



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Riego por goteo convencional y automatizado en la
producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), a
campo abierto, UNA, Managua, 2020 - 2021

Autor

Br. Katia De Los Ángeles Ortega Amador

Asesores

Ing. MSc. Henry Alberto Duarte Canales
Ing. Yader Mayquel Barrera Rivera

Managua, Nicaragua
Marzo, 2021



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Riego por goteo convencional y automatizado en la
producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.),
a campo abierto, UNA, Managua, 2020 - 2021

Autor

Br. Katia De Los Ángeles Ortega Amador

Asesores

Ing. MSc. Henry Alberto Duarte Canales
Ing. Yader Mayquel Barrera Rivera

Presentado a la consideración del honorable tribunal
examinador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Agrícola

Managua, Nicaragua
Marzo, 2021

Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable Tribunal Examinador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrícola

Miembros del Tribunal Examinador

Dr. Fernando Mendoza Jara
Presidente

MSc. Jorge Gómez Martínez
Secretario

Ing. Norland Méndez Zelaya
Vocal

Lugar y Fecha: Sala de postgrado FAGRO, 24 de marzo 2021

DEDICATORIA

A:

Dios nuestro señor por haberme brindado salud y permitido seguir adelante en mis estudios y poder culminar con éxito, esta nueva fase de mi vida profesional.

A mi familia especialmente a mis padre Santos Isabel Amador Flores (q.e.p.d) y Leonel Ortega Gutiérrez, a mis Herman@s por su amor, comprensión y apoyo incondicional en la realización y cumplimiento de cada una de mis metas.

Br. Katia de los Angeles Ortega Amador

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios por darme siempre aliento de vida y permitirme llegar a cumplir unas de mis principales metas, a mis padres, herman@s y abuelos por su apoyo incondicional.

Agradezco de manera muy especial a mi madre (q.e.p.d) Santos Isabel Amador Flores quien en vida me apoyo con sus consejos, orientándome en el propósito correcta de la vida, por mostrarme lo más conveniente en la realidad y el peso de las malas decisiones que se toman en el transcurso y pasar del tiempo.

A nuestros asesores, MSc. Henry Alberto Duarte Canales e Ing. Yader Mayquel Barrera Rivera, que dedicaron gran parte de su tiempo para brindarnos de su ayuda profesional, su disponibilidad, paciencia para orientarnos en la redacción y realización de este trabajo, por su amistad y confianza que nos han brindado a lo largo de este camino.

A los Docentes de la Universidad Nacional Agraria, quienes nos impartieron sus conocimientos.

Al proyecto que fue financiado por la UNA – DIEP (Dirección de Investigación Extensión y Posgrado), por abrir un campo de investigación y desarrollo para el interés de estudiantes egresados de las diferentes carreras agropecuarias.

Br. Katia de los Angeles Ortega Amador

INDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	<i>i</i>
AGRADECIMIENTO	<i>ii</i>
INDICE DE CUADROS	<i>iii</i>
INDICE DE FIGURAS	<i>iv</i>
INDICE DE ANEXOS	<i>v</i>
RESUMEN	<i>vi</i>
ABSTRACT	<i>vii</i>
I INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos Específicos	3
III.. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 Generalidades del cultivo de tomate	4
3.2 Características botánicas	5
3.3 Procedimiento de calibración de sensor de humedades	5
3.3.1 Circuito eléctrico	6
3.3.2 Sistema de automatización y control	7
3.3.4 Válvula solenoide	7
3.4 Condiciones agroclimáticas del cultivo	8
3.5 Temperatura	9
3.6 Uso del agua	9
3.7 Riego por goteo	9
3.8 La importancia del riego por goteo	10
3.9 Componentes del sistema de riego automatizado	12
3.9.1 Tecnología agrícola (AgTech)	10
3.9.2 Dispositivos inteligentes	10
3.9.3 Automatización	12
3.9.4 Arduino	12
3.9.5 Regulador de carga	12
3.9.6 Sensor de humedad del suelo	13
3.9.7 Válvula Solenoide	13
IV. MATERIALES Y METODOS	14
4.1 Ubicación del área de estudio	14
4.2 Clima	15
4.3 Suelo	15
4.4 Diseño metodológico	16
4.4.1 Descripción de los tratamientos	16

4.5	Manejo agronómico del ensayo	17
4.5.1	Preparación de suelo	17
4.5.2	Siembra	17
4.5.3	Tutorado	17
4.5.4	Fertilización	17
4.5.5	Control de plagas	17
4.5.6	Riego	17
4.6	Parámetros de riego	18
4.6.1	Lamina neta de riego	18
4.6.2	Lamina bruto (Lb)	18
4.6.3	Intensidad de aplicación	18
4.6.4	Tiempo de riego	19
4.6.5	Intervalo de riego	19
4.6.6	Coefficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo	19
4.7	Variables de crecimiento	20
4.8	Variables de fruto y rendimiento	21
4.9	Análisis de productividad del agua	21
4.10	Recolección de datos	22
4.11	Análisis de datos	23
V.	RESULTADOS Y DISCUSION	23
5.1.	Parámetros de riego	23
5.1.1	Tiempo de riego	23
5.1.2	Coefficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo	23
5.2	Variables de crecimiento	24
5.2.1	Altura de la planta	24
5.2.2	Diámetro del tallo de la planta	24
5.2.3	Numero de hojas por plantas	25
5.3	Variables de rendimiento	26
5.3.1	Numero de frutos por plantas	26
5.3.2	Numero de racismos por plantas	26
5.3.3	Numero de frutos por racismos	26
5.3.4	Diámetro polar del fruto	27
5.3.5	Diámetro ecuatorial del fruto	27
5.3.6	Rendimiento	28
5.4	Análisis de productividad del agua	29
5.5.	Análisis económico	30
5.5.1	Análisis de presupuesto parcial	30
5.5.2	Relación beneficio costo	32

