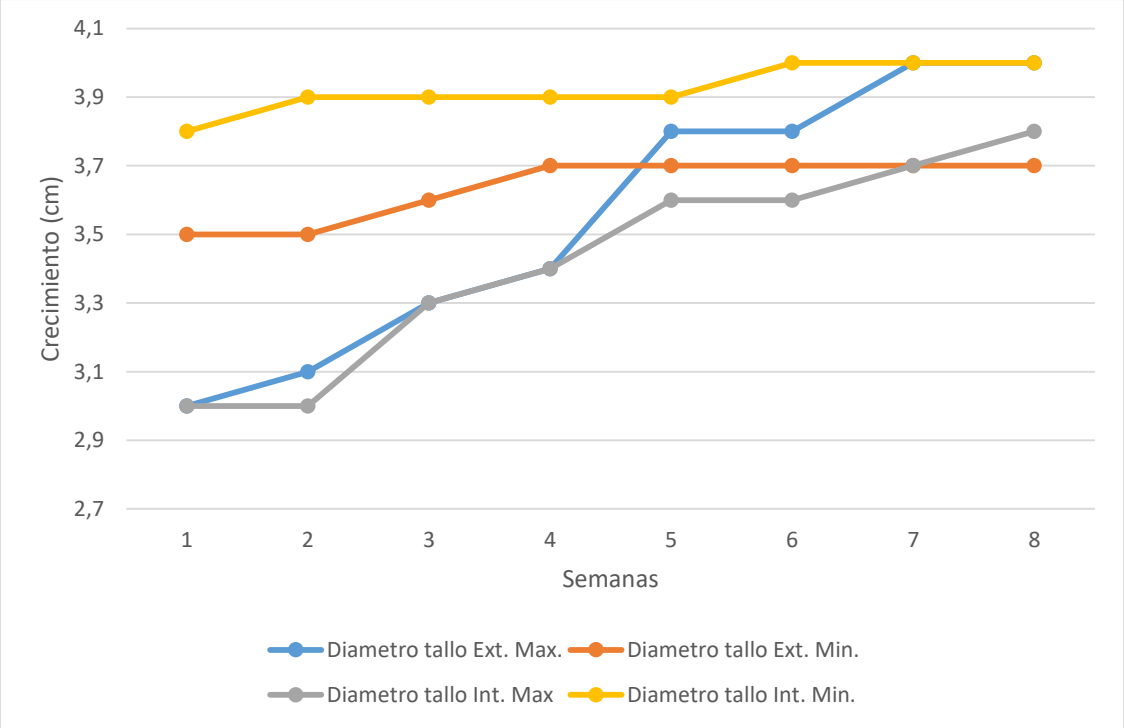


Figura 15. Comparación de promedios máximos y mínimos del diámetro de tallo de las plantas en el exterior e interior del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 15 observamos el parámetro diámetro de tallo y notamos que el crecimiento aquí es solo de milímetros, debido al tiempo que duro el proyecto no se hace más notable. El promedio la máximo en el exterior para la primera medición fue de 3 cm y la ultima de 4 cm dando una diferencia de 1 cm; el promedio máximo en el interior va desde los 3 cm hasta los 3,8 cm dando una diferencia de 0,8 cm; se realizó una prueba t-Student para ver si esta diferencia es significativa o no, dando como resultado P-value = 0,0955 dado que este valor P para la prueba t es mayor que o igual a 0,05, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios.

Para el promedio mínimo en el exterior va desde los 3,5 cm hasta los 3,7 cm dando una diferencia de 0,2 cm; el promedio mínimo en el interior va desde los 3,8 cm hasta los 4 cm con una diferencia de 0,2 cm y una prueba t-Student con P-value = 0,0000 dado que

el valor P para la prueba t es menor que 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios.

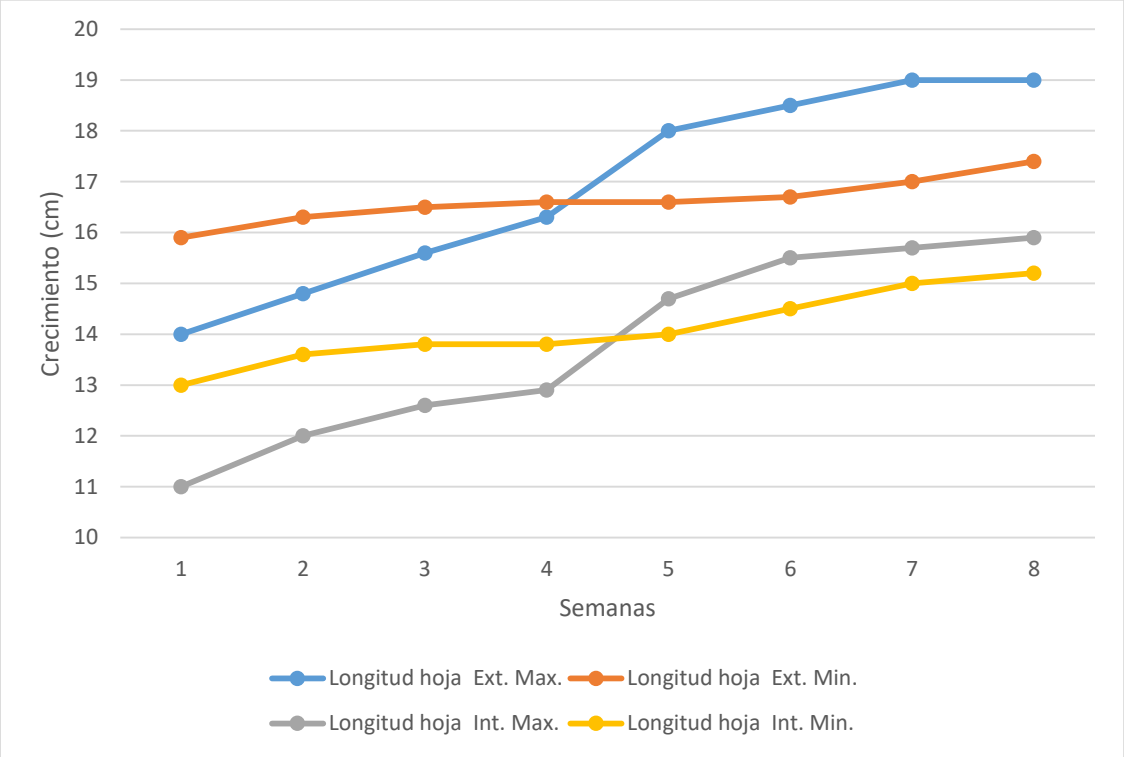


Figura 16. Comparación de promedios máximos y mínimos de longitud de hojas en el exterior e interior del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 16 observamos el parámetro medido longitud de hoja; para la máxima en el exterior la primera medición es de 14 cm y la ultima de 19 cm dando una diferencia de 5 cm; el promedio máximo en el interior va desde los 11 cm hasta los 15,9 cm dando una diferencia de 4,9 cm; el promedio mínimo en el exterior va desde los 15,9 cm hasta los 17,4 cm dando una diferencia de 1,5 cm; se realizó una prueba t-Student para ver si esta diferencia es significativa o no, dando como resultado P-value = 0,0062 mismo valor P para la prueba t que muestra que es menor que 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios.

Para el promedio mínimo en el exterior va desde los 9,7cm hasta los 11,5 dando una diferencia de 1,8cm mientras que en el interior va desde los 13 cm hasta los 15,2 cm con una diferencia de 2,2 cm. En este caso se aprecia que la diferencia se hace más notable en los promedios mínimos, prueba t-Student con P-value = 0,0000 dado que el valor P para la prueba t es menor que 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios.

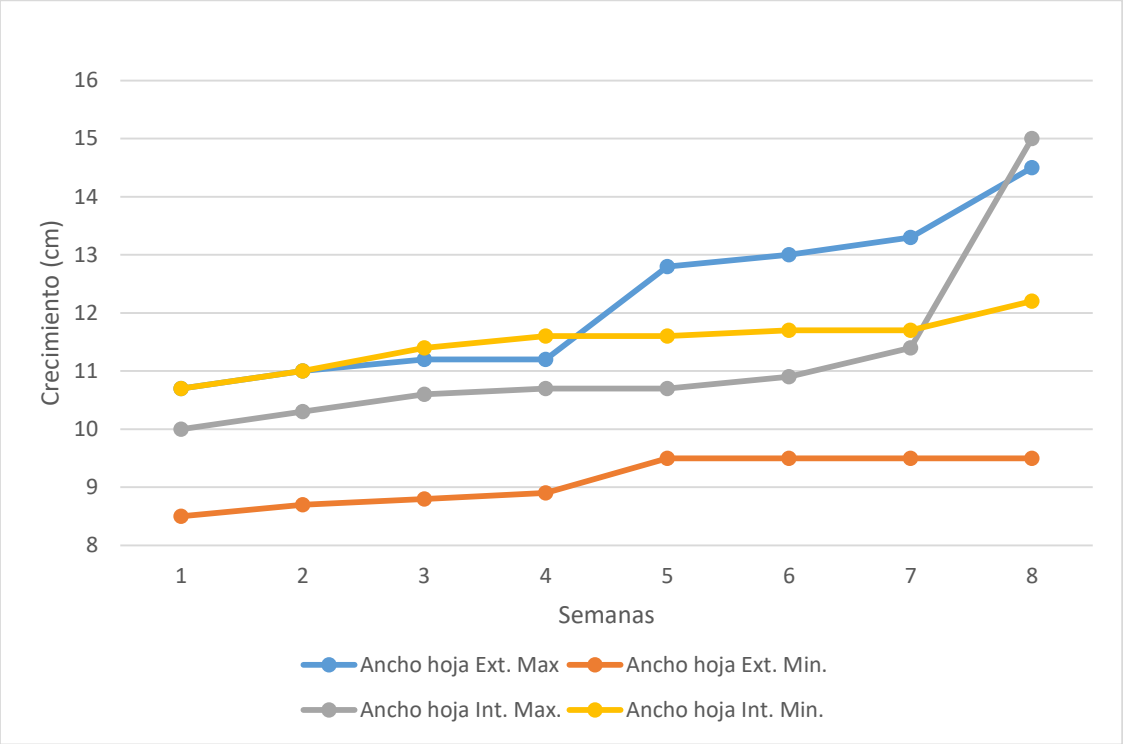


Figura 17. Comparación de promedios máximos y mínimos del ancho de hojas en el exterior e interior del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 17 observamos el parámetro medido ancho de hoja; para la máxima en el exterior la primera medición es de 10,7 cm y la ultima de 14,5 cm dando una diferencia de 3,8 cm; el promedio máximo en el interior va desde los 10 cm hasta los 15 cm dando una diferencia de 5 cm; se realizó una prueba t-Student para ver si esta diferencia es significativa o no, dando como resultado P-value = 0,1942 dado este valor P para la prueba t es mayor que o igual a 0,05, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios.

Para el promedio mínimo en el exterior va desde los 8,5 cm hasta los 9,5 cm dando una diferencia de 1 cm; el promedio mínimo en el interior va desde los 10,7 cm hasta los 12,2 cm con una diferencia de 1,5 cm, Despues de aplicar la prueba t-Student que dio un P-value = 0,0000 obtenemos que el valor P para la prueba t para la prueba t es menor que 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios.

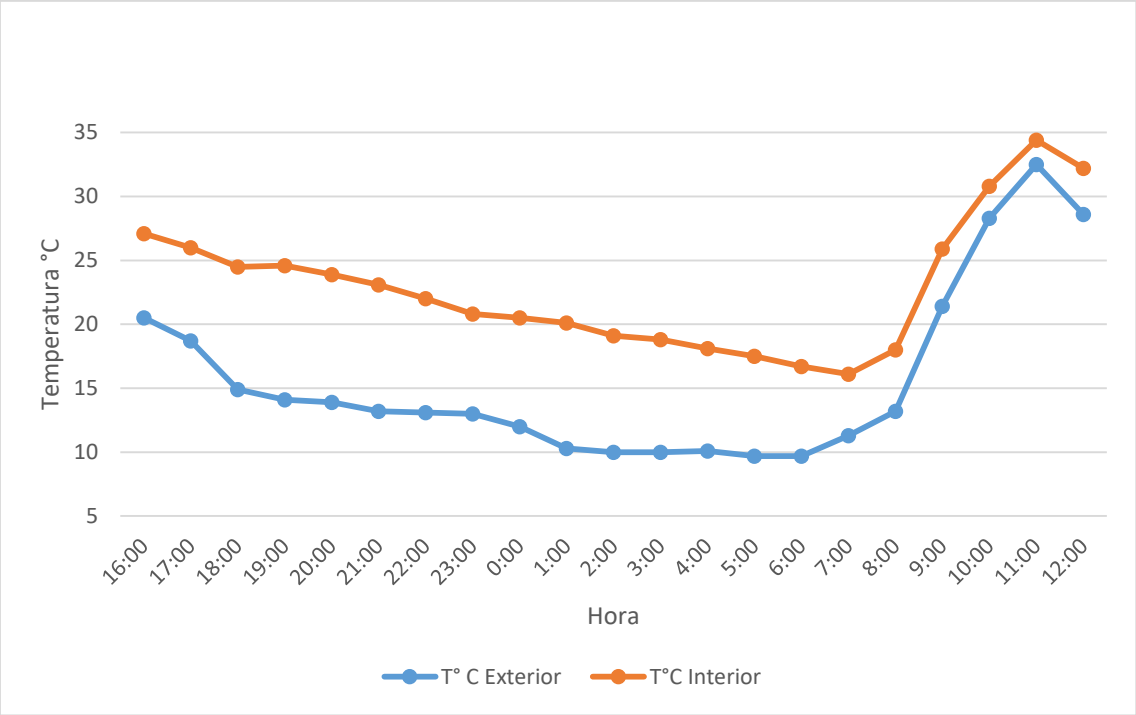


Figura 18. Variación horaria de Temperatura en el Exterior e Interior del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 18 encontramos las variaciones más importantes de temperatura durante un día al azar de toma de datos, estas variaciones empiezan a ser más notables desde las 00:00 horas con caídas de hasta 10°C con respecto a la temperatura que tenemos en horas de la tarde; vemos que la temperatura al amanecer 06:00 horas alcanza los 9,7°C en el exterior lo que según el punto 4.14.4 temperatura de esta investigación, que habla de los requerimientos para el desarrollo de la especie tratada, nos dice que las temperaturas nocturnas son determinantes en la cuaja o desarrollo total del fruto, y que debe estar en un rango de entre 15 y 22°C; mientras que este rango de temperatura si se cumple en el interior del invernadero y vemos que en el mismo recuadro esta temperatura alcanza los 17,5°C. Esta diferencia de temperatura en el exterior con respecto a la del interior del invernadero seria determinante para una buena producción del fruto.

6.1. Análisis de comparación entre los resultados promedios finales de la medición de los parámetros tanto en el exterior como en el exterior del invernadero

Tabla 3. *Resultados y comparación de las mediciones promedio de los diferentes parámetros medidos en las plantas de tomate de árbol Solanum betaceum.*

Diferencia entre el Exterior e Interior del invernadero								
Parámetros								
	Altura (cm)		Diámetro (cm)		Longitud hoja (cm)		Ancho hoja (cm)	
Exterior	Altura inicial	Altura final	Altura inicial	Altura final	Altura inicial	Altura final	Altura inicial	Altura final
	41,42	60,58	3,49	3,96	14.14	17,1	10,64	12,97
	Diferencia		Diferencia		Diferencia		Diferencia	
	19,16		0,47		2,96		2,33	
Interior	Altura inicial	Altura final	Altura inicial	Altura final	Altura inicial	Altura final	Altura inicial	Altura final
	43,97	77,58	3,56	3,98	15,03	18,03	10,73	13,24
	Diferencia		Diferencia		Diferencia		Diferencia	
	33,61		0,42		3		2,51	

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Tabla 3 observamos que de cada uno de los parámetros medidos en las plantas se ha obtenido un promedio general por tratamiento, es decir se unieron las plantas seleccionadas de las dos camas, en cada uno de los métodos, exterior e interior, para lograr un promedio, desde el primer día hasta el último día de medición. Se hace una comparación de dichos resultados obteniendo así la diferencia entre las mediciones. Como se puede ver en la Tabla 3, los valores de altura, longitud de hoja y ancho de hoja dentro del invernadero superan los valores medidos en el exterior de él. En relación al diámetro se puede ver que el rango de crecimiento fue mayor en el exterior que en el interior, pero se logró un número mayor máximo en el interior, 3,98 cm, mientras en el exterior, 3,96 cm.

6.2. Comparación de los diferentes parámetros de las plantas con la Humedad Relativa en el exterior del invernadero.

Se hace una relación entre la variación de los diferentes parámetros de la planta con la variación de la humedad relativa en el exterior del invernadero para lo cual se usaron los

datos expuestos en la Tabla 5. Semanalmente se tomaron los datos de las plantas para luego calcular la media de cada uno de los parámetros y así compararlas con la humedad relativa diaria. El primer día de medición fue el 09 de septiembre y el último después de 56 días, es decir el 04 de noviembre del 2017.

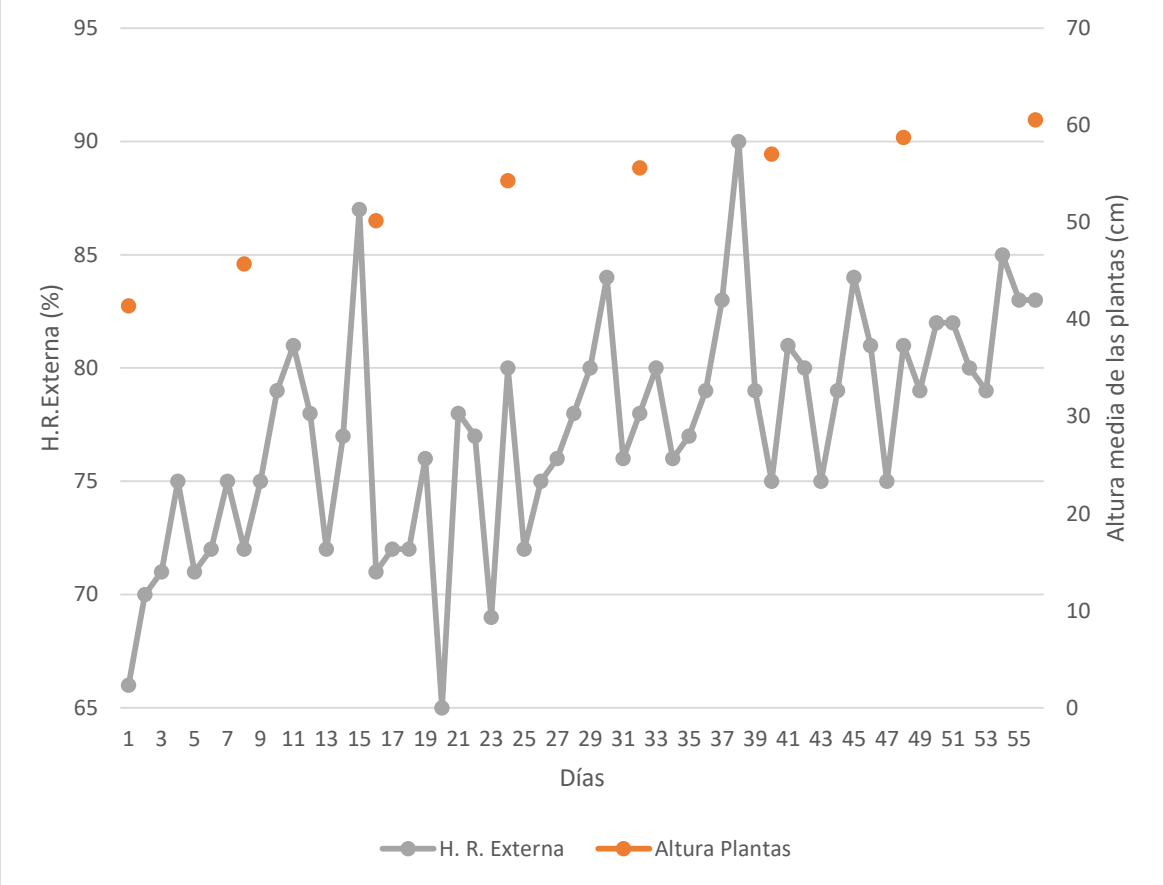


Figura 19. Altura media de las plantas con relación a la humedad relativa Externa del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 19 se puede observar el aumento de la humedad relativa desde el primer día de medición hasta el último. De igual manera se puede ver el crecimiento paulatino de la altura de la planta. Su rango de crecimiento fue de 19 cm.

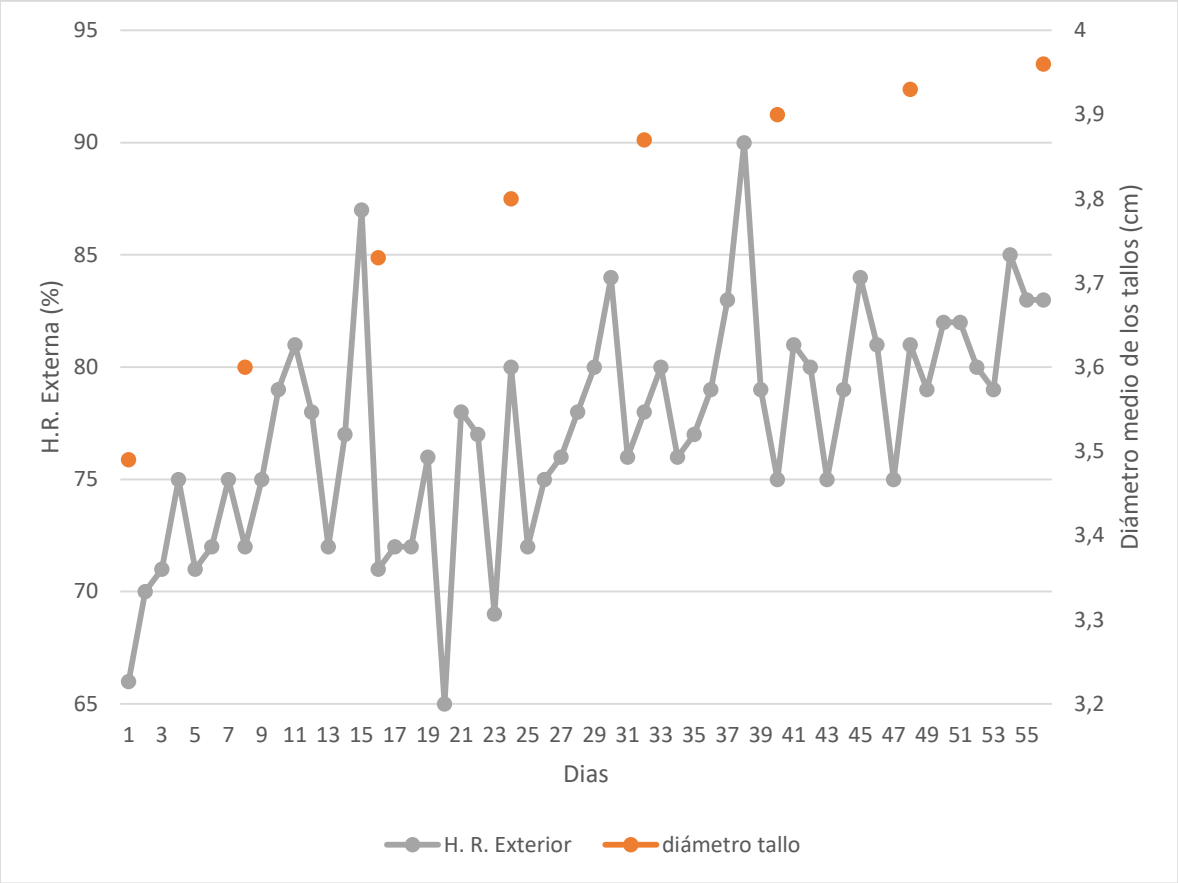


Figura 20. Diámetro medio de los tallos de las plantas con relación a la humedad relativa Externa del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 20 se aprecia como el diámetro del tallo de las plantas va en aumento con mayor notoriedad en el primer mes desde la implementación de las plantas fuera del invernadero.

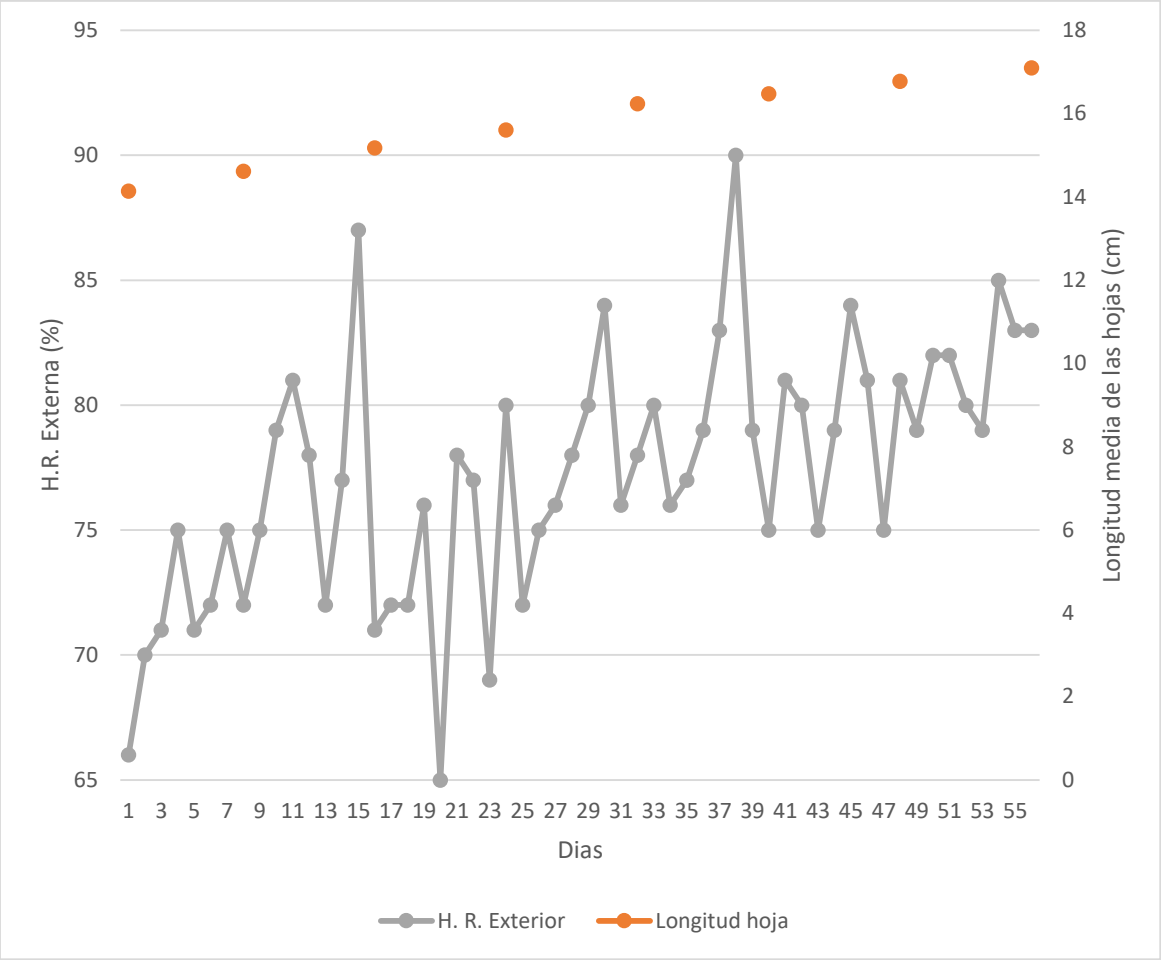


Figura 21. Longitud media de las hojas de las plantas con relación a la humedad relativa Externa del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 21 se observa que la longitud de las hojas de las plantas seleccionadas ubicadas en el exterior del invernadero ha tenido un crecimiento cuasi lineal desde el primer día de medición con un aumento de 2,5 cm durante las ocho semanas de duración.

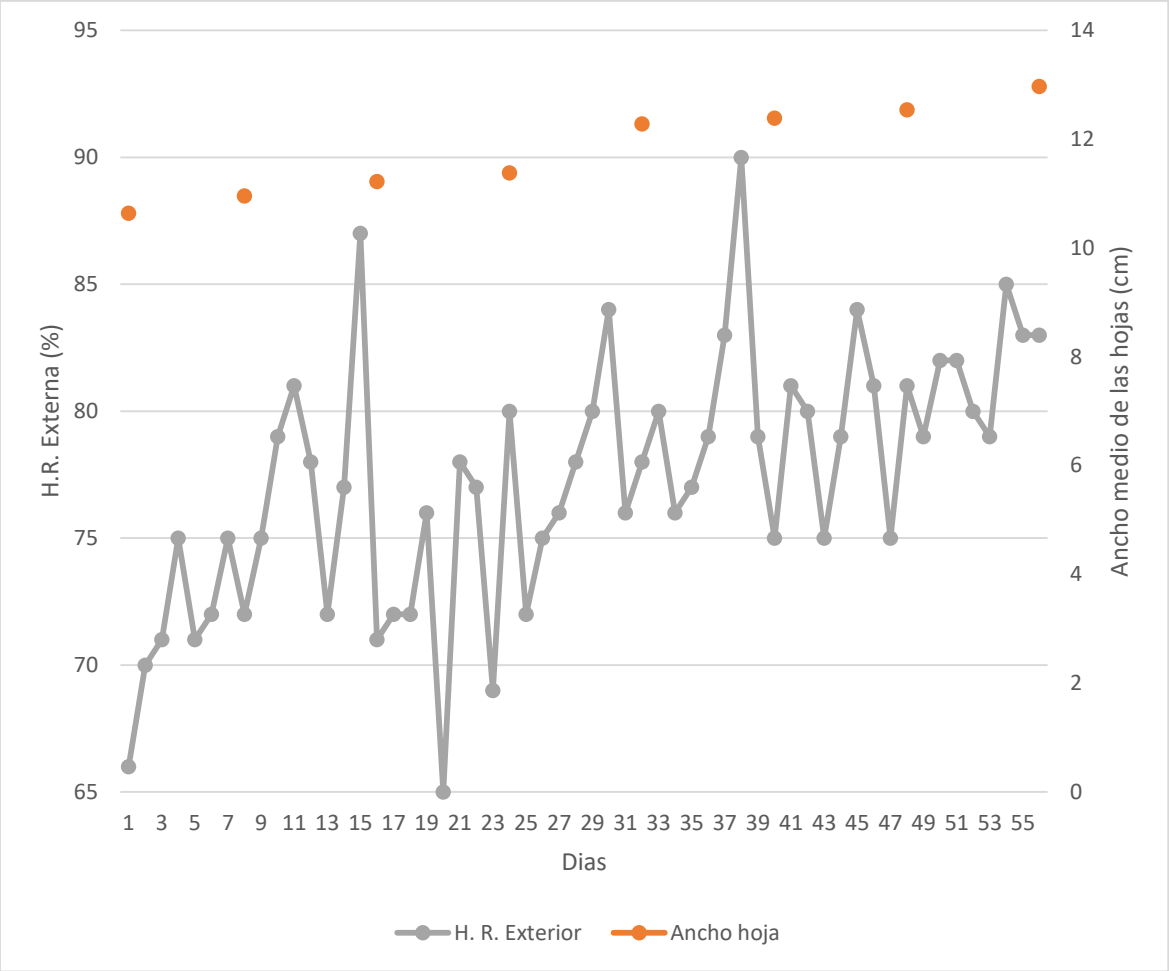


Figura 22. Ancho medio de las hojas de las plantas con relación a la humedad relativa Externa del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 22 se puede ver que el ancho de las hojas de las plantas no ha tenido una variación muy importante exceptuando la medición del día 38 donde se hace más notable un aumento donde el valor de la Humedad Relativa es de 90%.

6.3. Comparación de los diferentes parámetros de las plantas con la Humedad Relativa en el interior del invernadero.

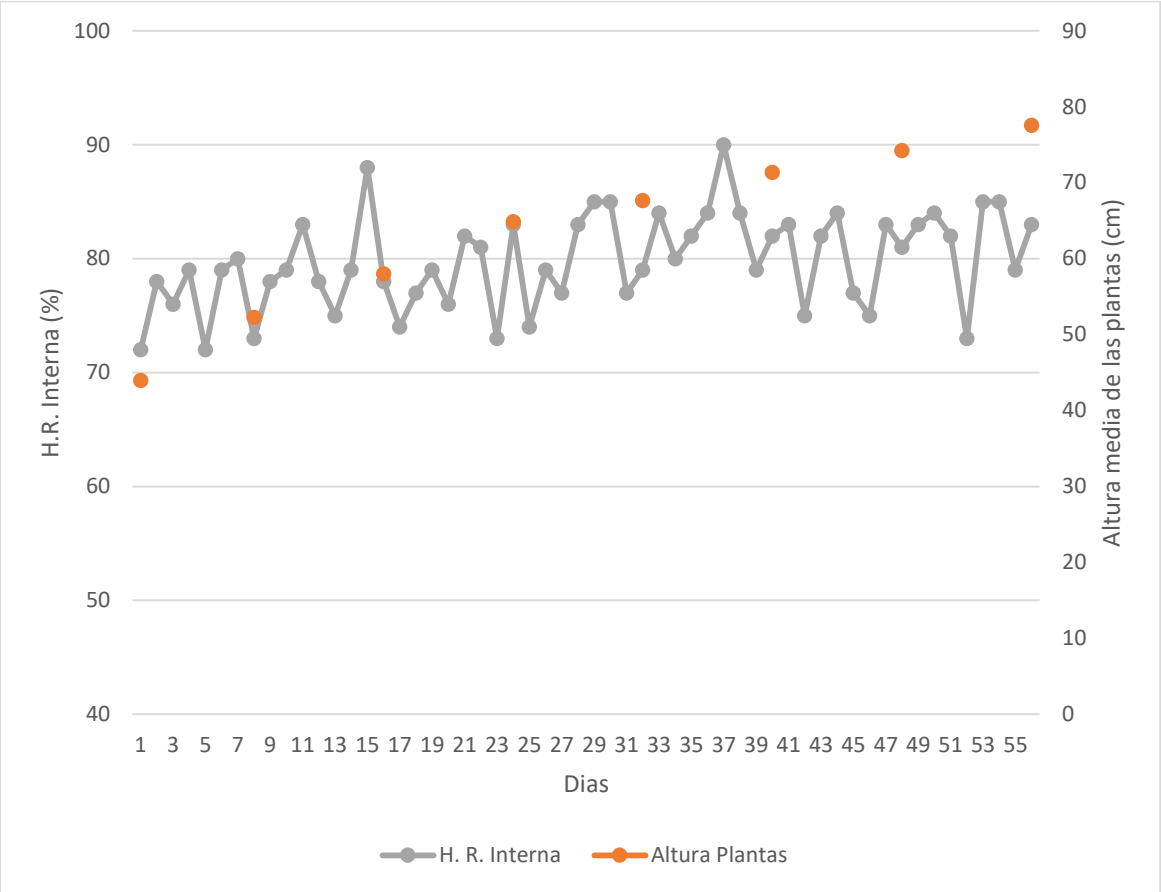


Figura 23. Altura media de las plantas con relación a la humedad relativa Interna del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 23 se muestra el crecimiento en la altura de las plantas ubicadas en el interior el invernadero, al final de la octava semana alcanzó una variación de 33cm de altura.

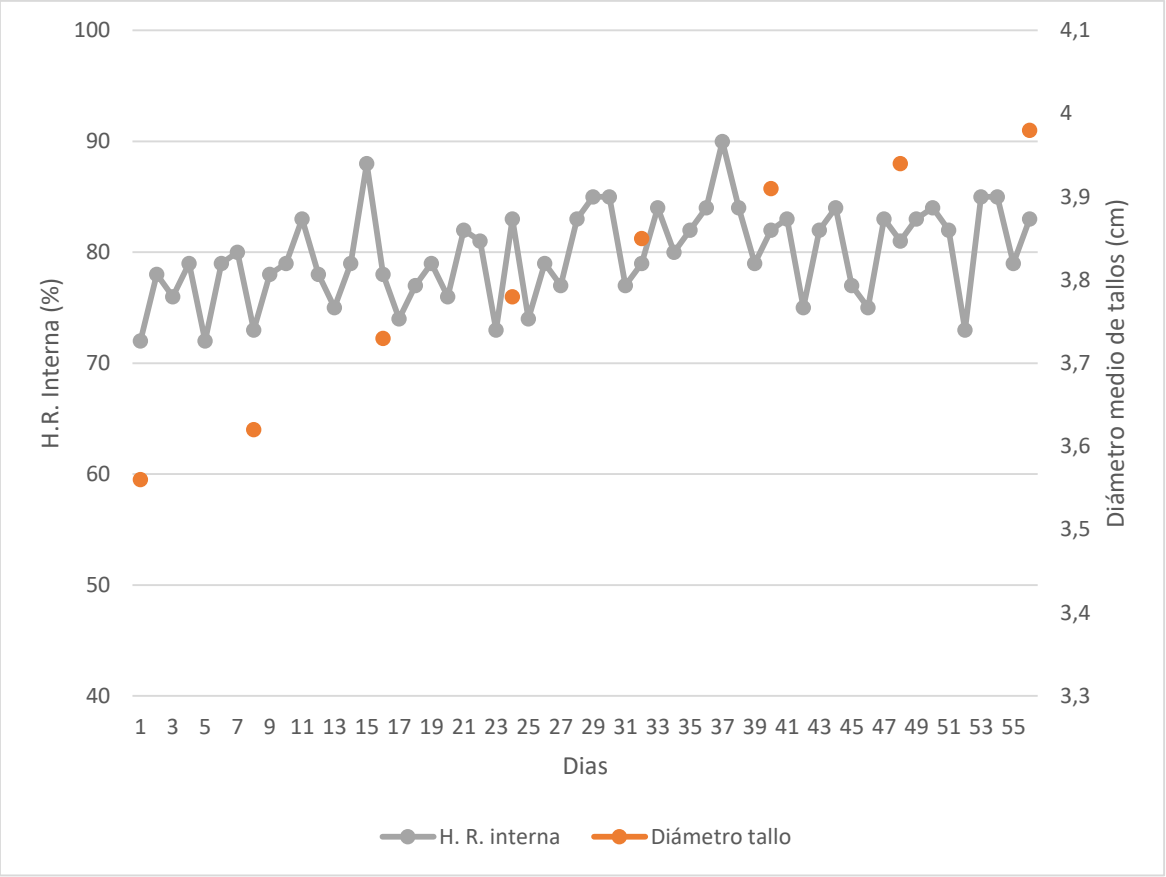


Figura 24. Diámetro medio de los tallos con relación a la humedad relativa Interna del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 24 podemos observar el crecimiento en el diámetro del tallo de las plantas con respecto a la variante de Humedad Relativa interna y vemos que este crecimiento ha sido paulatino desde el primer día, logrando un aumento de aproximadamente 0,42 cm hasta el último día de medición.

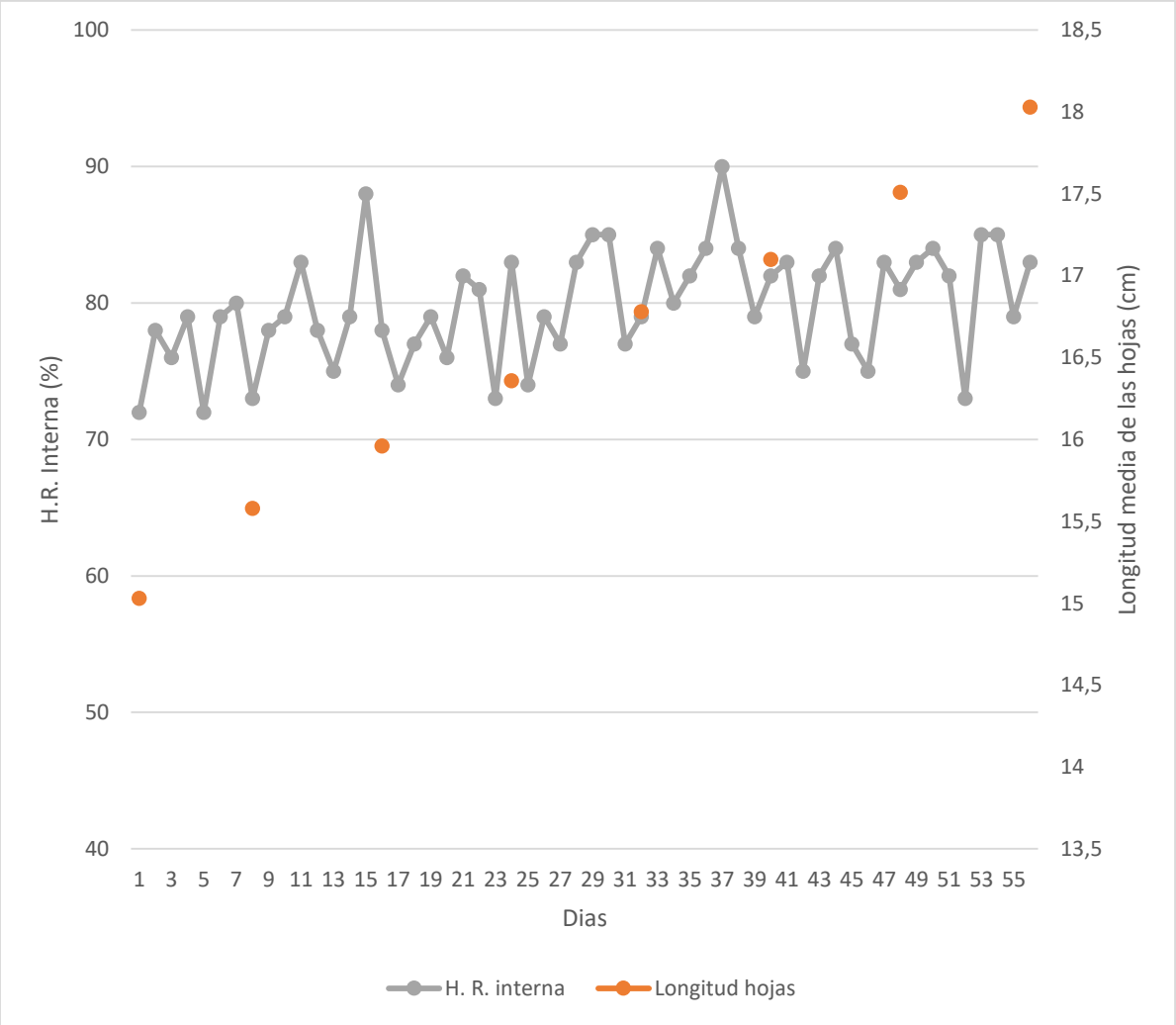


Figura 25. Longitud media de las hojas de las plantas con relación a la humedad relativa Interna del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 25 se observa el aumento de la longitud de las hojas de las plantas seleccionadas con la variante de la Humedad Relativa dentro del invernadero, posee un crecimiento continuo durante los 56 días de mediciones.