VI. CONCLUSIÓN	33
VII RECOMENDACIÓN	34
VIII LITERATURA CITADA	35
IX. ANEXOS	38

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Análisis físico-químico del suelo, UNA, Managua, 2019.	16
2	Indicadores del desempeño de los sistemas de riego.	20
3	Tiempos de riego para cada una de las láminas de riego evaluadas en el cultivo de tomate INTA JL-5, UNA, Managua, 2021	23
4	Efectos principales de las técnicas de riego para las variables de crecimiento (altura, diámetro y hojas por planta) UNA, Managua 2020	25
5	Efectos principales de las técnicas de riego para las variables de rendimiento (frutos por planta, racimo por planta y frutos por racimos) UNA, Managua 2021	27
6	Comparación de los valores medios para las variables Diámetro polar (cm) y Diámetro ecuatorial (cm) en el cultivo de tomate JL-5, UNA, Managua, 2021.	28
7	Comparación de los valores medios para la variable de rendimientos cosecha y rendimientos totales en kg ha ⁻¹ , UNA, Managua, 2021	29
8	Análisis de presupuesto parcial de los sistemas de riego convencional y automatizado, El Regen UNA, Nicaragua, 2021	31
9	Análisis de utilidades y relación beneficio costo, El Regen UNA, Nicaragua, 2021	32

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA		PAGINA
1	Simulación y control del circuito eléctrico para el funcionamiento del sensor de humedad de suelo	6
2	Evaluación del desempeño del sensor de humedad de suelo según las propiedades hidrofísicas del suelo	8
3	Ubicación de área de estudio, UNA, 2020	14
4	Condiciones climáticas en el área de estudio. Estación meteorológica Aeropuerto Internacional Augusto Cesar Sandino (INETER, 2021).	15
5	Plano del sistema de riego convencional y automatizado, REGEN, UNA, Managua, 2020 -2021	16
6	Productividad del agua según el sistema de riego evaluados en el cultivo de tomate, El Regen, UNA, 2021.	30

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Plano de campo	38
2	Calibración de sensores de humedad	39
3	Construcción de logaritmo	39
4	Diseño y construcción del circuito programable	40
5	Caculo de la lámina de riego por goteo en el cultivo de tomate en el Regen, UNA, Managua, 2021 (Inicio)	40
6	Caculo de la lámina de riego por goteo en el cultivo de tomate en el Regen, UNA, Managua, 2021. (Desarrollo)	42
7	Tabla de tiempo de abierto y cerrado del sistema de riego automatizado	44
8	Promedios de los caudales de los dos sistemas de riego por goteo, UNA,2021	46
9	Medición de variables de crecimiento	46
10	Medición de variables de fruto	47
11	Medición de variables de fruto	47
12	Medición de variables de rendimiento kg ha ⁻¹	47
13	Análisis de productividad del agua (kg m ³)	47

RESUMEN

Nicaragua se caracteriza por su actividad agropecuaria y se enfrenta a los efectos de las fluctuaciones climáticas provocando grandes pérdidas en la producción. El riego es una estrategia necesaria para adaptarse a esta problemática, considerando la situación se decidió evaluar dos sistemas de riego por goteo convencional y automatizado para mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico en la producción de tomate en campo abierto. El ensayo se realizó en el departamento de Managua en el área del El REGEN, sector norte del campus de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria, en el periodo septiembre 2020 a febrero 2021. Fue utilizado un Diseño Completamente al Azar (DCA), con un arreglo en parcelas apareadas sobre los tratamientos riego convencional con una lámina 13.65 mm y riego automatizado 9.89 mm. Las distancias de siembra fueron 0.5 m entre plantas y 1 m entre surco. Se evaluaron variables de crecimiento (altura, diámetro y número de hojas por plantas), variables de rendimiento (número de frutos por planta, número de racimos por planta, número de frutos por racimos, diámetro polar, diámetro ecuatorial y rendimiento total en kg ha^{-1}), y productividad del agua kg m^3 . Las variables fueron sujetas a un análisis de varianza (ANDEVA) y agrupaciones mediante Tukey ($\alpha = 0.05$). Las variables de crecimiento se vieron afectadas estadísticamente el riego automatizado supero al riego convencional, los mayores rendimientos se obtuvieron con el riego automatizado con 23 027.14 kg ha^{-1} , de igual manera obtuvo la mayor productividad del agua con 6.75 kg m^3 , con este sistema se obtuvo los mayores beneficios netos \$ 12 216.50 y por ende una mayor relación beneficios costo \$ 7.31.

Palabras Clave. Arduino, recurso hídrico, productividad del agua, sistema de riego

ABSTRACT

Nicaragua is characterized by its agricultural activity and faces the effects of climatic fluctuations causing great losses in production. Irrigation is a necessary strategy to adapt to this problem. Considering the situation, it was decided to evaluate two conventional and automated drip irrigation systems to improve the use of water resources in open field tomato production. The trial was carried out in the department of Managua in the area of El REGEN, north sector of the campus of the Faculty of Agronomy, National Agrarian University, in the period September 2020 to February 2021. A Completely Random Design (DCA) was used, with an arrangement in paired plots on conventional irrigation treatments with a 13.65 mm sheet and automated irrigation 9.89 mm. The sowing distances were 0.5 m between plants and 1 m between rows. Growth variables (height, diameter and number of leaves per plant), yield variables (number of fruits per plant, number of bunches per plant, number of fruits per bunches, polar diameter, equatorial diameter and total yield in kg ha were evaluated. -1), and water productivity kg m³. The variables were subjected to an analysis of variance (ANDEVA) and groupings by Tukey ($\alpha = 0.05$). The growth variables were statistically affected by automated irrigation exceeding conventional irrigation, the highest yields were obtained with automated irrigation with 23 027.14 kg ha⁻¹, in the same way, the highest water productivity with 6.75 kg m³ was obtained, with this system the highest net benefits were obtained \$ 12,216.50 and therefore a greater cost benefit ratio of \$ 7.31.