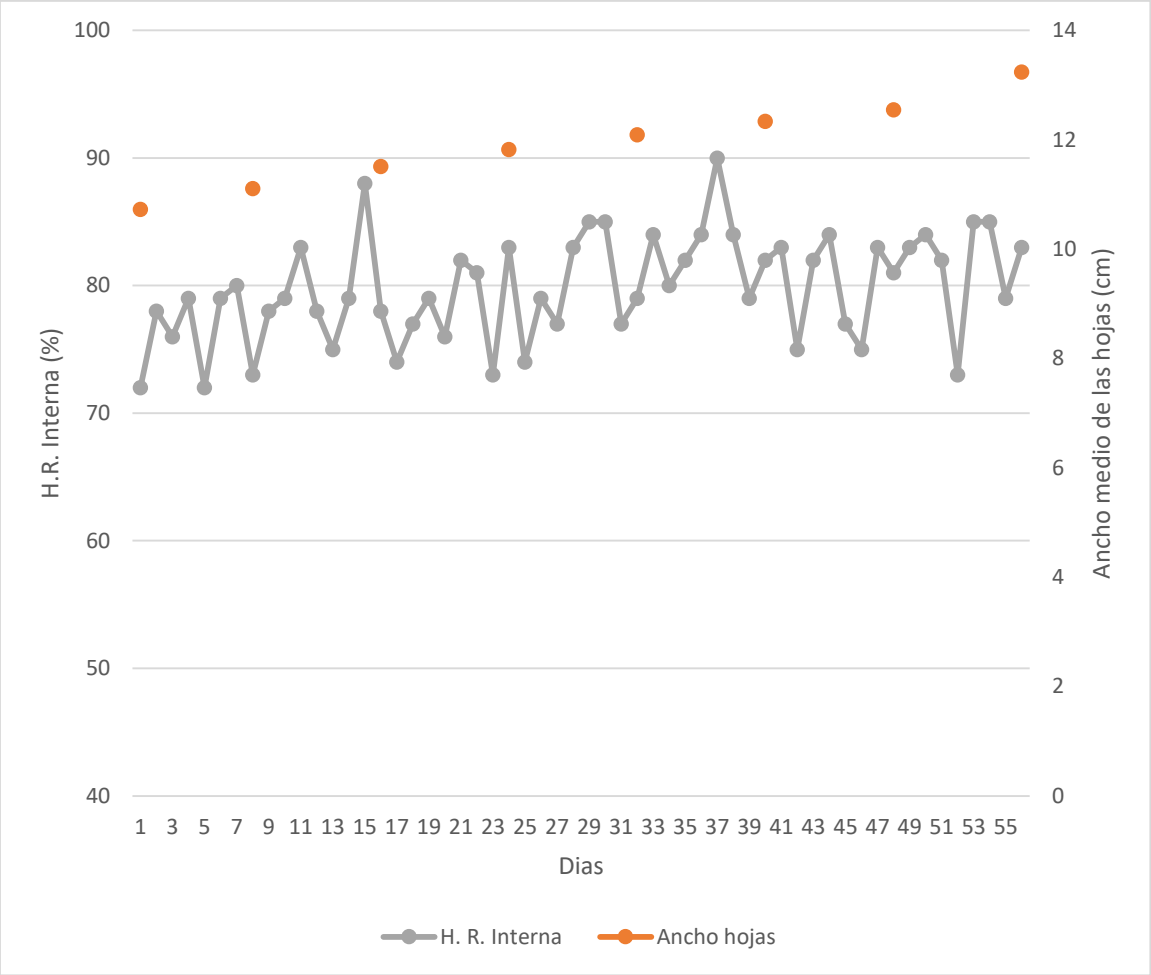


Figura 26. Ancho medio de las hojas de las plantas con relación a la humedad relativa Interna del invernadero.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 26 se puede ver que el ancho de las hojas de las plantas ha tenido una variación importante, se observa un crecimiento lineal con respecto a la Humedad Relativa interna con un aumento de menos de 3cm durante las ocho semanas de aplicación.

6.4. Relación temperatura, humedad relativa ambiente y parámetros del exterior (tratamiento 1).

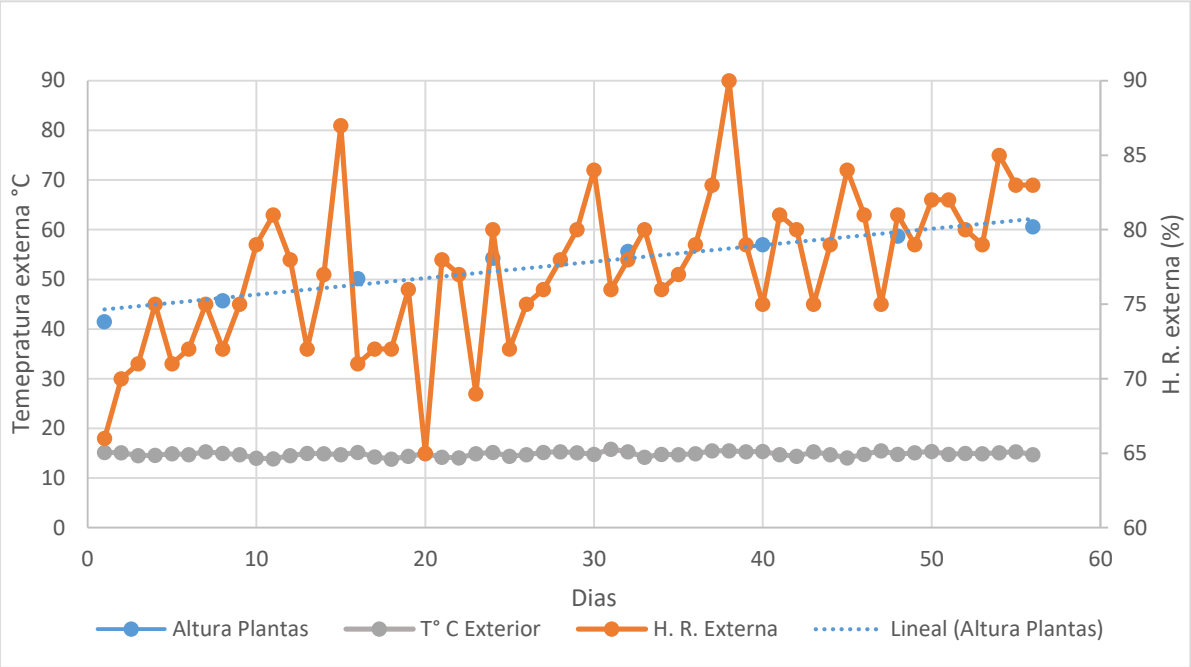


Figura 27. Relación entre temperatura y humedad relativa en el exterior del invernadero con la altura de plantas.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 27 se aprecia que la temperatura sigue una tendencia sin variaciones significantes, con un rango de variación de 1,8 °C, la variación de la humedad relativa va desde el 66% hasta el 83%, cuyo rango de variación es de 17% entre el valor mínimo y máximo. El crecimiento de las plantas es paulatino desde el primer día de medición, variando desde los 41,42 cm hasta los 60,58 cm, dentro de un rango de 19,16 cm.

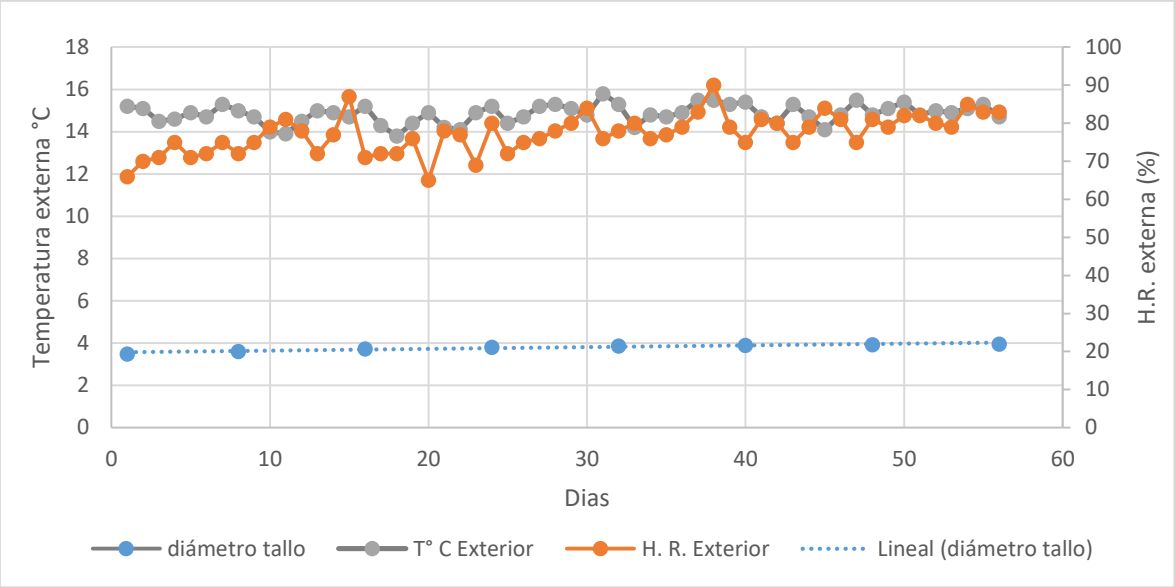


Figura 28. Relación entre temperatura y humedad relativa en el exterior del invernadero con el diámetro de tallo de las plantas.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 28 se aprecia como el diámetro del tallo de las plantas va en aumento con mayor notoriedad en el primer mes y así mismo la humedad relativa aumenta llegando a una media de 77,29%, mientras que la temperatura sigue una tendencia lineal desde la implementación de las plantas fuera del invernadero.

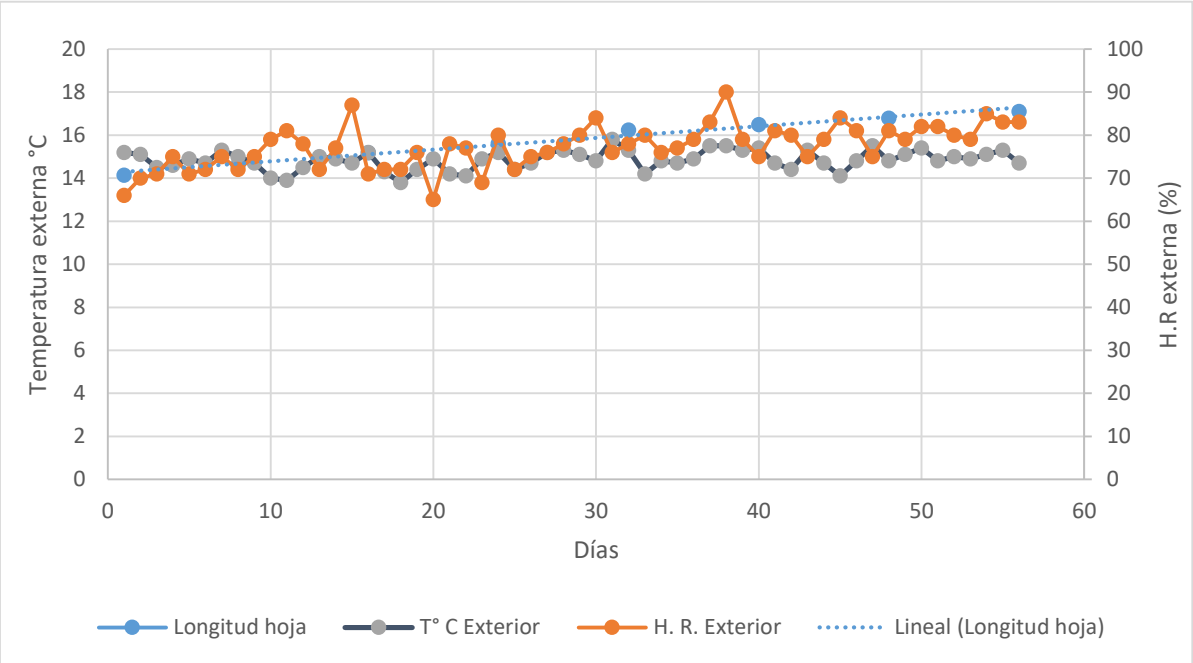


Figura 29. Relación entre temperatura y humedad relativa en el exterior del invernadero con la longitud de hojas.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 29 tenemos la longitud de las hojas de las plantas seleccionadas estas han tenido un crecimiento cuasi lineal al igual que la temperatura, a comparación de la humedad relativa desde el primer día de medición con una diferencia del 17% del primer día al último durante las ocho semanas de duración.

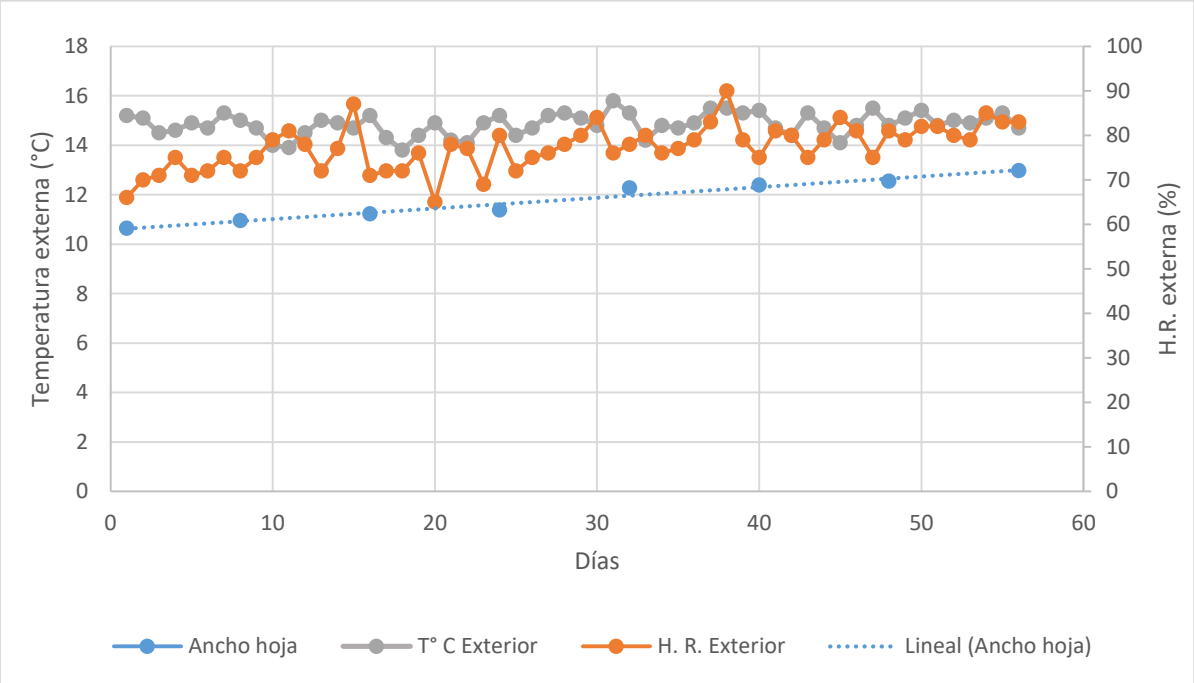


Figura 30. Relación entre temperatura y humedad relativa en el exterior del invernadero con el ancho de hojas.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 30 se puede ver que el ancho de las hojas de las plantas no ha tenido una variación muy importante, se hace más notable un aumento donde el valor de la Humedad Relativa es de 76%.

6.5. Relación entre temperatura, humedad relativa ambiente y parámetros del interior (tratamiento 2).

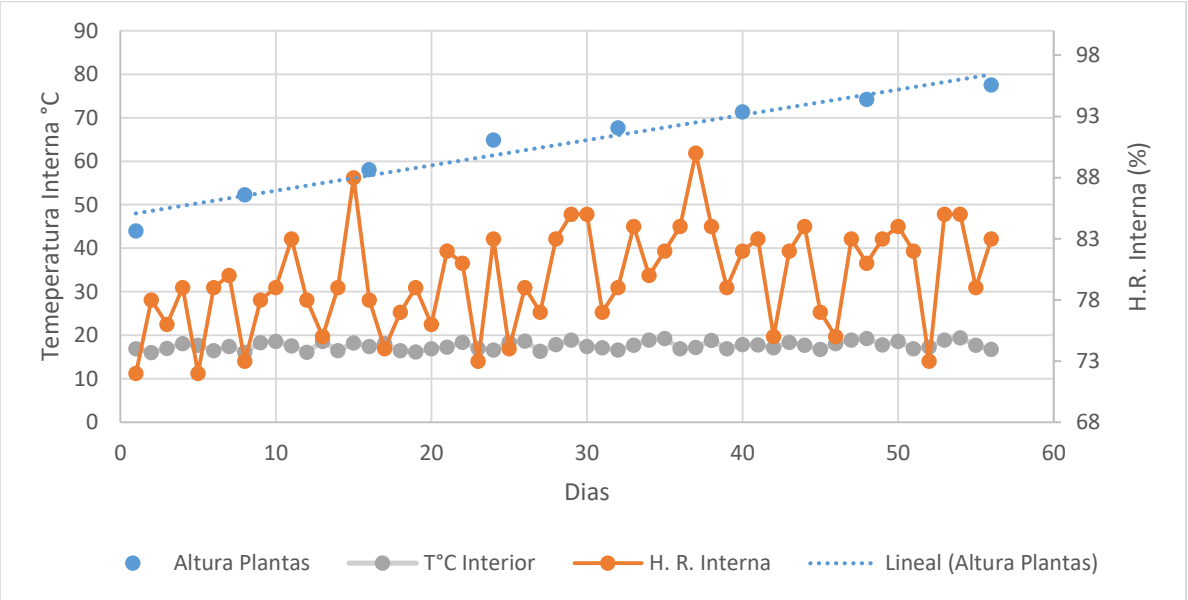


Figura 31. Relación entre temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero con la altura de plantas.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 31 se muestra el crecimiento en la altura de las plantas ubicadas en el interior el invernadero, se nota que el aumento de tamaño más grande fue en el día 24 dentro del primer mes de mediciones al final de la octava semana alcanzó una variación de 33cm de altura., la humedad relativa ha tenido una variación más notable con una media de 79,82% a comparación de la temperatura que se ve ha sido estable alcanzando una media de 17,61°C.

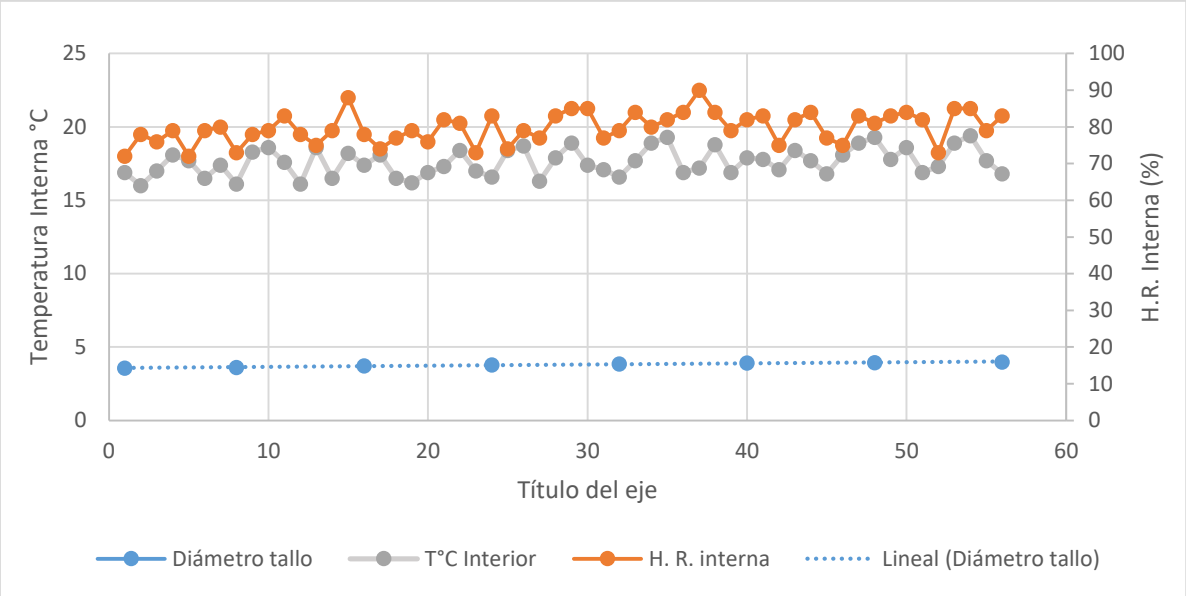


Figura 32. Relación entre temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero con el diámetro de tallo de las plantas.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 32 podemos observar el crecimiento en el diámetro del tallo de las plantas con respecto a la variante de Humedad Relativa interna y vemos que este crecimiento es pequeño con un rango de variación de 0,42 cm.

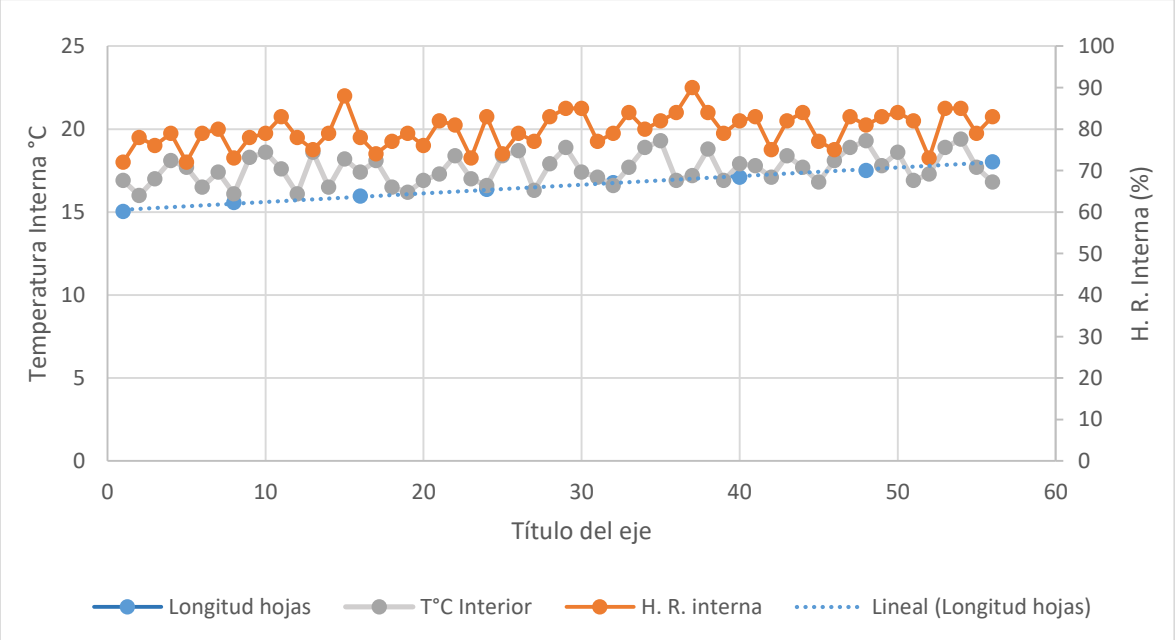


Figura 33. Relación entre temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero con la longitud de hojas.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 33 se observa el aumento de la longitud de las hojas de las plantas seleccionada con la variante de la Humedad Relativa con una variación del 72% el menor a un 90% el más alto dentro del invernadero, posee un crecimiento continuo durante los 56 días de mediciones.

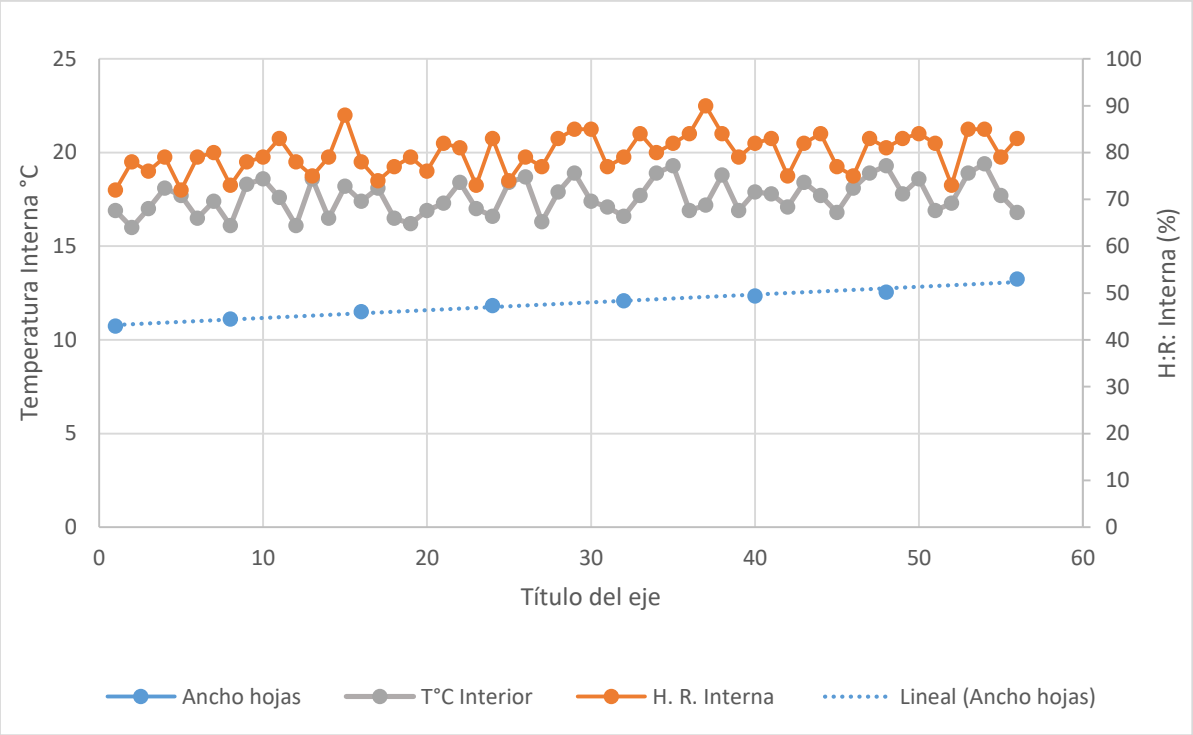


Figura 34. Relación entre temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero con el ancho de hojas.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 34 se puede ver que el ancho de las hojas de las plantas ha tenido una variación importante, con un aumento de cerca de 3cm durante las ocho semanas de aplicación, se observa un crecimiento lineal con respecto a la temperatura y Humedad Relativa interna.

6.6. Discusión.

La Humedad Relativa que es la cantidad de vapor de agua contenido en el aire es fundamental para el desarrollo de las plantas, El objetivo principal de la instalación del invernadero calefaccionado con agua termal es el de mantener las plantas seleccionada ubicadas dentro del invernadero bajo un microclima controlado con el cual tendrán un mejoramiento en su crecimiento.

Los resultados al cabo de ocho semanas de registro de datos son favorables para el proyecto, puesto que las plantas de *Solanum betaceum* (tomate de árbol) que estuvieron bajo el tratamiento del invernadero en el interior se desarrollan de mejor forma que las plantas que las ubicadas al exterior del invernadero, el parámetro medido más notable fue el de la altura de las plantas lo cual se demostró descriptivamente, ya que se puede apreciar de mejor manera la diferencia entre tratamientos puesto que, las plantas en el interior del invernadero denotan mejores resultados a comparación de las ubicadas en el exterior, lo que nos dice que el invernadero cumple con su objetivo de mejorar el desarrollo, de igual manera estadísticamente se comprobó según los resultados obtenidos que los tratamientos aplicados son diferentes aceptando la hipótesis alternativa H1.

Las mediciones de Humedad relativa en el interior del invernadero calefaccionado fueron más altas y constantes que las del exterior, poniendo en evidencia el mejoramiento del microclima donde se desarrollaron las plantas, demostrando así que se puede llevar acabo la implementación de invernaderos que sean calefaccionados mediante energía renovable evitando así el uso de combustibles fósiles y por tanto disminuyendo emisiones prácticamente a cero, lo cual es de gran ayuda para el medio ambiente y su sustentabilidad con prácticas agrícolas eco amigables.

7. CONCLUSIONES.

La fuente de agua termal elegida después de realizar las salidas de campo exploratorias, fue la ubicada en los puntos X= 0806860, Y= 0051029 y situada a una altura de 2830 m.s.n.m. La misma que posee un caudal medio de Q = 0,15 l/s adecuada para satisfacer las necesidades volumétricas. Su temperatura media fue de 44,8 °C.

Con el cálculo de la energía desprendida de la tubería calefaccionada por el agua termal, cuyo valor fue de $Q = 2{,}27232.10^2\ J\ .Kg/día$, que es una energía extra recibida por el invernadero, se pudo determinar que ese aumento de energía influye de manera notable en el desarrollo de la planta en el interior de él. Esta cantidad extra de energía recibida en el interior con relación a la parte exterior que no recibe nada extra, es lo que hace suponer que las plantas se desarrollen de mejor manera.

Se realizaron modelos de correlación entre las variables, parámetros medidos tanto en el interior como en el exterior del invernadero, así mismo se realizó su respectivo análisis estadístico, arrojando como resultado que, el parámetro medido altura de las plantas fue el único en el cual se aceptó la hipótesis H1 que dice que el tratamiento uno (interior) es diferente que el tratamiento dos (exterior) del invernadero con un resultado de prueba t P-value = 0.0034 menor que 0,05.

Comparando los resultados obtenidos del experimento en el exterior y en el interior del invernadero, se observó que los parámetros medidos altura de plantas, longitud y ancho de hojas en el interior han crecido de manera más considerable en relación a las del exterior como se pudo observar en las figuras del análisis comparativo de parámetros en el punto 6.13 de resultados. En el caso del diámetro se obtuvo un rango de crecimiento mayor en las plantas del exterior, pero en todo caso, en el promedio general, el diámetro de las plantas del interior logró alcanzar un mayor máximo que las del exterior.

El efecto de la humedad relativa sobre las plantas es conocido por la incidencia que tiene esto sobre su desarrollo, al ser controlada dentro del invernadero los efectos pueden involucrar un mejor desarrollo sobre las plantas con el consiguiente benéfico ambiental.

En cuanto al desarrollo fisiológico de las plantas, se puede concluir que realizando el análisis estadístico de los datos obtenidos durante las ocho semanas que duró la

compilación, se obtuvieron resultados favorables para el tratamiento del invernadero calefaccionado con el potencial geotérmico del agua de Chachimbiro.

8. RECOMENDACIONES.

Al ser sólo un prototipo para trabajo de tesis es importante recomendar que, si se quiere tomar el tema para futuras investigaciones, se elija una zona accesible.

Al momento de ser adecuado dicho proyecto, tomar en cuenta que se necesita de mano de obra que tenga experiencia en la construcción de invernaderos, así mismo de personas que sepan realizar el trabajo en las tuberías a ser utilizadas, ya que estas al ser de acero galvanizado requieren ser cortadas y si este paso se lo hace de forma equivocada presentaran problemas al momento de ser instaladas.

Para la especie (*Solanum betaceum)* que fue la tratada en este proyecto se recomienda su riego periódicamente ya que si no se lo hace la planta puede sufrir deshidratación y por ende fallas en su desarrollo, así como la caída de sus órganos como las hojas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Alexander, L. M. (2012). Hortalizas. Obtenido de http://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/invernadero/6-recomendaciones-para-la-ubicacion-de-tu-invernadero/

Álvarez, O. G. (2014). Proyecto de aprovechamiento geotérmico para el uso hortícola en Vegas del Condado, León. Obtenido de https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/4107/jul2014_m%C3%A1ster_71430158R.pdf?sequence=1

Ambientum. (2011). Climatización en invernaderos con energía geotérmica. Obtenido de http://www.ambientum.com/revista/2011/abril/Climatizacion-invernaderos-energia-geotermica.asp

Anifantis, A. S., Pascuzzi, S., & Scarascia-Mugnozza, G. (2016). Geothermal Source Heat Pump Performance for a Greenhouse Heating System: An Experimental Study. Obtenido de http://www.agroengineering.org/index.php/jae/article/view/544/577

Arconel, E. (2015). Ecuador posee un 51,78% de energía renovable. Obtenido de http://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/

Babi, Y., Dobbi, A., Saighi, M., & Bouchekima, B. (2007). *Heating an agricultural greenhouse by using geothermal energy* Obtenido de www.cder.dz/download/cer07_60.pdf

Bijloo, R. (2014). Relación entre temperatura y humedad relativa. Obtenido de http://meteobenidorm.blogspot.com/2014/03/relacion-entre-temperatura-y-humedad.html

Ceratti, M. K. (Agosto de 2016). El País. Obtenido de http://internacional.elpais.com/internacional/2016/08/16/america/1471370983_126959.html

Dell, R., Wei, C., Sidebotham, G., Guido, V., Cataldo, J., Smolar, K., & Bronfman, A. (2011). Geothermal Heat in Agriculture: Preliminary Results of an Energy Intensive

System in Iceland. Obtenido de http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/makalinao2/docs/30-3-art2.pdf

EcuRed. (s.f.). Coeficiente de Kendall. Obtenido de https://www.ecured.cu/Coeficiente_de_Kendall

EGEC. (s.f.). Uso de la energía geotérmica en la agricultura. Obtenido de http://www.piensageotermia.com/egec-uso-de-la-energia-geotermica-en-la-agricultura/

EVE. (2008). Energía geotérmica de baja entalpía. Obtenido de http://www.bizkaia.eus/Kultura/kirolak/pdf/jun08.pdf

energylab. (2009). Fundamentos de la Energía Geotérmica. Obtenido de http://www.energylab.es/fotos/120118122309_IXjr.pdf

emol. (2013). Obtenido de http://www.emol.com/noticias/economia/2013/09/17/620353/crean-primer-invernadero-climatizado-con-energia-geotermica-para-mejorar-cultivos.html

erenovable. (Marzo de 2016). Energía Geotérmica. Obtenido de http://erenovable.com/energia-geotermica/

FAO. (2015). Nuevas oportunidades en la energía geotérmica para los países en desarrollo. Obtenido de http://www.fao.org/news/story/es/item/282648/icode/

FIA. (2013). Chile: Desarrollan primer invernadero climatizado con energía geotérmica. Obtenido de http://www.freshplaza.es/article/76265/Chile-Desarrollan-primer-invernadero-climatizado-con-energ%C3%ADa-geot%C3%A9rmica

Gardey, J. P. (2010). *Definición de temperatura*. Obtenido de https://definicion.de/temperatura/

Geoplat. (2016). Usos de la energía geotérmica en función de su temperatura. Obtenido de https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/geotermia/usos-energia-geotermica-en-funcion-temperatura.html

Geotérmica, E. (2011). ecotimes. Obtenido de ecotimes: http://www.ambientum.com/revista/2011/abril/Climatizacion-invernaderos-energia-geotermica.asp#

Hora, L. (2010). Aprovecharán energía geotérmica en Chachimbiro. Obtenido de http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1015006/-1/Aprovechar%C3%A1n_energ%C3%ADa_geot%C3%A9rmica_en_Chachimbiro.html#.V4-6z6JaQRt

INDE. (2007). Energía Geotérmica. Obtenido de http://www.url.edu.gt/PortalURL/Archivos/44/Archivos/CGA_GEOTERMIA.pdf

INER. (s.f.). Energía Geotérmica. Obtenido de http://www.iner.gob.ec/4-plan-para-lineas-de-investigacion-para-el-desarrollo-de-la-geotermia/

INER. (s.f.). Geotermia. Obtenido de http://www.iner.gob.ec/geotermia/

infoAgro. (s.f). Control Climático en invernaderos. Obtenido de http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm

LENNTECH. (2017). Combustibles fósiles. Obtenido de http://www.lenntech.es/efecto-invernadero/combustibles-fosiles.htm

MJR, H. (s.f.). No todo es normal. Manejo de datos no normales. Obtenido de http://anestesiar.org/2015/no-todo-es-normal-manejo-de-datos-no-normales/

Marimar. (2016). Energías Renovables. Obtenido de http://elblogverde.com/energia-geotermica-que-es-fuentes-usos-ventajas-y-desventajas/

Melguizo, D. (2014). Energía geotérmica. Invernaderos y su aplicación en agricultura. Obtenido de http://www.meteorologiaenred.com/energia-geotermica-invernaderos-y-su-aplicacion-en-agricultura.html

Melguizo, D. (2014). Meteorología en Red. Obtenido de Meteorología en Red: http://www.meteorologiaenred.com/energia-geotermica-invernaderos-y-su-aplicacion-en-agricultura.html

Molina, G., & Rodrigo, M. F. (2010). El modelo de regresión lineal. Obtenido de http://ocw.uv.es/ciencias-de-la-salud/pruebas-1/1-3/t_09nuevo.pdf

Pereira, U. T. (2014). PROGRAMA DE APOYO AGRÍCOLA Y AGROINDUSTRIAL. Obtenido de file:///C:/Users/PC/Desktop/Downloads/Tomate+de+%C3%A1rbol.pdf

Pesce, A. H. (s,f). La Geotermia como una energía complementaria. Obtenido de http://www.ambiente-ecologico.com/revist50/geoter50.htm

Porto, J. P., & Gardey, A. (s.f.). Definición de Normalidad . Obtenido de https://definicion.de/normalidad/

Prol-Ledesma, R. M. (s.f.). El calor de la Tierra. Obtenido de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/058/htm/tierra.htm

reve. (2014). La energía geotérmica en Ecuador. Obtenido de http://www.evwind.com/2012/06/26/la-energia-geotermica-en-ecuador/

Revelo, Peréz, & Maila. (s,f). Cultivo de tomate de árbol. Obtenido de http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Cultivo%20_tomate_ecologico.pdf

Salom, E. V. (2017). *Ciencia Today* . Obtenido de https://cienciatoday.com/la-humedad-relativa-del-aire/

Sánchez, R. A. (2015). t-Student. Usos y abusos. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/pdf/rmc/v26n1/v26n1a9.pdf

Solar, M. (s,f). Ventajas y Desventajas de la Energía Geotérmica. Obtenido de http://www.dforcesolar.com/energia-solar/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-geotermica/

Suárez, H. R. (2015). ¿Qué es una correlación? … y herramientas de análisis de datos. Obtenido de https://www.certsi.es/blog/correlacion-herramientas-analisis-datos

Tecnostats. (s.f.). Prueba de Shapiro-Wilks. Obtenido de http://riotorto.users.sourceforge.net/R/noparam_shapiro/

Vinuesa, P., & CCG-UNAM. (2016). Correlación: teoría y práctica. Obtenido de http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema8_correlacion.pdf

WikiHow. (s.f.). *Cómo medir la tasa de crecimiento de las plantas*. Obtenido de https://es.wikihow.com/medir-la-tasa-de-crecimiento-de-las-plantas

Zaragoza, U. d. (s.f.). Presentación de la herramienta R. Obtenido de https://osluz.unizar.es/proyectos/r

Zuleta, C. A. (2017). Meteorología - Climatología, Fundamentos básicos. Gottingen: Cuvillier Verlag Gottingen.

10. ANEXOS

ANEXO I. Tablas resultantes de los objetivos específicos realizados.

Tabla 4. *Ubicación e identificación de vertientes (cajas) exploradas por toda la zona de estudio Chachimbiro.*

Caja N°	Localidad	Coordenadas	Altura
1	**(Chachimbiro)**	**17N** 0807433	2528 m.s.n.m
		UTM 0050818	
2	**(Chachimbiro)**	**17N** 0807407	2523m.s.n.m
		UTM 0050811	
3	**(Chachimbro)**	**17N** 0807415	2522m.s.n.m
		UTM 0050808	
4 y 5	**(Chachimbro)**	**17N** 0807369	2517m.s.n.m
		UTM 0050815	
6	**(Chachimbro)**	**17N** 0807328	2524m.s.n.m
		UTM 0050817	
7	**Chachimbiro (Cachaco)**	**17N** 0806876	2629m.s.n.m
		UTM 0050677	
8	**Chachimbiro (Cachaco 2)**	**17N** 0806854	2631m.s.n.m
		UTM 0050682	
9	**Chachimbiro (Los Cholanes)**	**17N** 0806809	2624m.s.n.m
	Cascada	**UTM** 0050694	
10	**Chachimbiro (Los Cholanes 2)**	**17N** 0806767	2622m.s.n.m
		UTM 0050710	
11	**Chachimbiro (Cascada 2)**	**17N** 0806716	2637m.s.n.m
		UTM 0050741	
12	**Chachimbiro (Guanga 2)**	**17N** 0806183	2744m.s.n.m
		UTM 0050560	
13	**Chachimbiro (Guanga 1)**	**17N** 08006005	2755m.s.n.m
	Union de 3 cajas.	**UTM** 0050456	
14	**Chachimbiro (Ashubiro)**	**17N** 0806710	2705m.s.n.m
		UTM 0051321	
15	**Chachimbiro (Ashubiro)**	**17N** 0806786	2686m.s.n.m
	7 cajas en el mismo punto.	**UTM** 0051264	
16	**Chachimbiro (Ashubiro)**	**17N** 0806860	2830 m.s.n.m.
		UTM 0051029	

Fuente y Elaborado por: El Autor.

.

Tabla 5. *Variación horaria de Temperatura en el Exterior e Interior del invernadero.*

Hora	T° C Exterior	T°C Interior
16:00	20,5	27,1
17:00	18,7	26
18:00	14,9	24,5
19:00	14,1	24,6
20:00	13,9	23,9
21:00	13,2	23,1
22:00	13,1	22
23:00	13	20,8
0:00	12	20,5
1:00	10,3	20,1
2:00	10	19,1
3:00	10	18,8
4:00	10,1	18,1
5:00	9,7	17,5
6:00	9,7	16,7
7:00	11,3	16,1
8:00	13,2	18
9:00	21,4	25,9
10:00	28,3	30,8
11:00	32,5	34,4
12:00	28,6	32,2
Media	15,64	22,87
Desv. Estand.	6,84	5,17

Fuente y Elaborado por: El Autor.

Tabla 6. *Datos diarios de humedad relativa Externa e Interna del invernadero.*

	H. R. Externa	H. R. Interna
	66	72
	70	78
	71	76
	75	79
	71	72
	72	79
	75	80
	72	73
	75	78
	79	79
	81	83
	78	78
	72	75
	77	79
	87	88
	71	78
	72	74
	72	77
	76	79
	65	76
	78	82
	77	81
	69	73
	80	83
	72	74
	75	79
	76	77
	78	83
	80	85
	84	85
	76	77
	78	79
	80	84
	76	80
	77	82
	79	84
	83	90
	90	84
	79	79
	75	82
	81	83
	80	75
	75	82
	79	84
	84	77
	81	75
	75	83
	81	81
	79	83
	82	84
	82	82
	80	73
	79	85
	85	85
	83	79
	83	83
Medias	77,29	79,82
Desv. Estand.	5,03	4,14

Fuente y Elaborado por: El Autor.

Tabla 7. *Relación entre temperatura, humedad relativa y cada parámetro medido en plantas seleccionadas, altura tomada como ejemplo para esta tabla.*

dias	Altura Planta	H. R. Externa	T° C Exterior
1	41,42	71	13,8
2		72	14,1
3		73	13,6
4		72	14,9
5		70	15,2
6		71	14,4
7		73	14,1
8	45,74	73	13,8
9		72	14,5
10		72	15,1
11		72	15,3
12		72	14,9
13		73	14,3
14		73	14,6
15		73	13,9
16	50,19	73	14,2
17		74	13,7
18		74	13,4
19		74	13,7
20		75	14,3
21		75	15,1
22		76	14,9
23		77	15,2
24	54,32	76	14,5
25		76	14,9
26		75	13,9
27		76	14,5
28		75	15,1
29		75	14,3
30		76	13,8
31		77	15,2
32	55,63	76	14,7
33		76	15,1
34		77	14,2
35		78	15,5
36		78	13,9
37		79	14,8
38		78	15,3
39		78	14,4
40	57,03	79	14,7
41		77	14,3
42		79	13,9
43		79	15,1
44		79	15,3
45		78	14,3
46		78	14,9
47		79	14,1
48	58,76	79	15,2
49		80	14,4
50		80	15
51		80	14,2
52		81	13,8
53		80	14,7
54		81	15,1
55		79	15,3
56	60,58	79	13,5

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En este anexo podemos observar un ejemplo de cómo se relacionaron las variables, temperatura y humedad relativa con cada uno de los parámetros medidos, altura, diámetro, longitud de la hoja y largo de la hoja de las plantas ubicadas en el exterior e interior del invernadero.