Keywords. Arduino, water resource, water productivity, irrigation system

I. INTRODUCCIÓN

Según Tirilly (2002), se refiere al tomate *solanum lycopersicum* como:

Una planta que pertenece a la familia de las solanáceas, y su origen se encuentra al noroeste de América del Sur. Fue introducido a Europa en el siglo XVI, donde se cultivó como planta ornamental por consideraciones como una planta tóxica y fue hasta el siglo XVII que se comenzó a consumir. Es una de las hortalizas más importantes del mundo y su popularidad aumenta constantemente. En el ámbito mundial, se clasifica como el segundo vegetal más importante, superado únicamente por la papa.

Jaramillo (2006), menciona que:

Los principales países productores son China, Estados Unidos, Turquía, Egipto, Italia, India, Irán, España, Brasil y México, los cuales contribuyen con cerca del 70 % de la producción mundial. En Centroamérica los más grandes productores de tomate son Guatemala, Honduras y Costa Rica (EDA, 2006).

De acuerdo al Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua (2012), sostiene que:

Los principales departamentos que producen tomate en Nicaragua son: Jinotega, Estelí, Matagalpa, Masaya, Nueva Segovia y Managua, reportándose el establecimiento de 1775.12 ha en todo el país, de estas 430.78 ha se producen en el departamento de Jinotega, 370.34 ha en Matagalpa, 356.99 ha en Estelí, Managua 260.72 ha, Nueva Segovia 197.47 ha y Masaya 158.82 ha.

Carrillo (2003), al referirse sobre la producción del tomate a campo abierto expresa que:

Resulta cada vez más difícil, debido a condiciones ambientales adversas y a la incidencia de plagas y enfermedades que afectan la productividad de este cultivo. Por otra parte, Jiménez (2010) manifiesta que el principal problema que se enfrenta en la producción de tomate ha sido el desarrollo evolutivo y ataque severo del complejo mosca blanca (*Bemisia tabaci*, Gennadius)-Gemini viru.

Lapidot y Friedmann (2002), expresan que surge una necesidad de:

Nuevos cultivares y tecnologías que garanticen al productor de este rubro hortícola optimizar la producción y generar buena rentabilidad, mediante alternativas como la obtención de variedades tolerantes o resistentes a plagas, enfermedades y la sequía, Por lo que en los últimos años se ha dado importancia al desarrollo de programas de mejoramiento para resistencia a virus. Una solución posible para el manejo de virosis es el uso de cultivares con mayores rendimientos y resistentes

Por lo tanto, Rojas y Castillo (2007), promueven que:

Los productores emplean el riego por goteo también debido a las modificaciones en los patrones de lluvia derivados del cambio climático. Incluso en la época lluviosa se utiliza para prevenir una posible merma del agua de lluvia que pueda afectar el cultivo. Los volúmenes y las frecuencias de aplicación del líquido van a depender de la textura, la estructura y la porosidad del suelo, y de la variedad de las plantas y del ciclo de vida en el que se encuentren.

Según Cadahia (1998), conforme con el interés en:

La automatización de los sistemas de riego por goteo ha resultado en aumento en la investigación y desarrollo en el campo de la instrumentación y equipo de cómputos necesarios para completar la tarea. Una gran variedad de instrumentos y equipos de cómputos con variadas características están disponibles comercialmente. Estos pueden subdividirse en seis categorías: Controles, Válvulas Solenoide y Sensores ambientales.

Para el agricultor el uso de un sistema de riego provoca una mayor producción en las cosechas, sin embargo, estos sistemas de riego pueden ser aún más eficientes en cuanto al uso del agua en la producción agrícola. Por ello consideramos que con la ejecución de esta investigación lograremos poner a disposición un sistema que garantice la eficiencia de la optimización del recurso hídrico y reducción de costos por manipulación del riego en los sistemas de producción de tomate.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar dos sistemas de riego por goteo convencional y automatizado en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), en campo abierto, REGEN, UNA, Managua, 2020.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del manejo de un sistema de riego automatizado y convencional sobre el crecimiento y rendimientos de tomate.
- Determinar la uniformidad de riego por goteo en los sistemas de riego evaluados.
- Estimar costos / beneficios del sistema de riego automatizado vs riego por goteo convencional.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Generalidades del cultivo de tomate

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (1990), señala que:

Las variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado actualmente, probablemente se deriva de un ancestro que aún se encuentra en forma silvestre en los trópicos de Centro América y que se conoce comúnmente como tomatillo (*Physalis philadelphica*). El tomate pertenece a la familia de las Solanáceas (Solanáceae), que incluyen otras plantas comestibles domesticadas (chile, papa, berenjena), poco domesticadas (miltomates), no domesticadas, pero de uso tradicional (hierva, mora, vuélvete-loco) y otras sin ningún uso actual.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (1990), se refiere a que:

Las familias del tomate son de fácil reconocimiento en el campo por ciertas características botánicas, típicamente sus miembros contienen alcaloides (en el caso del tomate tomatina) en concentraciones variables, dependiendo de la especie y parte de la planta de que se trate.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (1990); Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, (1999), indican que los:

Que el tomate es originario de América del Sur, entre las regiones de Bolivia, Perú y Ecuador, sin embargo, consideran que es originario de México, pero cabe mencionar que México es donde este cultivo fue domesticado.