Tabla 8. *Variación horaria de Temperatura en el Exterior e Interior del invernadero, de un día seleccionado al azar.*

Hora	T° C Exterior	T°C Interior
16:00	20,5	27,1
17:00	18,7	26
18:00	14,9	24,5
19:00	14,1	24,6
20:00	13,9	23,9
21:00	13,2	23,1
22:00	13,1	22
23:00	13	20,8
0:00	12	20,5
1:00	10,3	20,1
2:00	10	19,1
3:00	10	18,8
4:00	10,1	18,1
5:00	9,7	17,5
6:00	9,7	16,7
7:00	11,3	16,1
8:00	13,2	18
9:00	21,4	25,9
10:00	28,3	30,8
11:00	32,5	34,4
12:00	28,6	32,2

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En este anexo encontramos recuadros en rojo que encierran las variaciones más importantes de temperatura durante un día al azar de toma de datos, estas variaciones empiezan a ser más notables desde las 00:00 horas con caídas de hasta 10°C con respecto a la temperatura que tenemos en horas de la tarde; en uno de los primeros recuadros vemos que la temperatura alcanza los 9,7°C en el exterior lo que según el punto 4.14.4 temperatura de esta investigación, que habla de los requerimientos para el desarrollo de la especie tratada, nos dice que las temperaturas nocturnas son determinantes en la cuaja, y

que debe estar en un rango de entre 15 y 22°C; mientras que este rango de temperatura si se cumple en el interior del invernadero y vemos que en el mismo recuadro esta temperatura alcanza los 17,5°C.

ANEXO II. Gráficos de variación de crecimiento semanal para cada parámetro medido de las plantas tanto en el exterior como en el interior del invernadero.

Datos de Plantas Primer Tratamiento (exterior) Cama 1.

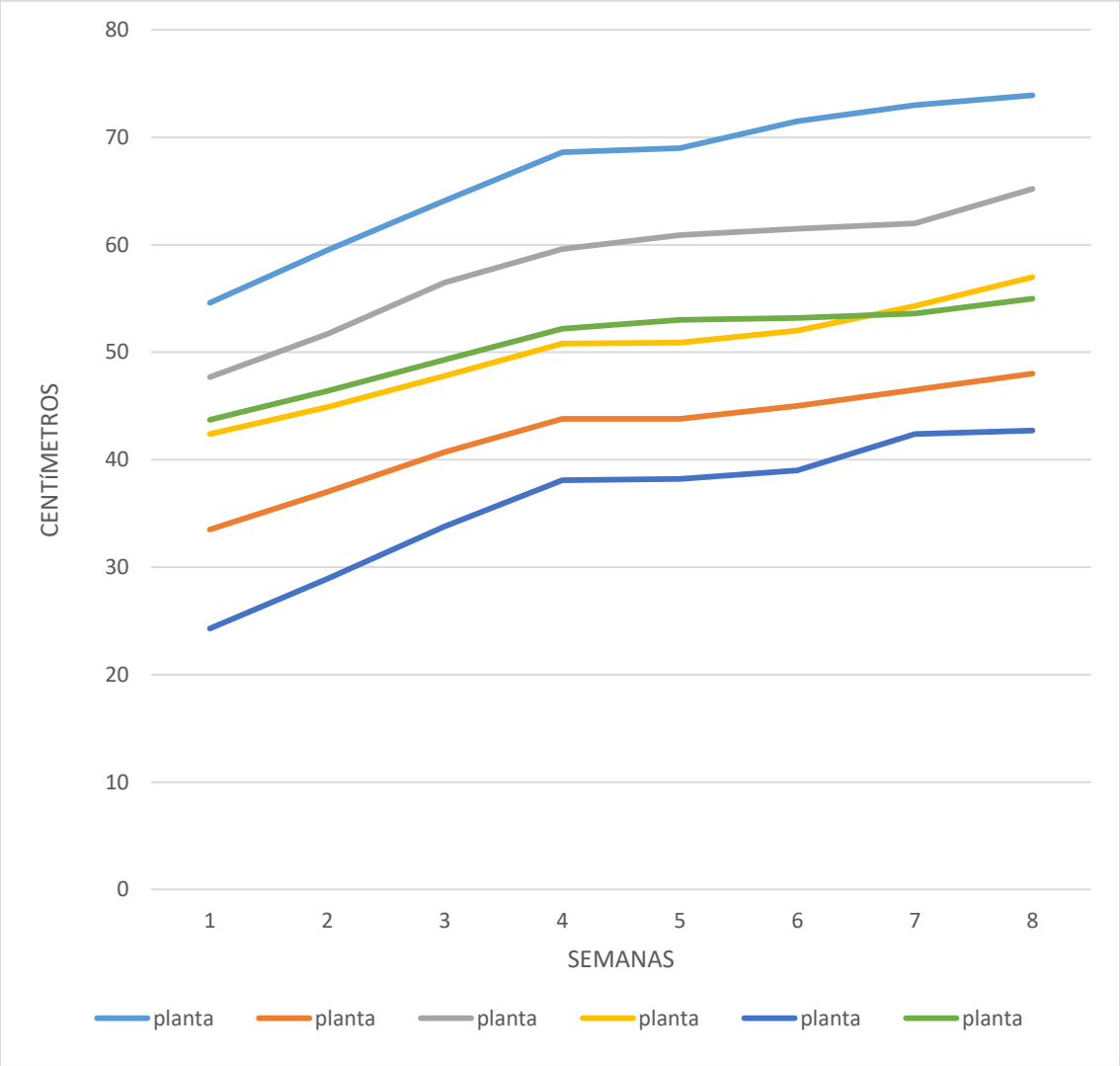


Figura 35. Variación semanal de altura de planta tratamiento (exterior) Cama 1.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 35 se muestra la variación de la altura de las plantas, en cada serie, cada barra de distinto color representa una planta distinta. En el grafico vemos que el crecimiento en la altura de los testigos ha sido significativo con valores tales como en la

serie 5 que va desde 24,3 cm al comienzo de las mediciones, llegando a tomar un valor de 42,7 al final de la octava semana.

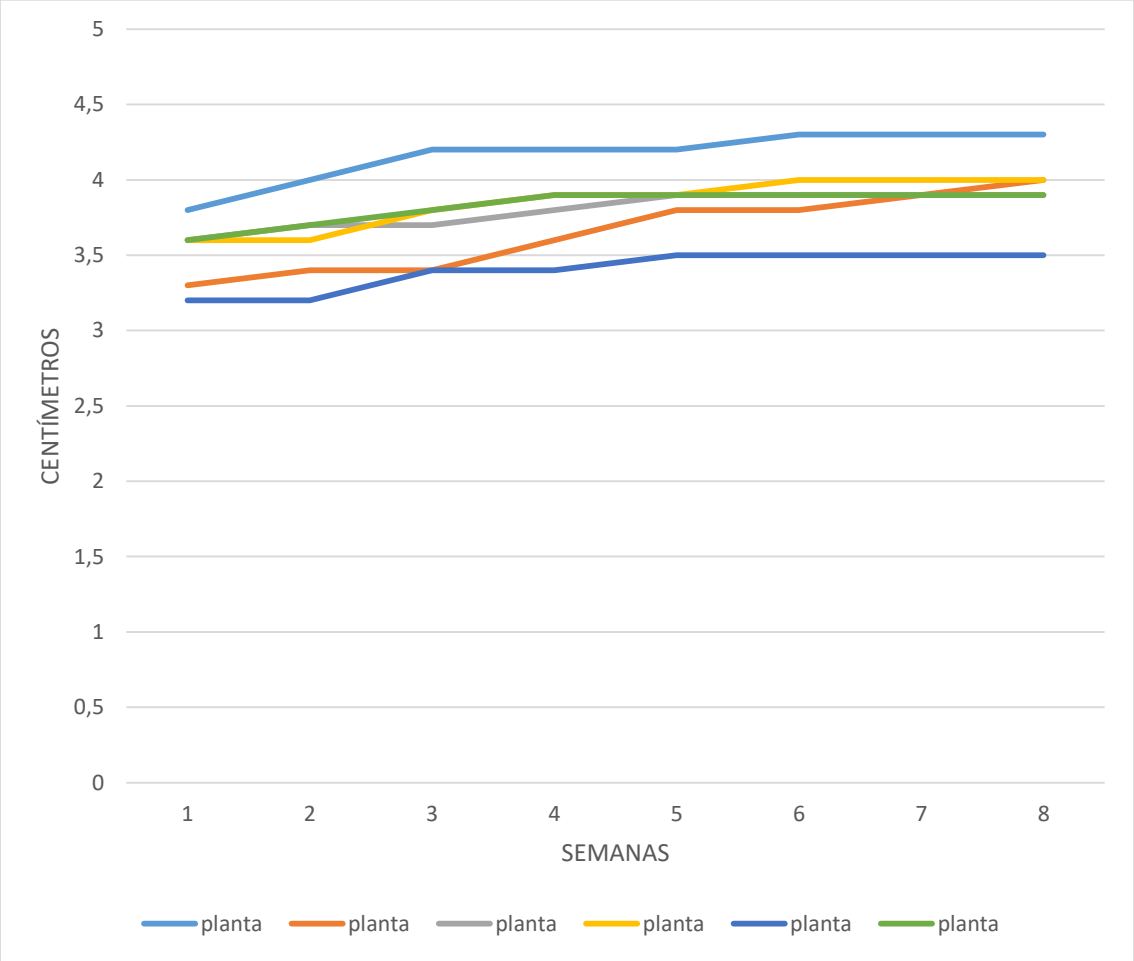


Figura 36. Variación semanal diámetro de tallo tratamiento (exterior) Cama 1.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 36 se muestra la variación en el diámetro del tallo de las plantas, en cada serie, cada barra de distinto color representa una planta distinta. En el grafico vemos que el desarrollo en el diámetro del tallo de los testigos ha sido más notable en la serie 1 y 4.

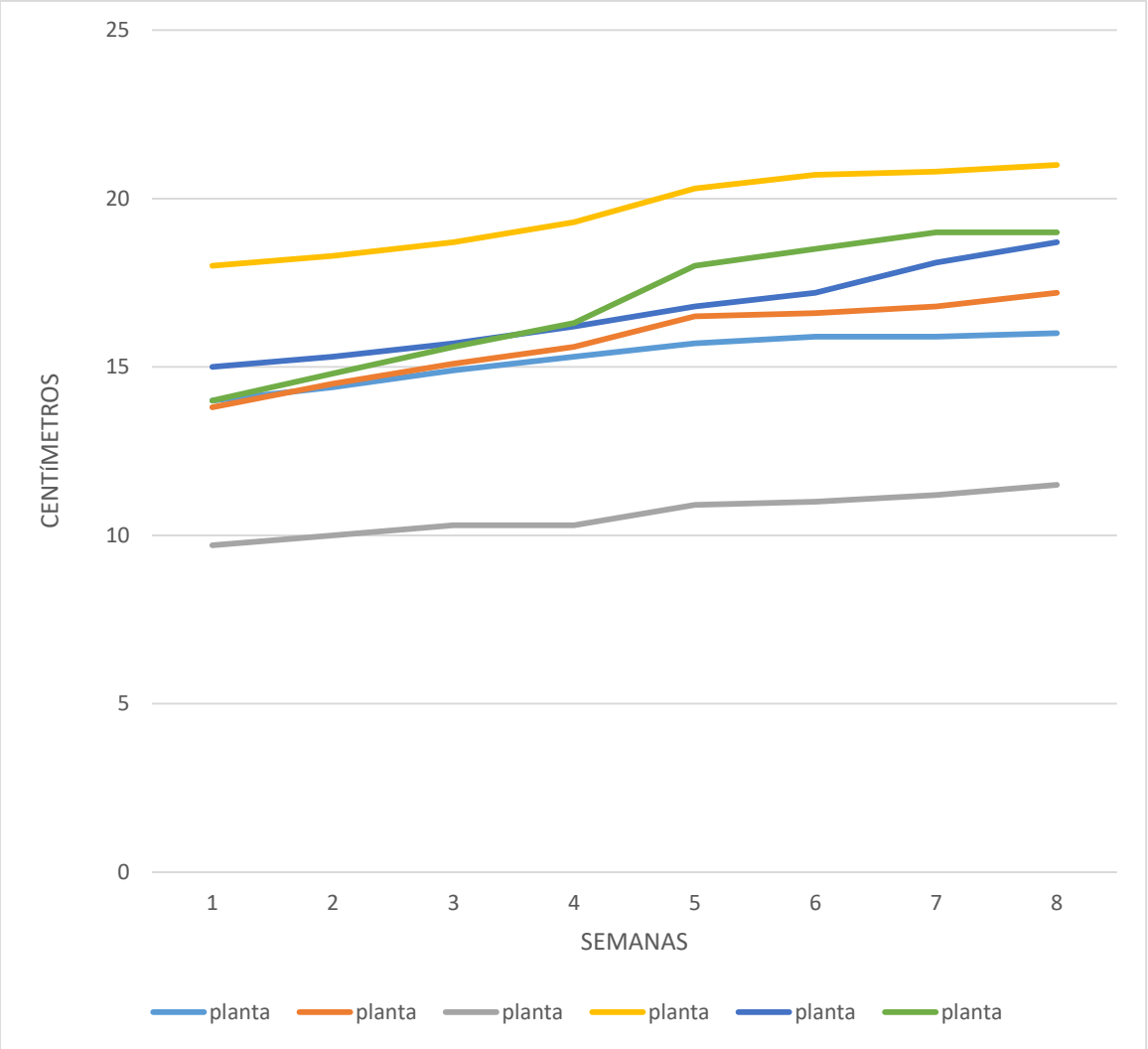


Figura 37. Variación semanal Longitud hoja tratamiento (exterior) Cama 1.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 37 se muestra la variación en el largo de las hojas de los testigos, en cada serie, cada barra de distinto color representa una planta distinta. En el grafico vemos que el crecimiento de la hoja más notable está en la serie 4 con valores que van desde 18 cm hasta los 21 cm al final de la octava semana.

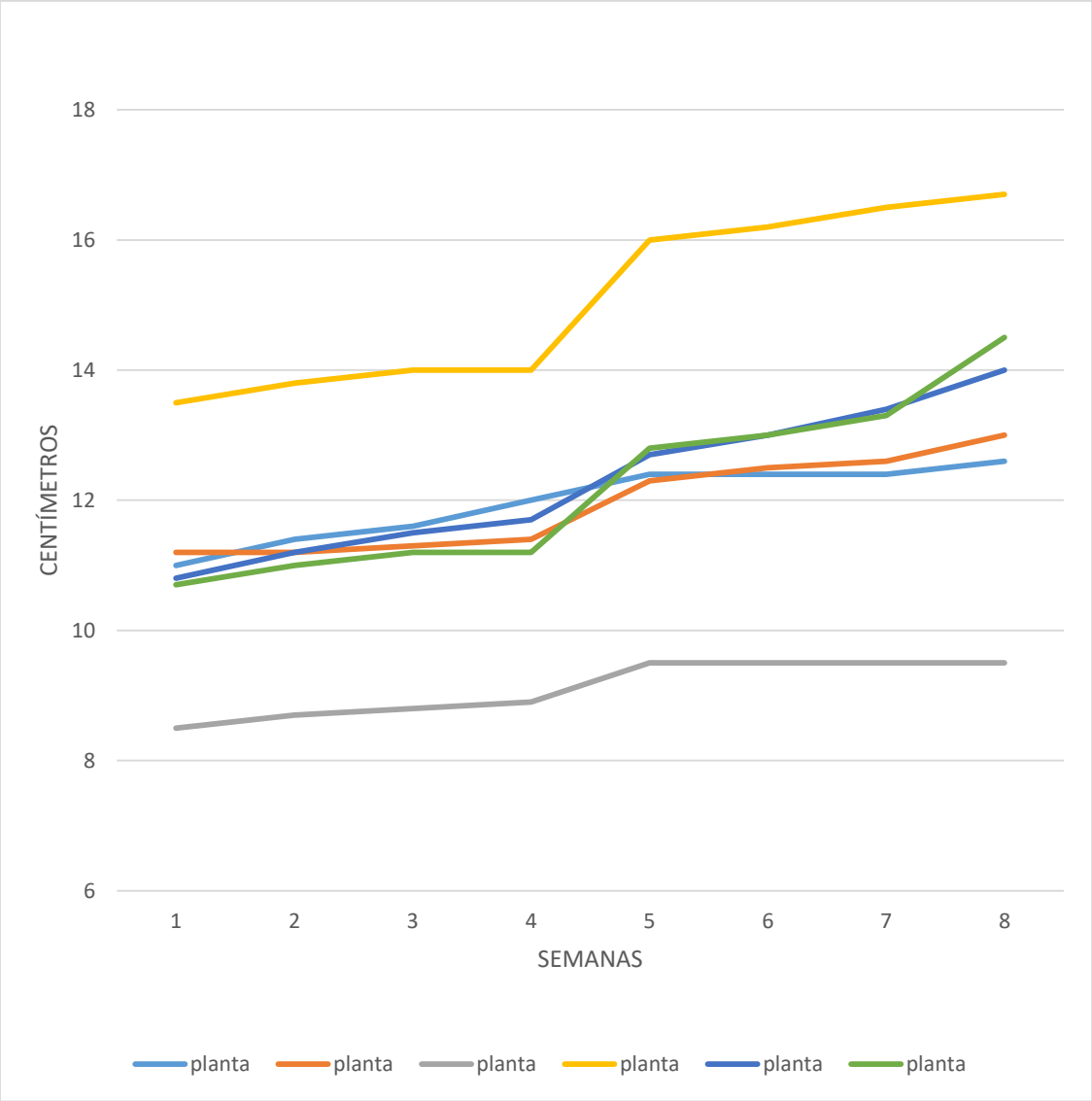


Figura 38. Variación semanal ancho hoja tratamiento (exterior) Cama 1.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la figura 38 se observa el aumento del ancho de las hojas en los testigos, la serie 4 presenta un aumento mayor en la cuarta semana que va de los 14 cm a los 16 cm que sigue de forma lineal después de la quinta semana hasta llegar a los 16,7 cm en la última semana.

Datos de Plantas Primer tratamiento (exterior) Cama 2.

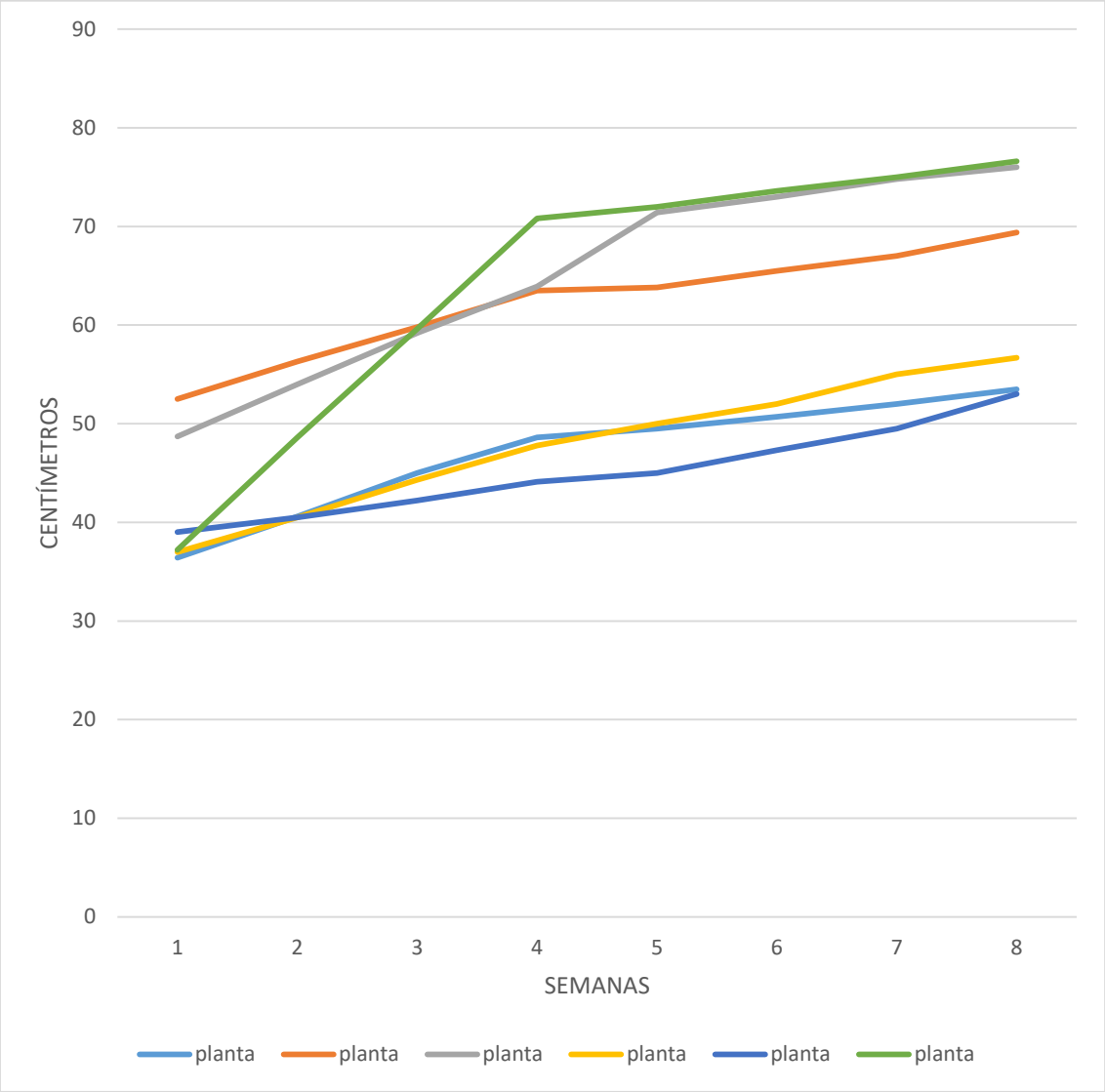


Figura 39. Variación semanal altura de plantas tratamiento (exterior) Cama 2.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 39 se muestra la variación de la altura de las plantas, en cada serie, cada barra de distinto color representa una planta distinta. En el grafico vemos que el crecimiento en la altura de los testigos ha sido significativo en dos series, la 3 con valores que van desde los 48,7 cm en la primera semana hasta los 76 cm, y en la serie 6 desde los 37,2 cm hasta los 76,6 cm al final de la octava semana.