Según Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, (1999); Jarquín (2004), mencionan que:

El tomate es cultivado por su fruta comestible que se puede consumir fresco o cocinado. Se utiliza para hacer tomate pelado, deshidratado, sopas, jugos, salsas, pastas, purés y en polvo. Los tomates son muy utilizados como condimentos en la cocina y en la industria de enlatados. En su estado verde, son usados para encurtidos y conservas.

3.2. Características botánicas

Según Arcy (1991), se refiere que el tomate es:

Una especie dicotiledónea pertenecientes a las familias de las solanáceas. Esta familia, es una de las más grandes e importantes entre las angiospermas, comprende unas 2,300 especies agrupadas en 96 géneros.

Según Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2012), la clasificación taxonómica del tomate es la siguiente:

Clase: Dicotiledóneas

Orden: Solanales

Familia: Solanáceas

Subfamilia: Solanoideae

Género: Solanum

Especie: *S. lycopersicum* L.

La variedad que se utilizó en el estudio fue INTA JL- 5, una variedad de tomate tolerante a virosis, generada en INTA con la colaboración con AVRDC Taiwán, se llevó a cabo con el objetivo de comparar los resultados de las diferentes alternativas tecnológicas vs la del productor en los diferentes ambientes a validar (INTA, 2011, p.17).

3.3. Procedimiento de calibración de sensor de humedad

Según Velásquez (2020), expresa que:

Para la calibración del sensor se hizo una estimación del agua que puede ser aprovechada por la planta y que se define como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo (retenida a una fuerza de 1/3 de atm) y el punto de marchitamiento permanente (humedad retenida a una fuerza de 15 atm aproximadamente) (p, 40).

Para determinar la frecuencia del riego y la cantidad de agua aplicada se utilizó el Arduino en conjunto con el sensor, esto es posible ya que el Arduino envía un valor de tensión al extremo superior de uno de los electrodos del sensor que a su vez se transporta en toda la longitud del mismo hasta llegar al suelo donde por conductividad eléctrica pasa de un electrodo al otro, siendo este paso en donde se mide la humedad del suelo, lo cual es posible

ya que el suelo aplica una resistencia al paso de corriente eléctrica, dando como resultado un valor de tensión menor al que fue transmitido por el Arduino siendo este valor devuelto a través del segundo electrodo (p, 40).

3.3.1. Circuito eléctrico

La simulación del circuito se hizo utilizando el software Proteus 8. Se seleccionó este programa porque permite la ejecución de proyectos electrónicos, obteniendo su esquema, su programación, construcción del circuito, simular el conjunto de todo el proyecto, identificar posibles errores en campo y permitir la puesta en marcha del proyecto.

Esta simulación permitió organizar todos los elementos que componen el circuito eléctrico (figura 1) para dar inicio a la construcción y validación del sensor.

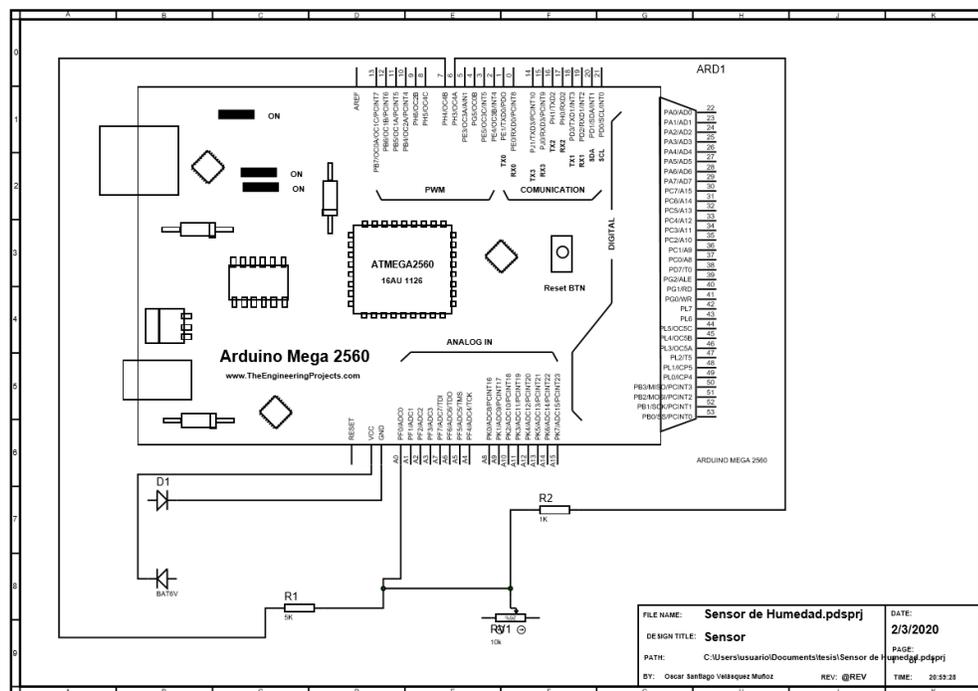


Figura 1. Simulación y control del circuito eléctrico para el funcionamiento del sensor de humedad de suelo (Velásquez, 2020).

3.3.2 Sistema de automatización y control

Según Velásquez (2020), detalla que para el funcionamiento del sistema de riego automatizado se debe considerar:

El análisis de laboratorio la Capacidad de Campo y el Limite Productivo son necesarios para implementar la automatización y control que permitirá responder las siguientes.

¿Cuándo Regar? Esta acción se logra cuando el sistema de control identificó que el porcentaje de humedad sea equivalente al Limite Productivo del suelo donde se implementa el sistema, evitando que el nivel de humedad del suelo sea inferior a la demanda de agua de la planta. Esta acción es de suma importancia, ya que, si los niveles de humedad llegan por debajo del valor del Límite Productivo, es posible que la planta pueda sufrir un estrés hídrico. El Limite Productivo puede ser variable para diferentes especies vegetales y tipos de suelos, es el nivel de humedad mínimo para efectuar el riego. (Cisnero Almazan, 2003).

¿Cuándo Dejar de Regar?: Esta acción se logra cuando el sistema de control a través del sensor, identifica que el porcentaje de humedad es equivalente a Capacidad de Campo del suelo donde se implementa el sistema, garantizando de esta manera la optimización del recurso hídrico para la producción. El sistema de control garantiza que el nivel de humedad del suelo se mantenga en un rango donde la planta logre su máximo desarrollo basado en sus necesidades hídricas.

La funcionalidad del sistema de automatización y control depende exclusivamente de la tensión que envía el sensor de humedad. Esta tensión se traduce a porcentajes de humedad utilizando el algoritmo de programación.

3.3.4. Válvula Solenoide Se utiliza una válvula normalmente cerrada la cual es activada o desactivada por el sistema de automatización y control y energizada por la fuente de alimentación.

Según Velásquez (2020), explica que:

El desempeño del sensor de humedad de suelo propuesto permite pasar a la etapa de puesta en marcha de un sistema de automatización y control del riego, tomando en cuenta que el proceso de calibración del código de programación debe ser alimentado con datos de laboratorio de las

propiedades hidrofísicas del suelo para conocer los niveles de tensión según su capacidad de campo (CC) y Limite Productivo (LP).

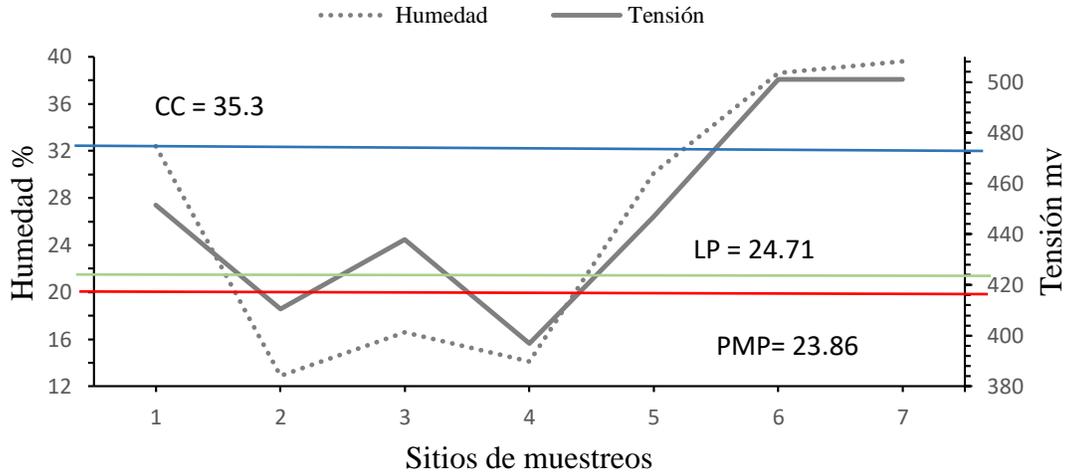


Figura 2. Evaluación del desempeño del sensor de humedad de suelo según las propiedades hidrofísicas del suelo, (Velásquez, 2020),

3.4. Condiciones agroclimáticas del cultivo

Para cultivar tomate se recomienda hacerlo en suelos francos o franco-arcillosos, ya que suelos muy pesados retienen mucha humedad y restringen la respiración de las raíces, lo cual crea además un ambiente favorable para muchas enfermedades (Jarquín, 1999).

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (1990); Jarquín (1999), aprueba que:

Las temperaturas del suelo deben de ser de 12 °C a 16 °C y la temperatura ambiente para su desarrollo de 21 °C a 24 °C, siendo el óptimo 22 °C (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1999), en general se puede decir que el tomate es un cultivo con capacidad de crecer en condiciones climáticas variadas. En la región de Centro América (altiplanos de Guatemala, Costa Rica y Honduras) este cultivo se produce en alturas, y en los valles bajos del trópico seco, reporta que las alturas más adecuadas para cosechar tomate están entre 400 y los 2000 msnm. La humedad relativa (HR) óptima para el buen desarrollo del cultivo de tomate es de aproximadamente un 70-80 %, aun en temperaturas bajas; ya que

HR muy altas (90 %) favorece el desarrollo de enfermedades foliares, sobre todo bajo condiciones de poca iluminación.

3.5.Temperatura

Salunkhe y Kadam (1998), explican que:

La temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta como la: transpiración, fotosíntesis, germinación, entre otras. Es una planta de clima cálido que requiere de mucho calor; para el tomate las temperaturas óptimas según el ciclo de vida es: temperaturas nocturnas entre 15 y 18 °C, temperaturas diurnas 24 a 25 °C y temperatura ideal en la floración de 21 °C. La temperatura óptima para la maduración del fruto es entre 18 - 24 °C.

3.6.Uso del agua

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2012), indica que;

La región centroamericana tiene recursos hídricos suficientes para la agricultura. Sin embargo, la variación estacional de las lluvias, la insuficiencia de obras de riego, la degradación de las cuencas y el deterioro en la calidad del agua afectan el uso del agua agrícola. Además, la región ha sido dañada seriamente por los efectos del cambio climático, por la deforestación y por las deficientes prácticas agropecuarias. Se calcula que el área irrigada en esta región es de aproximadamente 500 000 ha.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2014), señala que:

En la agricultura depende absolutamente del agua, por los cambios en los patrones y la intensidad de las lluvias, las sequillas e inundaciones impactan significativamente en la agricultura. Por ello se requiere un manejo integrado de los recursos hídricos, con el fin de incrementar el bienestar económico y social más equitativa y sustentable.