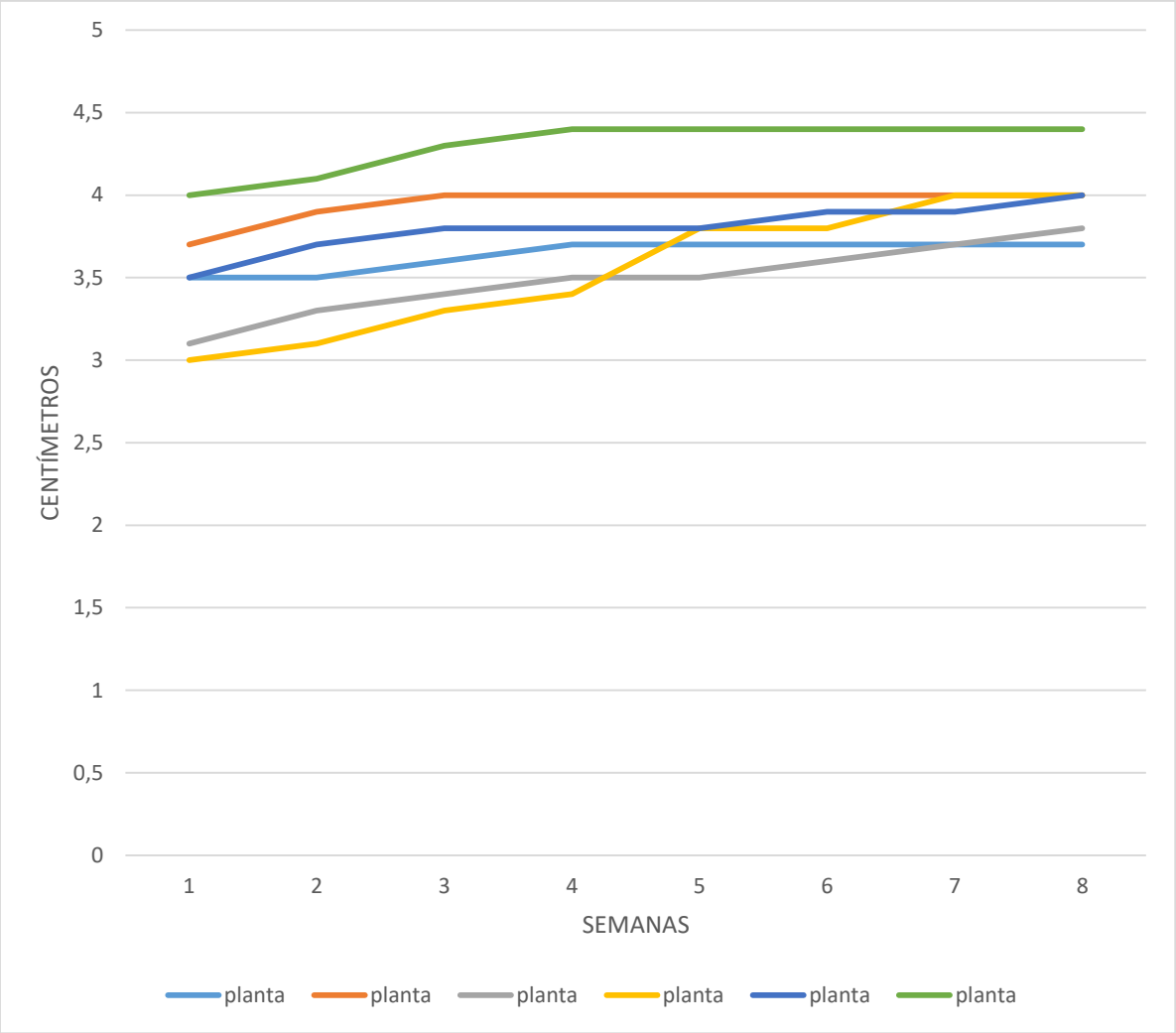


Figura 40. Variación semanal diámetro tallo tratamiento (exterior) Cama 2.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 40 se muestra la variación del diámetro del tallo, en el grafico vemos que el diámetro en el tallo de los testigos ha sido lineal, exceptuando la serie 4 que a partir de la cuarta semana tiene un crecimiento notable.

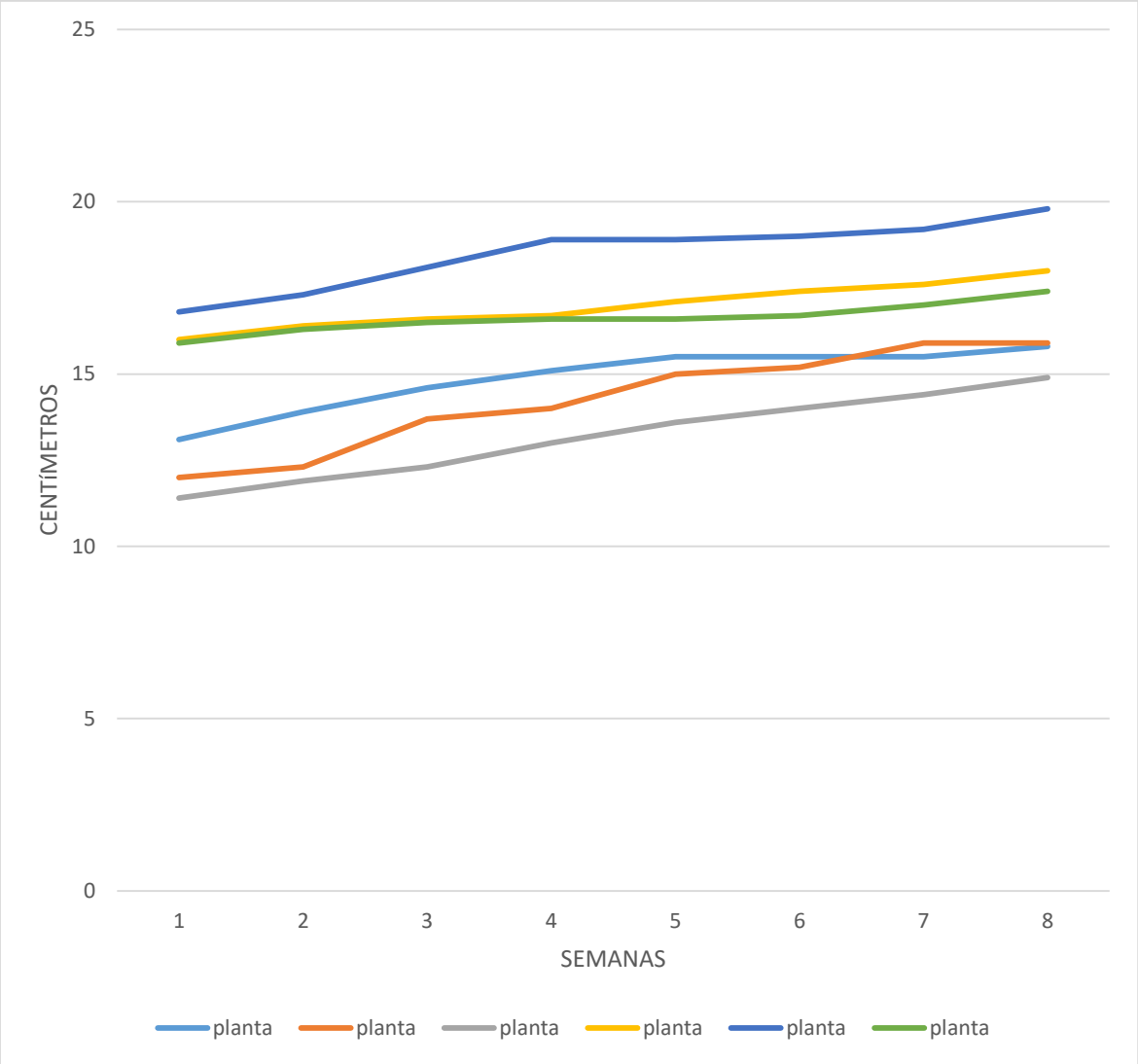


Figura 41. Variación semanal largo hoja tratamiento (exterior) Cama 2.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 41 se observa la variación en el largo de las hojas en las plantas testigos. En el grafico vemos que el crecimiento en el largo de las hojas puede ser más notable en la serie 2 con sus valores que va desde los 12 cm en el inicio de la toma de datos, hasta los 15,9 cm al finalizar la última semana.

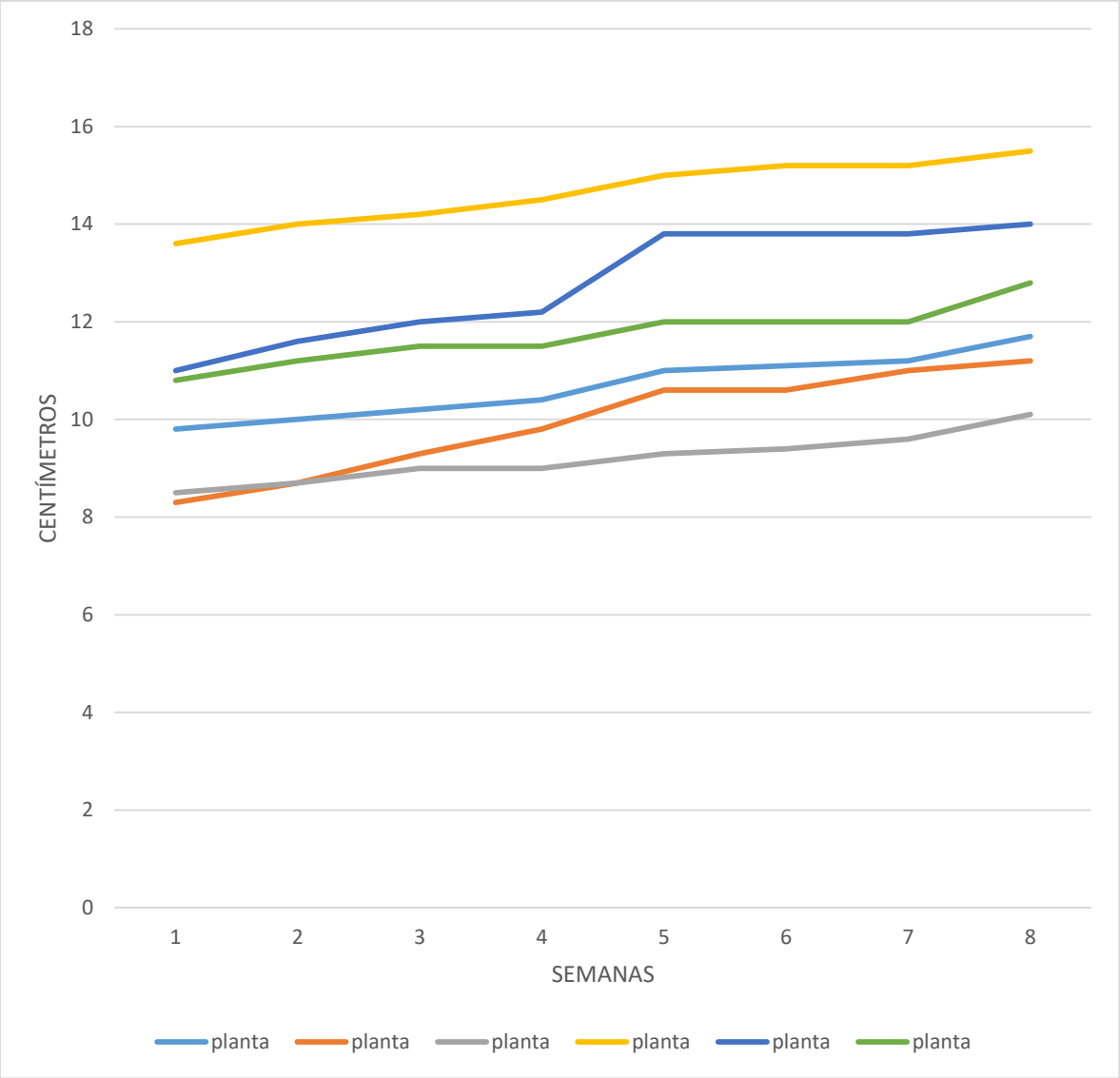


Figura 42. Variación semanal ancho hoja tratamiento (exterior) Cama 2.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 42 se muestra la variación semanal del ancho de la hojas, en cada serie, cada barra se observa que tiene un crecimiento pequeño, a excepción de la serie 5 que tiene datos que van en crecimiento más notable después de la cuarta semana y la serie 6 en la séptima semana.

Datos de Plantas Segundo tratamiento (interior) Cama 1.

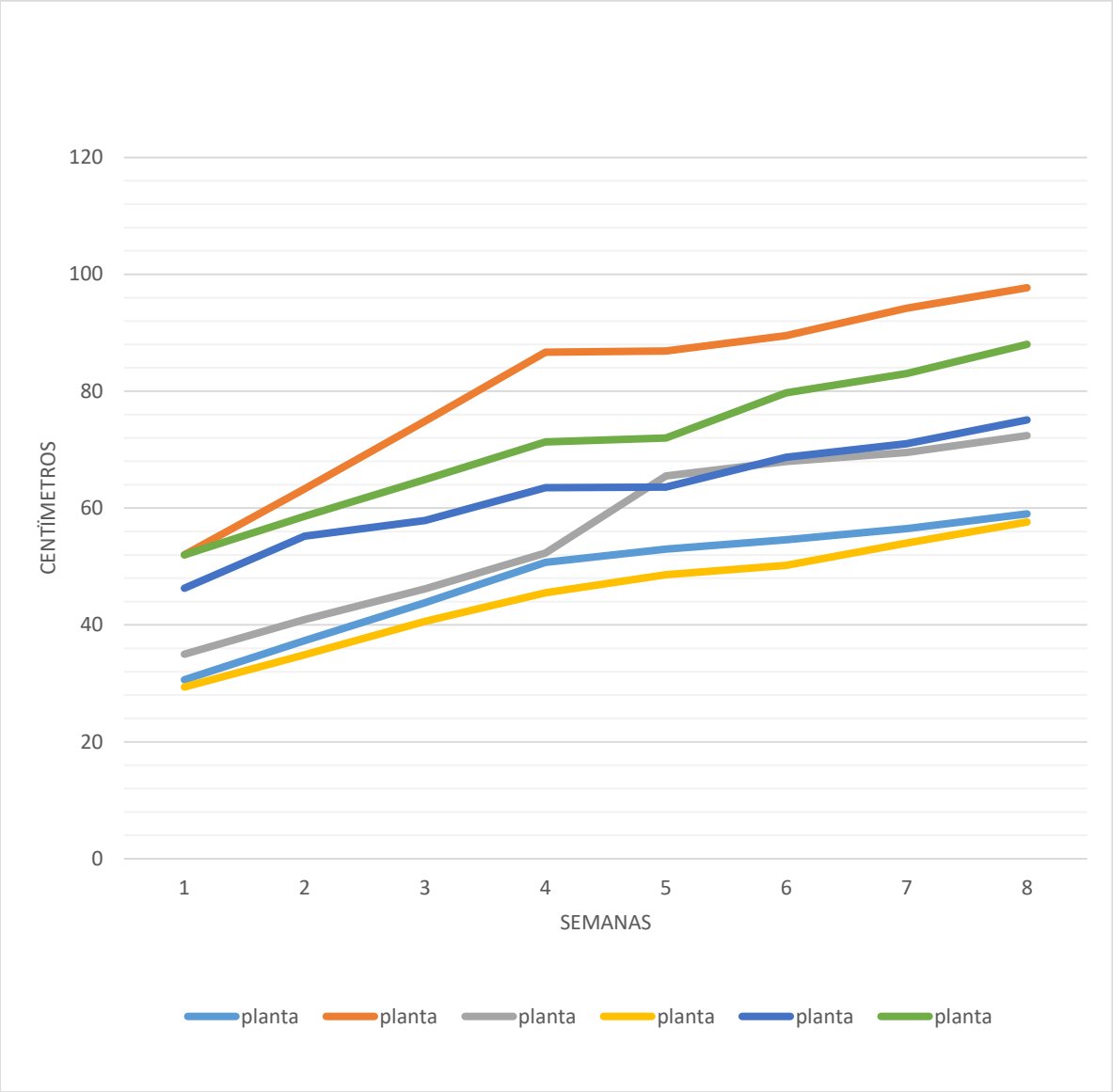


Figura 43. Variación semanal altura de plantas tratamiento (interior) Cama 1.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 43 se muestra la variación de la altura de las plantas, en cada serie, cada barra de distinto color representa una planta distinta. En el grafico vemos que el crecimiento en la altura de los testigos ha sido significativo con valores tales como en la serie 2 que va desde 52 cm al comienzo de las mediciones, llegando a tomar un valor de 97,7 y la serie 6 que va desde 52 cm hasta 88 cm al final de la octava semana.

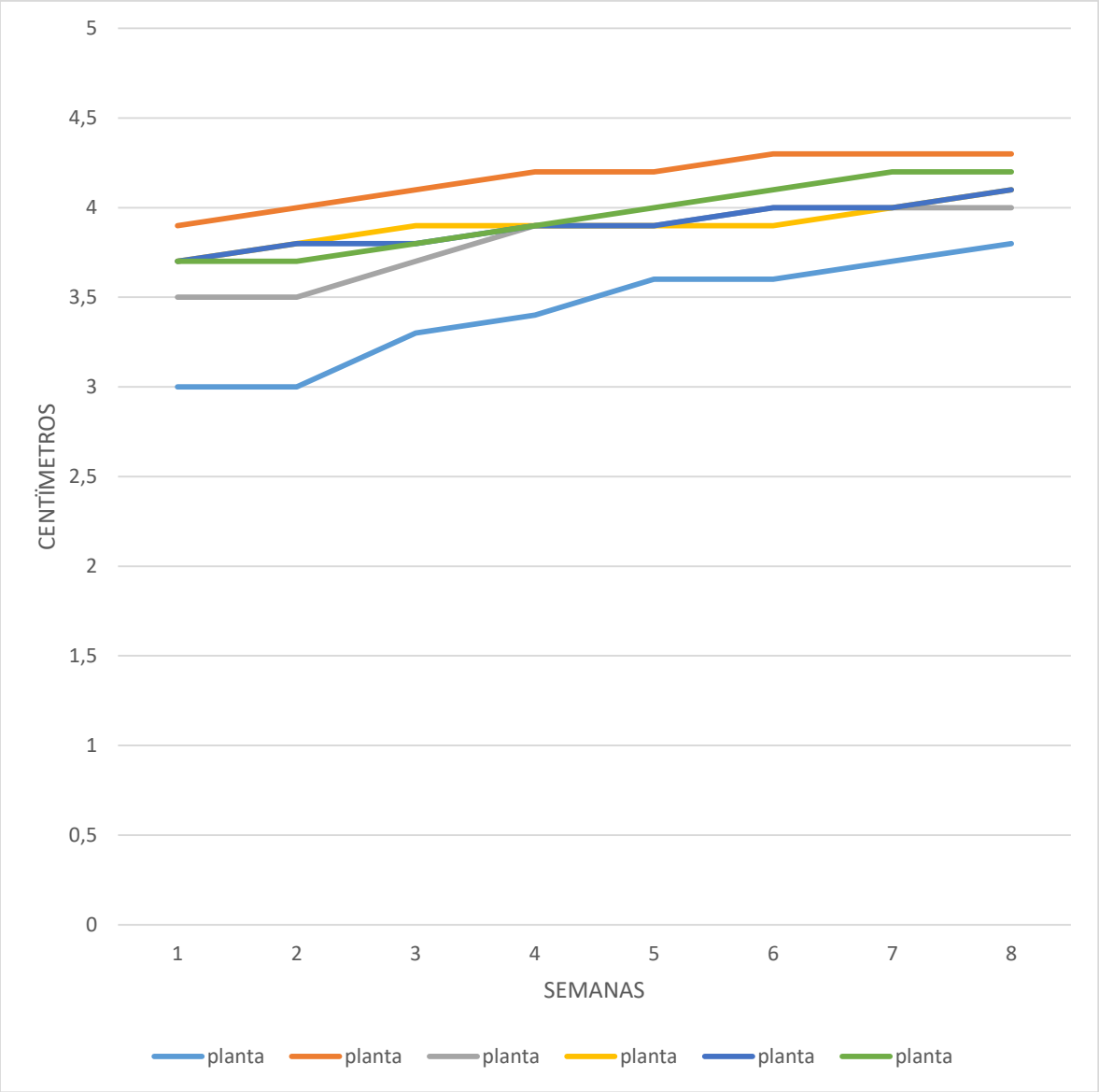


Figura 44. Variación semanal diámetro tallo tratamiento (interior) Cama 1.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figuras 44 se muestra la variación en el diámetro del tallo de las plantas, y vemos en el grafico que el crecimiento del diámetro del tallo de los testigos ha sido lineal sin mucha variación, siendo la serie 1 la destacada con un valor inicial de 3cm hasta 3,8 cm durante las 8 semanas que duro la recolección de datos.