3.7.Riego por goteo

Fajardo (2016), manifiesta que:

El riego por goteo permite un suministro constante y uniforme de agua gota a gota, que permite mantener el agua de la zona radicular en condiciones de baja tensión. Resulta más eficiente porque se pierde menos líquido, evita excesos de humedad en el follaje y reduce la incidencia de enfermedades.

Según Francisco (2017), el sistema de riego por goteo permite:

Ahorrar hasta un 60 % además del propio trabajo de regar. En este método de riego, el agua se aplica directamente al suelo, gota a gota, utilizando unos aparatos llamados goteros, los cuales necesitan presión para su funcionamiento, aunque esta presión es mucho más baja que la que se necesita en riego por aspersión.

Rojas y Castillo (2007), expresa que:

Los volúmenes y las frecuencias de aplicación del líquido van a depender de la textura, la estructura y la porosidad del suelo, y de la variedad de planta y del ciclo de vida en el que se encuentre.

3.8. La importancia del riego para la producción

Según Sebald Hand (2014), menciona que El agua es:

Un recurso fundamental y de suma utilidad para las actividades agropecuarias. No obstante, se requiere de un aprovechamiento óptimo, considerando su escasez en algunas zonas del país. Actualmente, con la introducción de diversas tecnologías y mediante la creación de prototipos, los sistemas de riego y de almacenamiento posibilitan el uso efectivo de vital líquido no solo para consumo, sino también para asegurar la producción de calidad, tanto a nivel de pequeños como de grandes productores.

Mendoza (2013), explica que:

El agua es el elemento vital para la vida, sin el agua no se podría vivir, la mayoría de los productos agrícolas y pecuarios están hechos en su mayor parte de agua, como ejemplo se pueden mencionar los siguientes productos; el tomate que contiene el 94 % de agua, la lechuga 95 %, plátano 76 % y la naranja 87 %. La producción agrícola depende del agua en nuestra región que existen dos épocas o estaciones, la estación lluviosa que se presenta normalmente de mediados de mayo a mediados de octubre y la estación seca que ocurre de mediados de octubre a mediados de mayo. La producción se concentra en su mayor parte durante la estación lluviosa y existen muy pocas tierras cultivadas en la estación seca, no obstante, los países de Centroamérica cuentan con una amplia superficie con características para la producción bajo riego.

El riego por goteo está despertando cada día mayor interés, debido a las múltiples ventajas que ofrece desde el punto de vista de la economía del agua, como por el efecto benéfico en el desarrollo de los cultivos y en los niveles de producción, entre las principales atribuciones de este método.

Ventajas del riego por goteo

- No se presenta agua de escorrentía, son pocas por percolación y son casi nulas por evaporación.
- Bajos requerimientos de potencia y de consumo de energía en el sistema de bombeo.
- Fácil automatización de todo el sistema.
- Disposición continua de agua para la planta y en el lugar donde se necesita.
- Aplicación óptima y eficiente de los fertilizantes conjuntamente con el agua de riego (fertirriego).
- Disminución considerable de las malezas en los cultivos.
- Es utilizable y adaptable a cualquier topografía.
- Reducción a los problemas de erosión y daño a la estructura del suelo.
- Menor cantidad de mano de obra.

Desventajas del riego por goteo

- Es un sistema de alto costo de instalación.
- No permite mecanizar el área de trabajo (preparación de suelo).
- Exige estricta utilización de sistemas de filtrado.
- El alto riesgo de obturación de los emisores, y el consiguiente efecto sobre la uniformidad del riego.
- La presencia de altas concentraciones de sales alrededor de las zonas regadas, debida a la acumulación preferencial en estas zonas de las sales.

3.9. Componentes del sistema de riego automatizado

3.9.1. Tecnología agrícola (AgTech)

Instituto Nacional Tecnológico (2003), señala que:

La tecnología agrícola son las herramientas y la maquinaria que se utilizan principalmente o en su totalidad para apoyar la empresa agrícola.

3.9.2 Dispositivos inteligentes

Ucha (2012), detalla que:

Un dispositivo inteligente es aquel equipo o aparato capaz de ejecutar tareas de modo automático.

3.9.3 Automatización

Gómez (2005), se refiere que:

Las Tecnologías asociadas con la aplicación de sistemas de tipo mecánico, electrónico y basado en ordenador, a la operación y control de la producción.

3.9.4 Arduino

Torrente (2013), expresa que el hardware:

Es una placa libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores.

3.9.5 Regulador de carga

Autosolar Energía del Perú (2018) menciona que es un:

El regulador de carga o también conocido como controlador de carga, evita las sobrecargas y sobre descargas de las baterías cuando están recibiendo energía fotovoltaica de los paneles solares de la instalación fotovoltaica.

3.9.6 Sensor de humedad del suelo

Según Velásquez Oscar (2020), expresa que:

El sensor de humedad de suelo propuesto permite programar la activación del riego cuando el valor de tensión está en un rango que es igual o menor al límite productivo (LP) de ese suelo, haciendo que el micro controlador permita el paso de corriente eléctrica hacia la electroválvula, esta permanece encendida siempre y cuando las lecturas de tensión sea menor al valor programado que representa la Capacidad de Campo (CC), cuando este valor sea igualado o superado automáticamente el micro controlador cortara el paso de corriente de la electroválvula haciendo que se cierre.

3.9.7 Válvula solenoide

Según Velásquez Oscar (2020), dice que:

Es una válvula eléctrica que se utiliza para controlar el paso del agua. La apertura o cierre de la válvula se basa en impulsos accionado eléctricamente. Ofrecen funciones de apertura o cierre y no se pueden utilizar para regulación del flujo de agua, solo para permitir o no su paso.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El ensayo se realizó en el departamento de Managua en el área del REGEN, sector norte, en la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria (UNA), ubicada en el km 12 ½ carretera norte, con coordenadas $12^{\circ}09'00.37''$ latitud Norte y $86^{\circ}09'36.50''$ longitud Oeste a una altura de 56 msnm (metros sobre el nivel del mar). Fonseca y Fornos (2017).

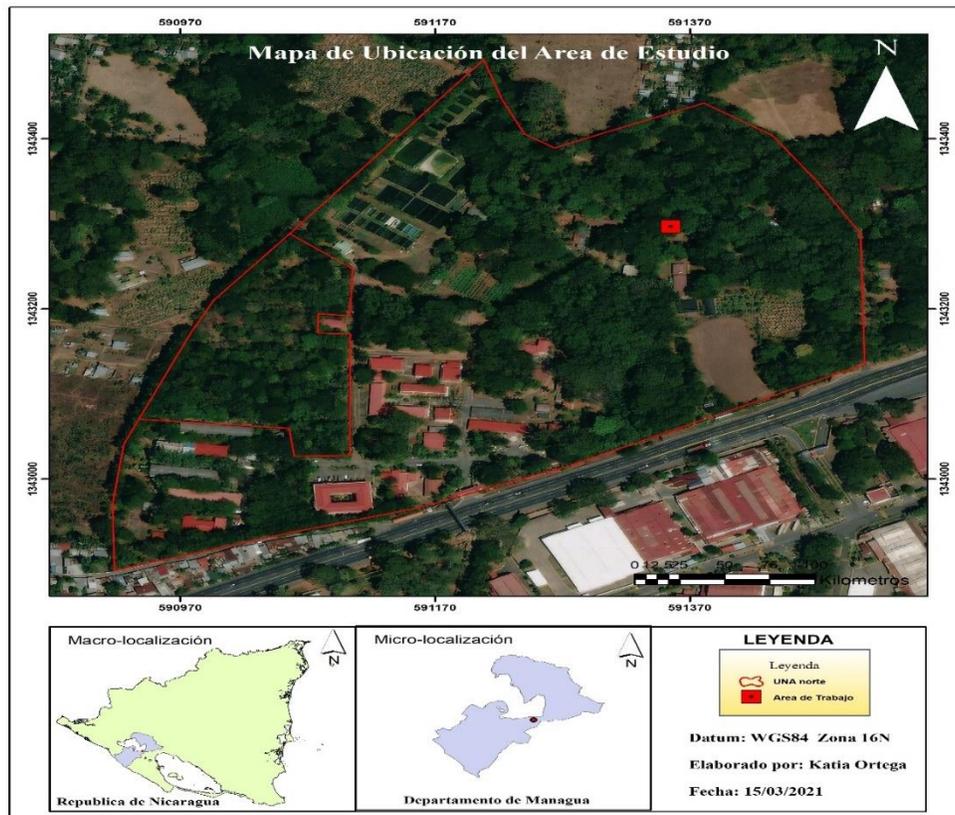


Figura 3. Ubicación de área de estudio, UNA, 2020

4.2. Clima

Según INETER (2021), dice que:

En la Figura 2, se observan los promedios de temperaturas máximas y mínimas (Max. y Min.), mayores precipitaciones en los meses de junio, septiembre y octubre. Las temperaturas a lo largo del año oscilan desde 27 °C a 34 °C. La precipitación anual promedio para Managua es de 1100 a 1600 mm.

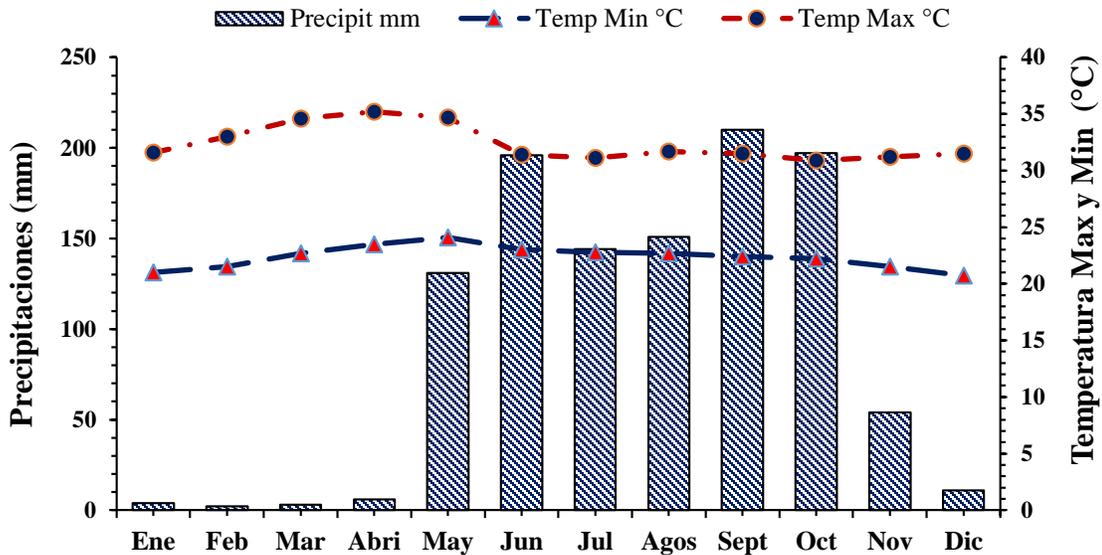


Figura 4. Condiciones climáticas en el área de estudio. Estación meteorológica Aeropuerto Internacional Augusto Cesar Sandino (INETER, 2021).