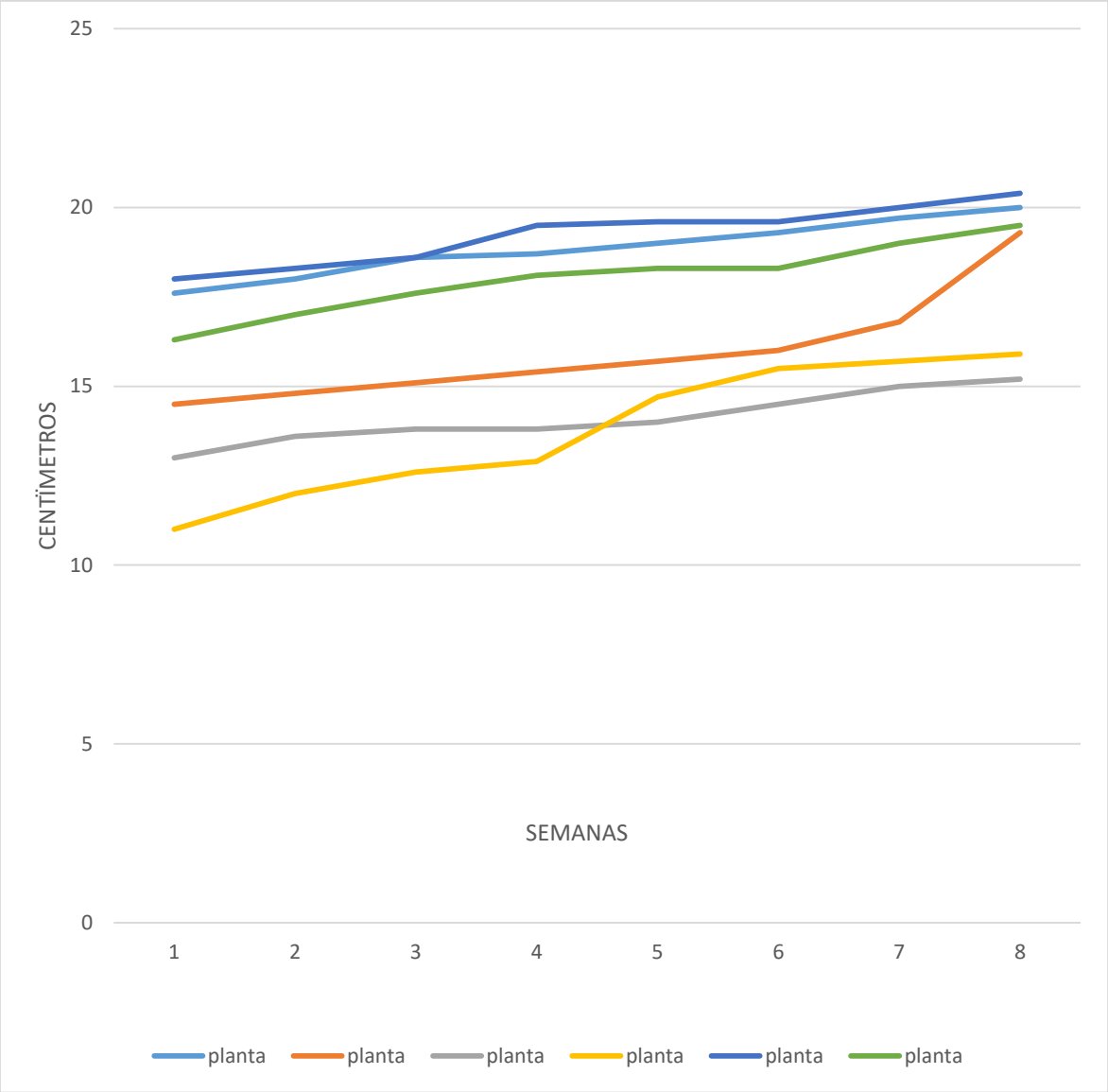


Figura 45. Variación semanal longitud hoja tratamiento (interior) Cama 1.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 45 se muestra la variación semanal del largo de las hojas. En el grafico vemos que el crecimiento en el largo de las hojas testigos ha sido notable en la serie 2 en la séptima semana y en la serie 4 en la cuarta semana.

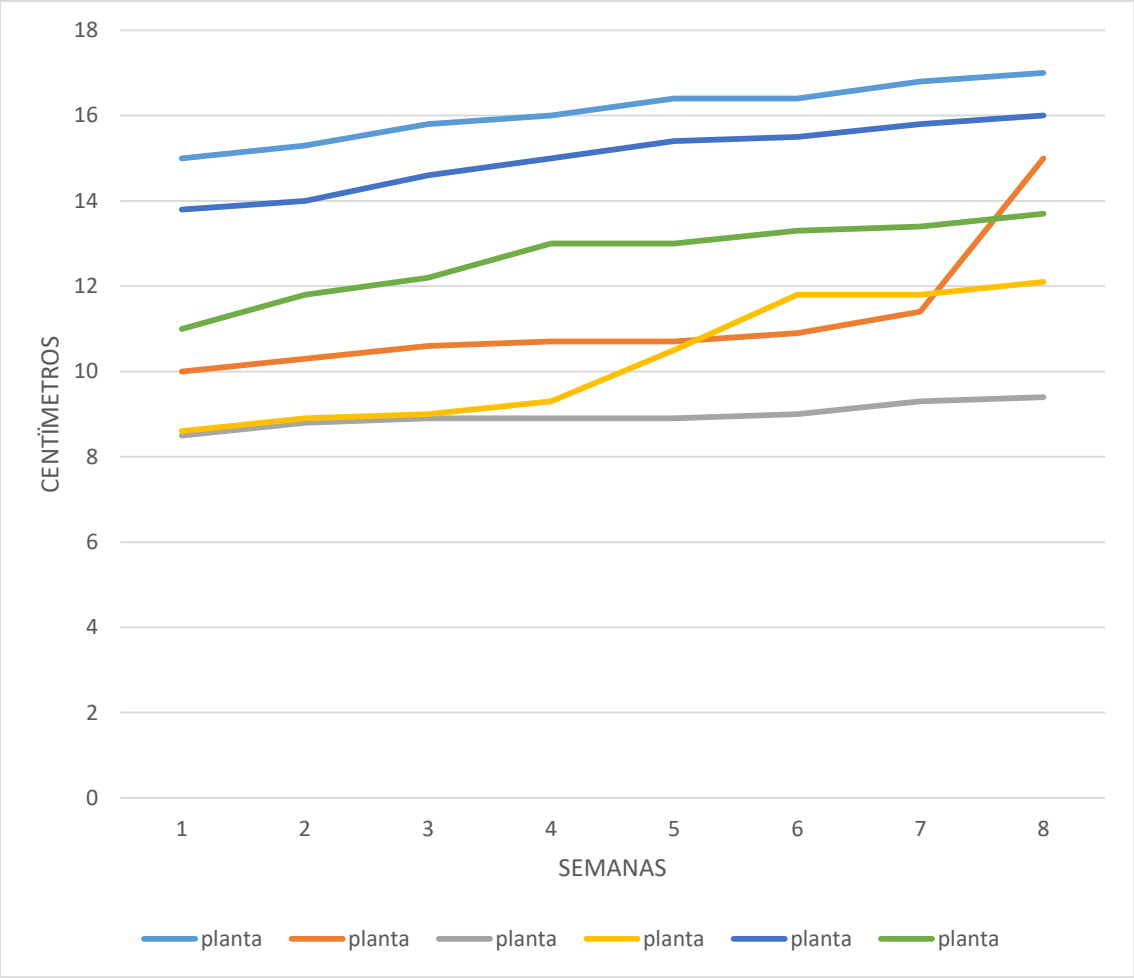


Figura 46. Variación semanal ancho hoja tratamiento (interior) Cama 1.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 46 se muestra la variación semanal del ancho de las hojas. En el grafico vemos que el desarrollo en el ancho de las hojas testigos ha sido notable en la serie 2 en la séptima semana con un valor que desde 10 cm al iniciar hasta alcanzar 17cm y en la serie 4 en la cuarta semana con valores desde 8,6 cm hasta 12,1 cm al finalizar

.

Datos de Plantas Segundo tratamiento (interior) Cama 2.

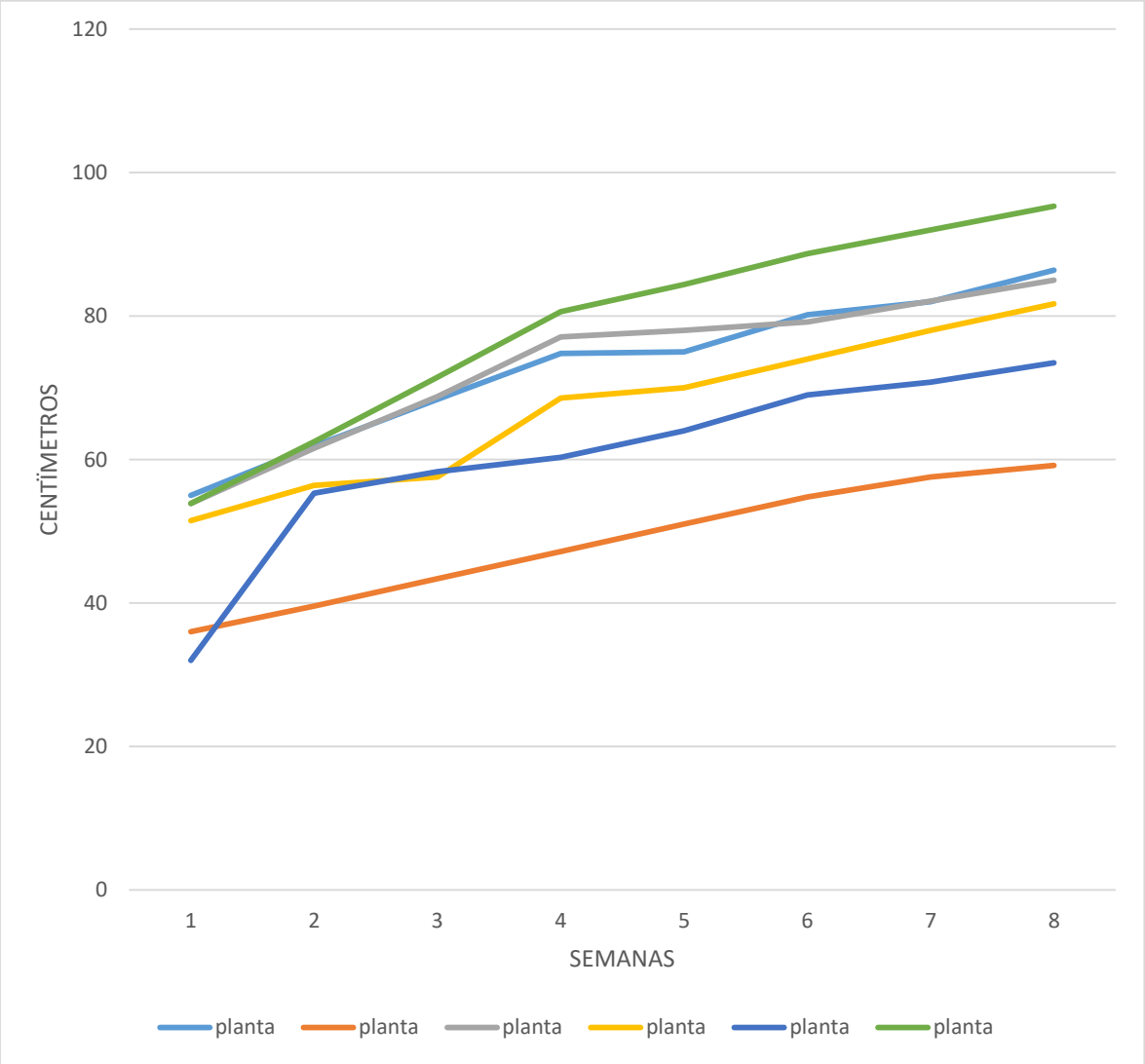


Figura 47. Variación semanal altura de plantas tratamiento (interior) Cama 2.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 47 se muestra la variación de la altura de las plantas, en cada serie, cada barra de distinto color representa una planta distinta. En el grafico vemos que el crecimiento en la altura de los testigos ha sido significativo en todas las series tomando como ejemplo la serie 6 con valores desde 53,9 cm al comienzo de las mediciones, llegando a tomar un valor de 95,3 cm al final de la octava semana.

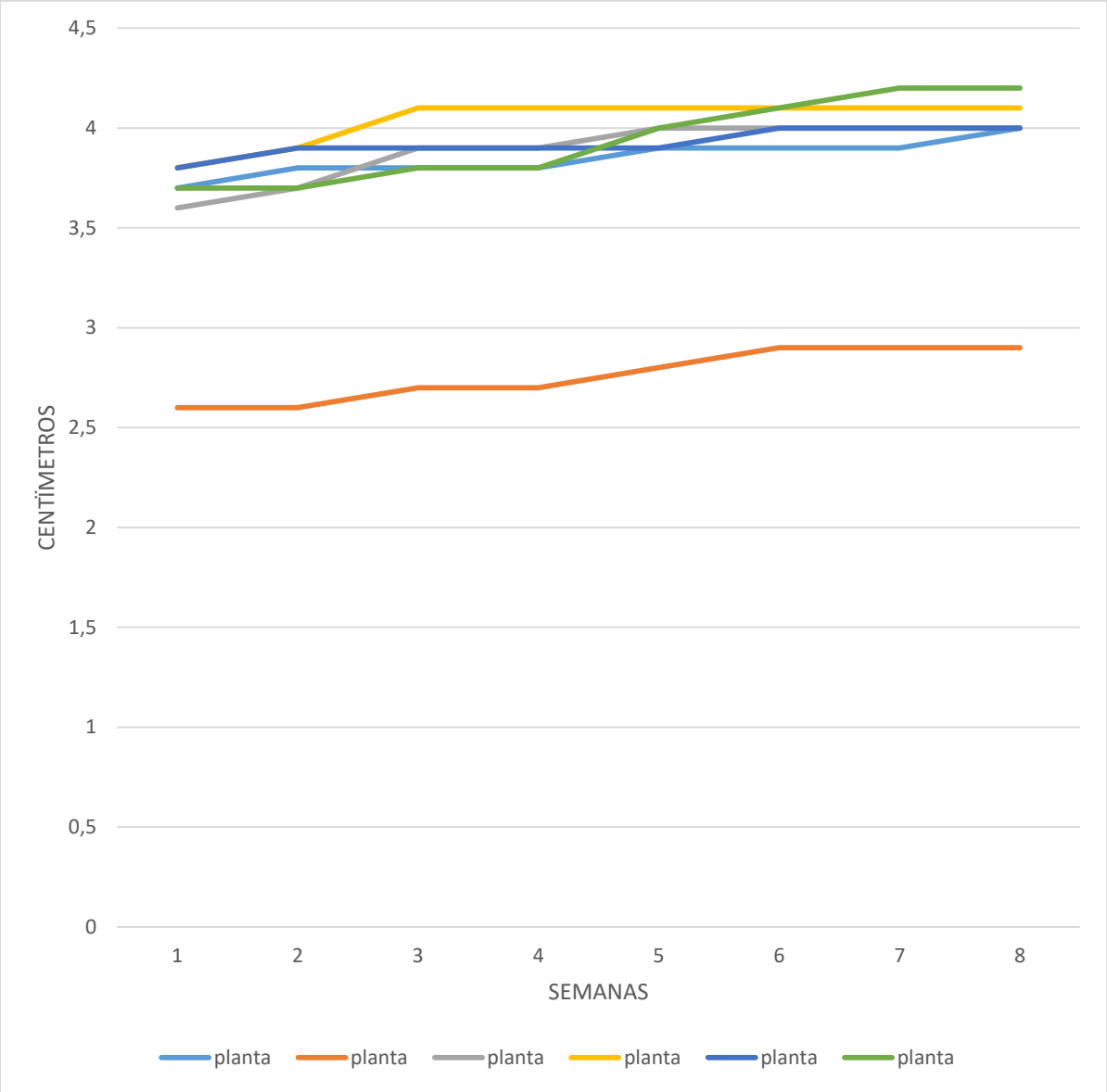


Figura 48. Variación semanal diámetro tallo tratamiento (interior) Cama 2.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 48 se muestra la variación en el diámetro del tallo de las plantas, y vemos en el grafico que el crecimiento del diámetro del tallo de los testigos ha sido lineal sin mucha variación, teniendo la serie 6 como la de mayor variación durante las 8 semanas.

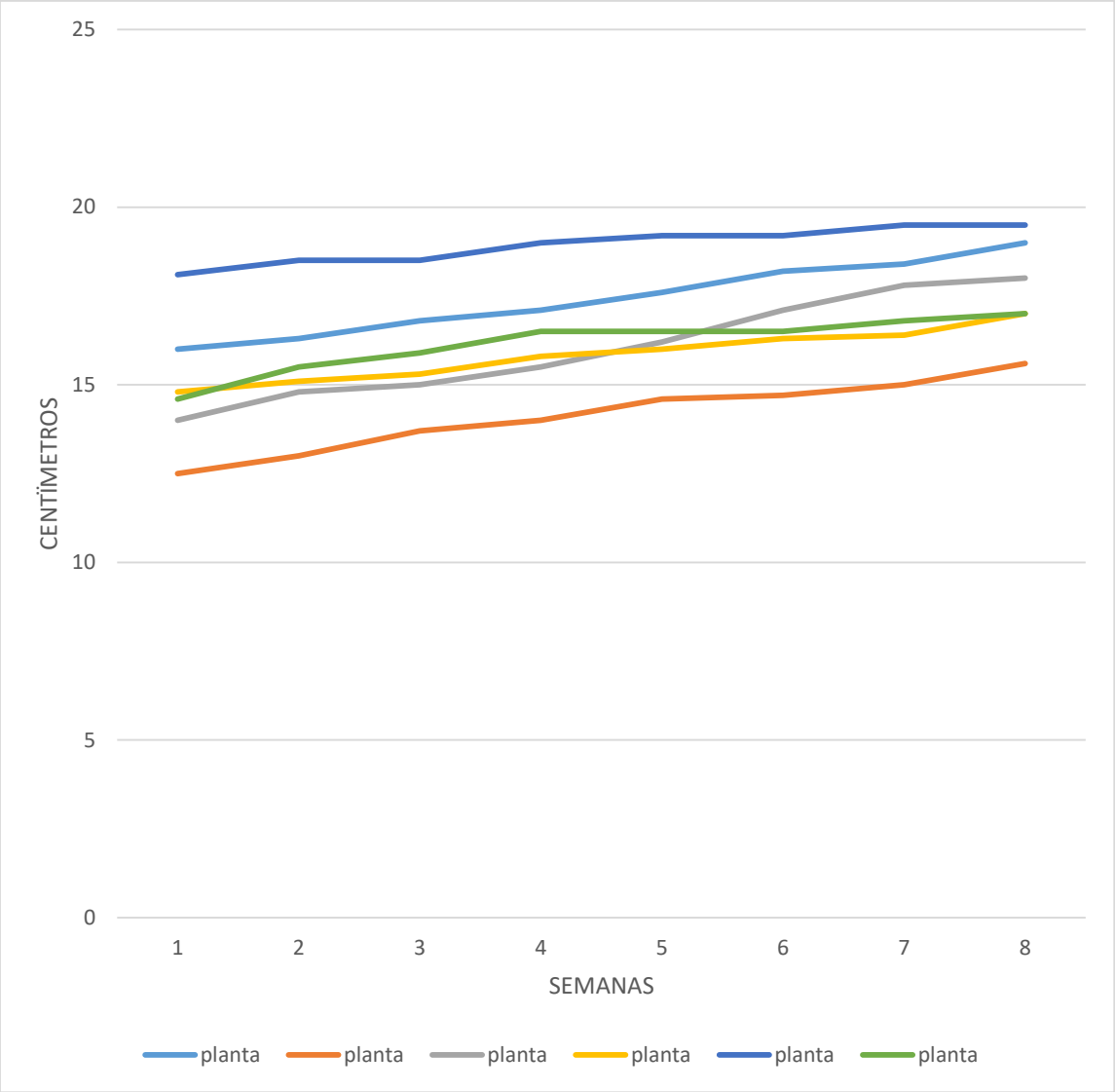


Figura 49. Variación semanal longitud hoja tratamiento (interior) Cama 2.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 49 se muestra la variación semanal del largo de las hojas. En el grafico vemos que el crecimiento en el largo de las hojas testigos ha sido notable en la serie 3 a partir de la quinta semana.

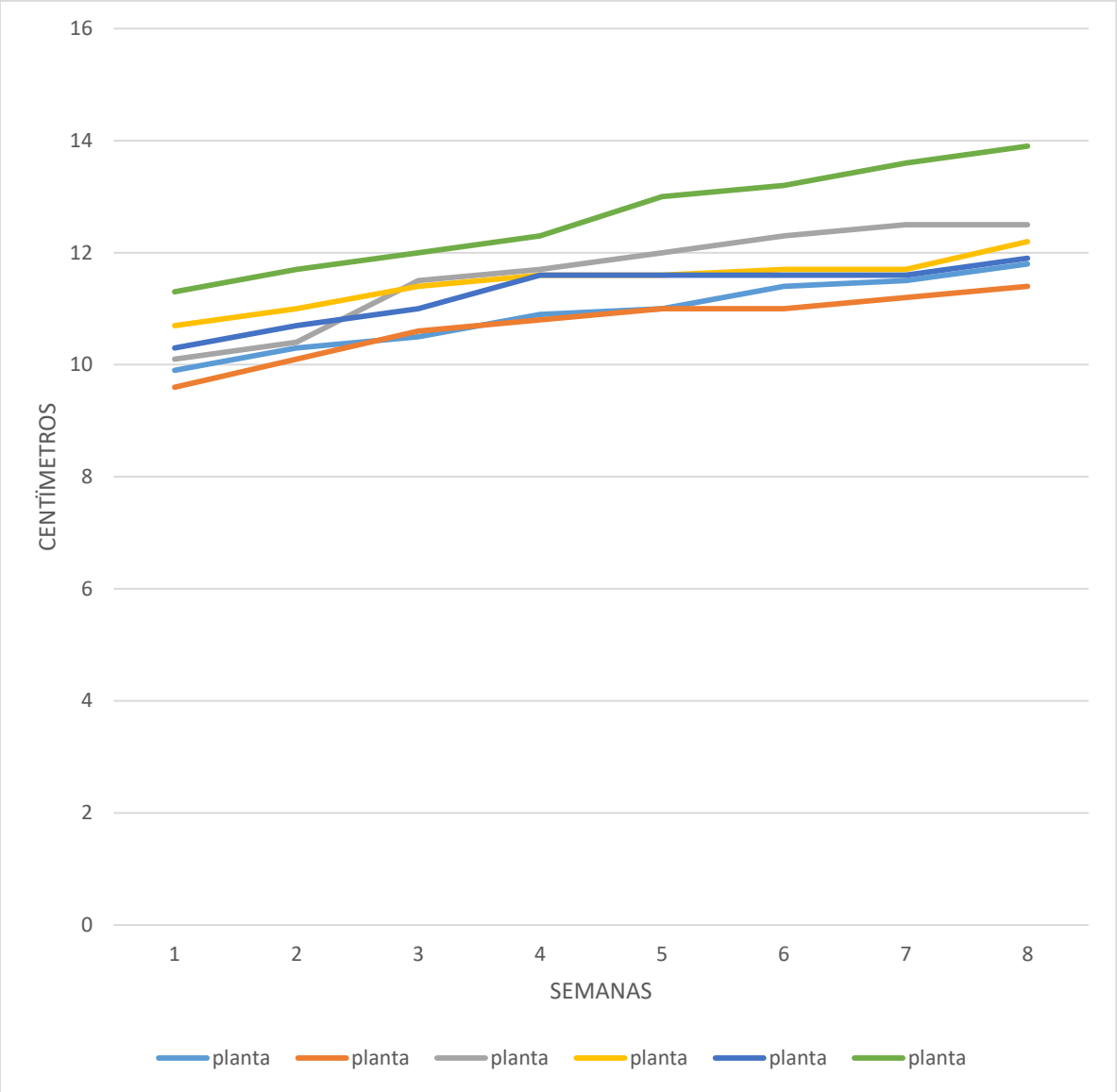


Figura 50. Variación semanal ancho hoja tratamiento (interior) Cama 2.

Fuente y Elaborado por: El Autor.

En la Figura 50 se muestra la variación semanal del ancho de las hojas. En el grafico vemos que el desarrollo en el ancho de las hojas testigos no es muy notable teniendo a la serie 6 como la de mayor variación con valores de 11,3 cm al iniciar hasta 13,9 cm al finalizar la última semana.

ANEXO III. Socialización de la investigación.

La socialización de la investigación fue realizada el día 27 de julio del 2018 en la sala 4-3-13, instalaciones pertenecientes a la PUCE-SI, con la constancia del Ph. D. César Alonso Zuleta Padilla asesor de la investigación y 14 estudiantes de la Universidades; se expuso los resultados obtenidos mediante el uso de diapositivas, explicando los puntos más importantes de la investigación.





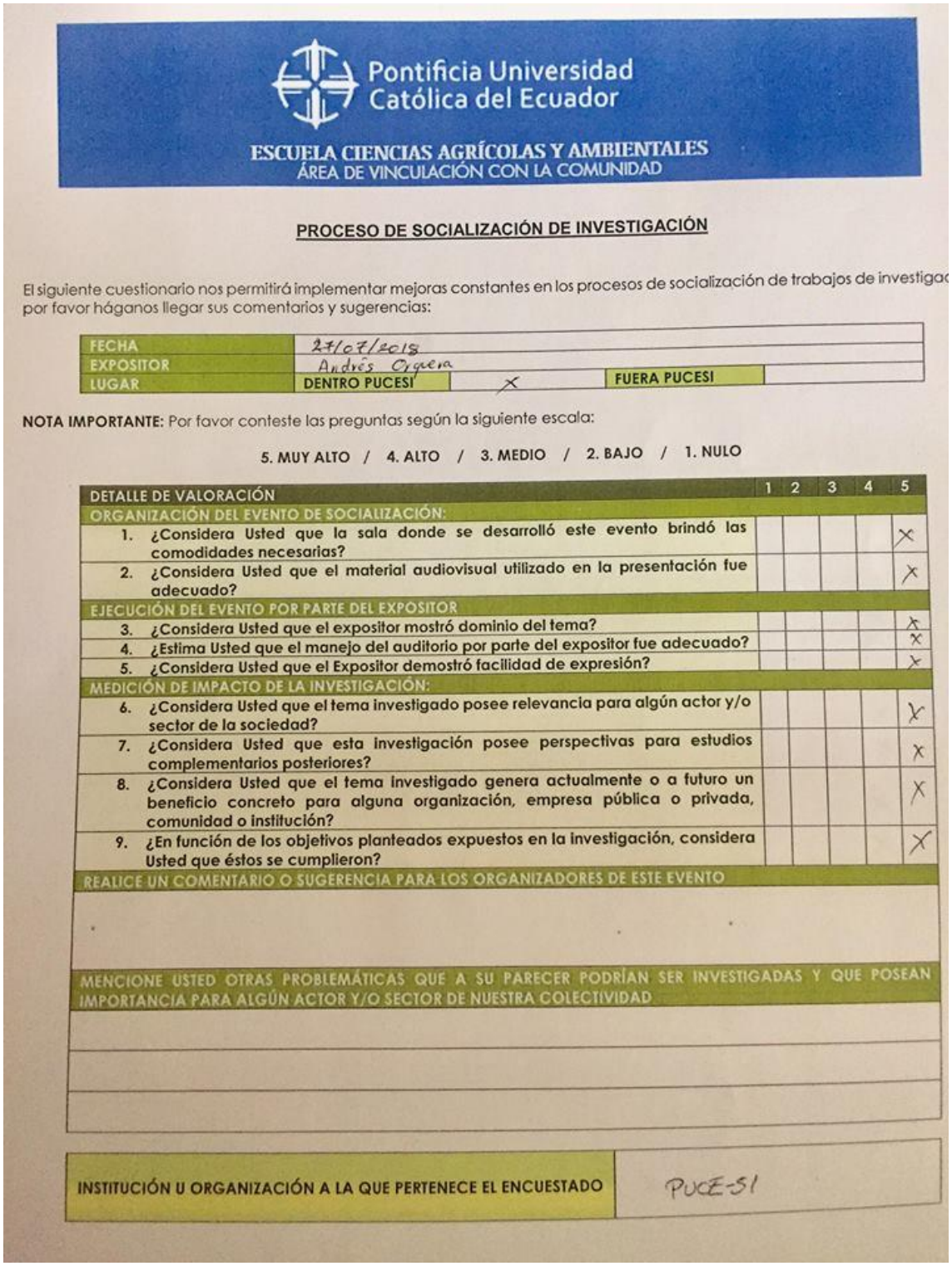








ANEXO IV. Encuesta de la socialización.



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES
ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD

PROCESO DE SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

El siguiente cuestionario nos permitirá implementar mejoras constantes en los procesos de socialización de trabajos de investigac
por favor háganos llegar sus comentarios y sugerencias:

FECHA	27/07/2018			
EXPOSITOR	Andrés Ogera			
LUGAR	DENTRO PUCESI	X	FUERA PUCESI	

NOTA IMPORTANTE: Por favor conteste las preguntas según la siguiente escala:

5. MUY ALTO / 4. ALTO / 3. MEDIO / 2. BAJO / 1. NULO

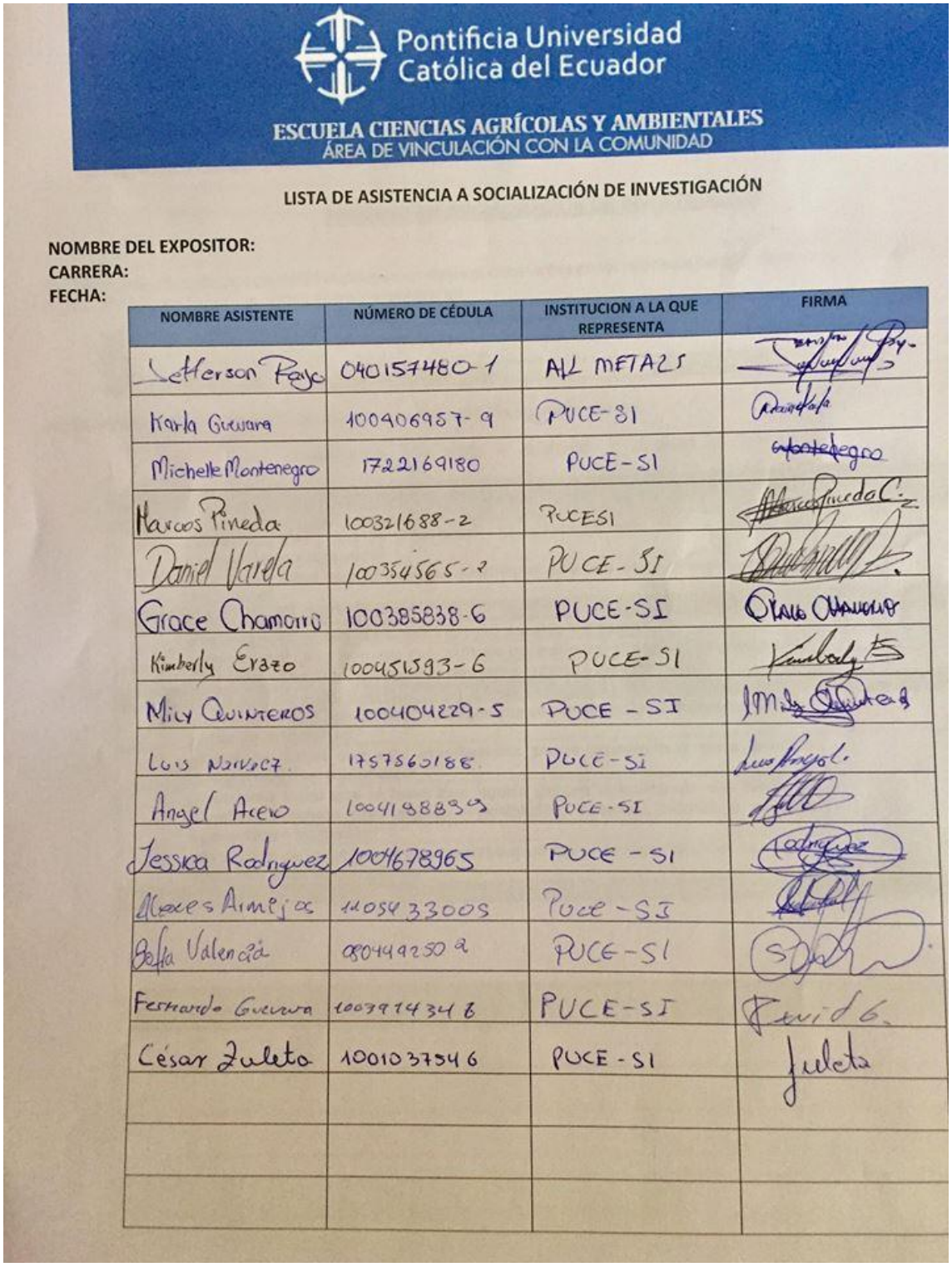
DETALLE DE VALORACIÓN	1	2	3	4	5
ORGANIZACIÓN DEL EVENTO DE SOCIALIZACIÓN:					
1. ¿Considera Usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?					X
2. ¿Considera Usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?					X
EJECUCIÓN DEL EVENTO POR PARTE DEL EXPOSITOR					
3. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?					X
4. ¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?					X
5. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión?					X
MEDICIÓN DE IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN:					
6. ¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?					X
7. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?					X
8. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?					X
9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?					X

REALICE UN COMENTARIO O SUGERENCIA PARA LOS ORGANIZADORES DE ESTE EVENTO

MENCIONE USTED OTRAS PROBLEMÁTICAS QUE A SU PARECER PODRÍAN SER INVESTIGADAS Y QUE POSEAN IMPORTANCIA PARA ALGÚN ACTOR Y/O SECTOR DE NUESTRA COLECTIVIDAD

INSTITUCIÓN U ORGANIZACIÓN A LA QUE PERTENECE EL ENCUESTADO	PUCE-SI

ANEXO V. Listado de asistentes a la socialización.



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES
ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD

LISTA DE ASISTENCIA A SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

NOMBRE DEL EXPOSITOR:
CARRERA:
FECHA:

NOMBRE ASISTENTE	NÚMERO DE CÉDULA	INSTITUCION A LA QUE REPRESENTA	FIRMA
Jefferson Paye	040157480-1	AL METALS	
Karla Guevara	100906957-9	PUCE-SI	
Michelle Montenegro	1722169180	PUCE-SI	
Marcos Pineda	100321688-2	PUCESI	
Daniel Varela	100354565-2	PUCE-SI	
Grace Chamorro	100385838-6	PUCE-SI	
Kimberly Erazo	100451593-6	PUCE-SI	
Mily Quinteros	100404229-5	PUCE - SI	
Luis Narvaez	1757560188	PUCE-SI	
Angel Acero	1004198893	PUCE-SI	
Jessica Rodriguez	1001678965	PUCE - SI	
Moises Arnejos	1105433005	Puce - SI	
Sofia Valencia	0804492509	PUCE-SI	
Fernando Guerrero	1003914346	PUCE-SI	
César Zuleta	1001037546	PUCE - SI	

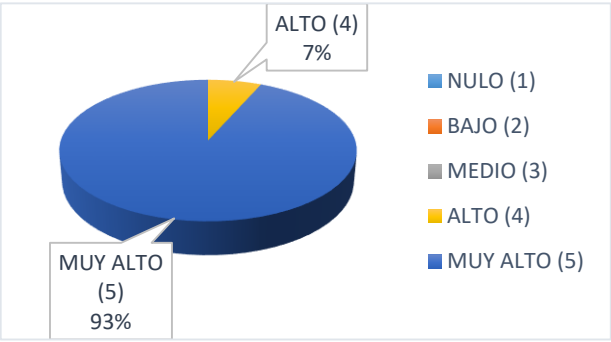
ANEXO VI Resultados de la socialización.

Realizada la encuesta de la socialización obtuvimos los siguientes resultados, acorde al sistema valoración dado el cual nos permitirá implementar mejoras constantes en los procesos de socialización de trabajos de investigación.

ORGANIZACIÓN DEL EVENTO DE SOCIALIZACIÓN:

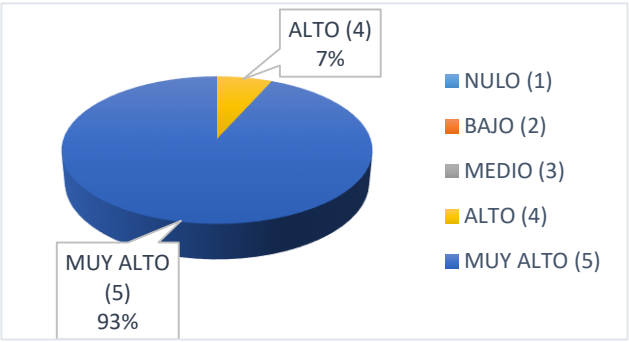
1. ¿Considera Usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?

VALORACION	POBLACION	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	1	7
MUY ALTO (5)	14	93
TOTAL	**15**	**100**



2. ¿Considera Usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?

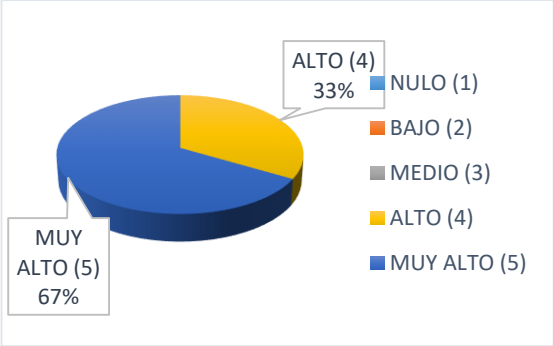
VALORACION	POBLACION	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	1	7
MUY ALTO (5)	14	93
TOTAL	**15**	**100**



EJECUCIÓN DEL EVENTO POR PARTE DEL EXPOSITOR

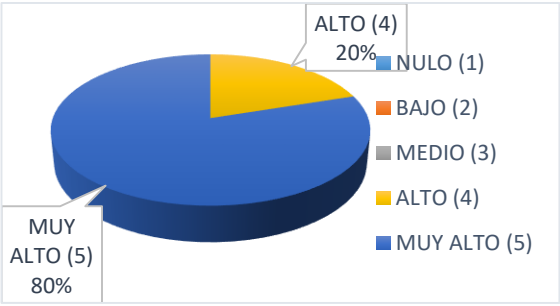
3. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?

VALORACION	POBLACION	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	5	33
MUY ALTO (5)	10	67
TOTAL	**15**	**100**



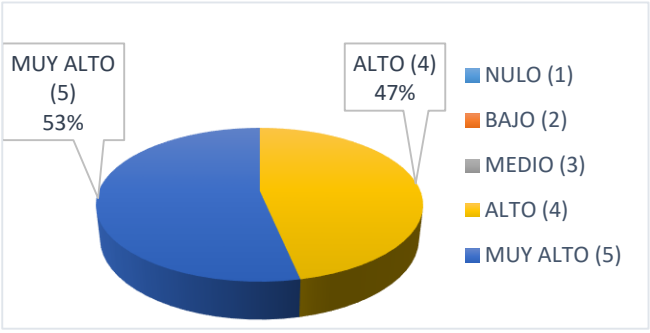
4. ¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?

VALORACION	POBLACION	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	3	20
MUY ALTO (5)	12	80
TOTAL	**15**	**100**



5. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión?

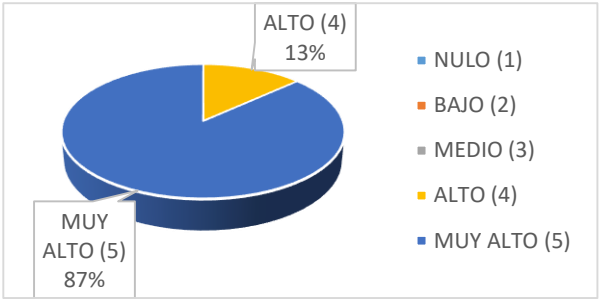
VALORACION	POBLACION	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	7	47
MUY ALTO (5)	8	53
TOTAL	**15**	**100**



MEDICIÓN DE IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN:

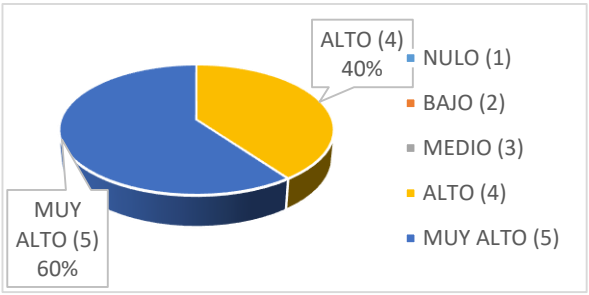
6. ¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?

VALORACION	POBLACION	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	2	13
MUY ALTO (5)	13	87
TOTAL	**15**	**100**



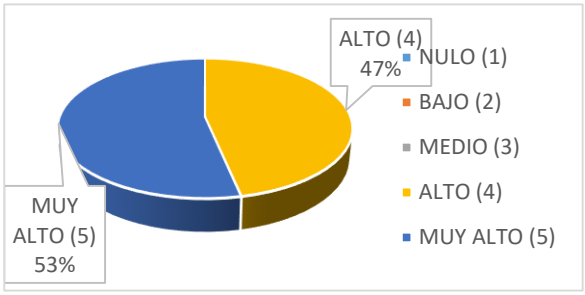
7. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?

VALORACION	POBLACION	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	6	40
MUY ALTO (5)	9	60
TOTAL	**15**	**100**



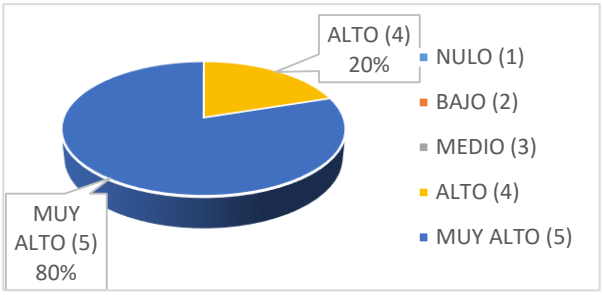
8. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?

VALORACION	POBLACION	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	7	47
MUY ALTO (5)	8	53
TOTAL	**15**	**100**



9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?

VALORACION	POBLACION	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	12,5
ALTO (4)	3	20
MUY ALTO (5)	12	80
TOTAL	**15**	**100**



ANEXO VII. Evidencias fotográficas.

Salidas de campo de reconocimiento y toma de puntos de las fuentes de agua termal (cajas) en la zona de estudio Chachimbiro.



Fotografía 1: Reconocimiento de fuentes de agua termal.
Fuente: El Autor.

Elaboración del invernadero según las especificaciones requeridas, con ayuda de personas con experiencia en esta labor.



Fotografía 2: Armado de invernadero.
Fuente: El Autor.

Conexión de sistema de tubería para calefacción del invernadero.



Fotografía 3: Sistema de tubería para circulación de agua termal.
Fuente: El Autor.

Toma de datos de los diferentes parámetros de medición en las plantas *Solanum betaceum* (Tomate de árbol).



Fotografía 4: Mediaciones para base de datos de los diferentes parámetros medidos.
Fuente: El Autor.

Toma de datos de humedad relativa dentro del invernadero.



Fotografía 5: Toma de datos con la Estación meteorológica Hyundai WS 2061 Garden.
Fuente: El Autor.

Toma de datos de temperatura en el exterior e interior del invernadero, de un día seleccionado al azar.



Fotografía 6: Acampada en el lugar específico del invernadero.

Fuente: El Autor.