4.3. Suelo

Concorde Salmerón y García (1994), que:

El tipo de suelo donde se estableció el experimento pertenece a la serie La Calera, del orden inceptisol, de color negro y pobremente drenado, debido a que la permeabilidad es lenta. Posee además una capacidad de humedad moderada y una zona radicular superficial a profunda se deriva de sedimentos lacustres y aluviales. De acuerdo con el análisis de suelo según el Laboratorio de Suelo y Agua (LABSA, 2019) de la Universidad Nacional Agraria (Cuadro 1), presentó un pH ligeramente alcalino, materia orgánica media, nitrógeno medio, fósforo y potasio alto, y una textura franco Arenoso (Arcilla 11.2%, Limo 28% y Arena 60.8 %).

Cuadro 1. Análisis físico-químico del suelo, UNA, Managua, 2019

Prof.	pH	%	Ppm			Meq/100 g suelo		Ppm			Propiedades hidrofísicas		
Cm	H ₂ O	MO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cc	Pmp	Da
25	8.03	2.6	0.13	22.8	4.68	25.01	11.02	0.98	1.12	28.48	35.3	23.86	0.91

Nota Loc= Localidad; Prof= Profundidad; MO= Materia Orgánica; N= Nitrógeno; P= fósforo, K= potasio, Mg= magnesio, Fe= hierro, Zn= zinc, Mn=manganes

4.4. Diseño metodológico

El experimento fue establecido en un Diseño Completamente al Azar (DCA), con un arreglo en parcelas apareadas, las dimensiones de la parcela fueron 12 m de largo y 12 m de ancho para un total de 144 m² en todo el experimento de campo, el área total se dividió en dos parcelas de 6 surcos cada una para un total de 12 surcos de 12 m de largo. El espaciamiento entre plantas 0.5 m y entre surco de 1 m para un total de plantas 288. La parcela útil estuvo conformada por 4 surcos centrales, se muestrearon 10 plantas por parcelas útil.

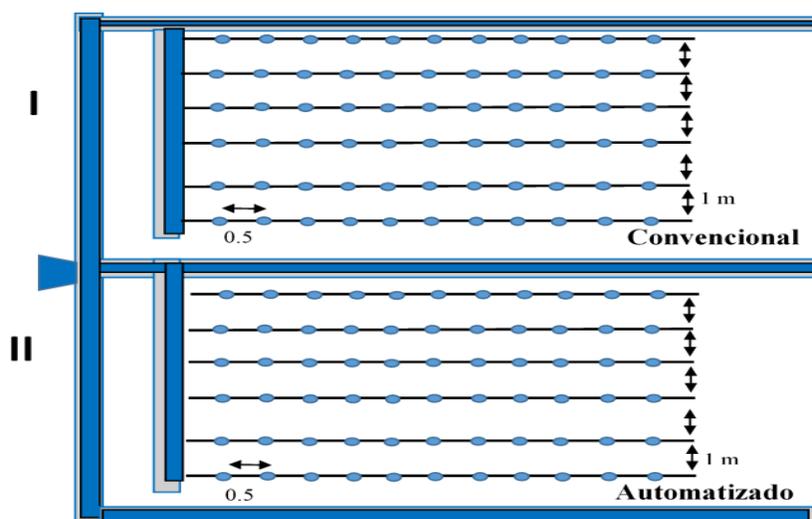


Figura 5. Plano del sistema de riego convencional y automatizado, REGEN, UNA, Managua, 2020-2021

4.4.1. Descripción de los tratamientos

Se manejarán dos metodologías de manejo de riego.

- 1) Sistema automatizado con sensor de humedad del suelo y plataforma de programación Arduino.
- 2) Manejo de láminas de riego por goteo convencional.

4.5. Manejo agronómico del tomate

4.5.1 Preparación de suelo

La preparación del área de siembra se efectuó en el mes de septiembre del año 2020. Iniciando con la delimitación del área experimental, limpieza y elaboración de surcos de forma manual.

4.5.2 Siembra

Las plantas del cultivo de tomate INTA JL - 5 fueron trasladadas al área experimental una vez que alcanzaron la altura recomendada entre 12 - 15 cm, se estableció una distancia de siembra de 0.50 m entre plantas y 1 m entre surco, con un total de 253 plantas en todo el experimento.

4.5.3. Tutorado

El objetivo del tutorado de plantas es prevenir el contacto entre fruto y suelo, facilitar un mejor control sanitario y obtener una producción continua.

4.5.4. Fertilización

Según el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (2004), La fertilización en tomate se debe de hacer aplicaciones a los 30 días dds y al inicio de la floración aplicar un qq por mz de urea y dos qq de 12 – 30 - 10. El tipo de fertilización suministrada en el ensayo fue la aplicación de dos dosis de 12 – 30 – 10 (0.0216 kg ha⁻¹), aplicándolas en un intervalo de 15 días.

4.5.5. Control de plagas

Se hicieron aplicaciones foliares cada 20 días con Cipermetrina, esto debido a la presencia de plagas como, la mosca blanca y el minador.

4.5.6. Riego

El estudio se realizó con un sistema de riego por goteo debido a su fácil acceso y su eficiencia, las láminas que se aplicaron fueron 13.65 mm en el riego convencional y en el riego automatizado fueron 6.09 mm, en los primeros meses de crecimiento, duplicando dichas láminas en el riego en el período de floración y desarrollo de los frutos, debido a que es donde más demanda de agua requiere el cultivo con láminas 27.33 mm en el riego convencional, en el riego automatizado se profundizó el sensor a 30 cm sin embargo este mantuvo la misma lamina y el mismo tiempo en

todo el ciclo del cultivo. Se utilizó una cinta de polietileno, 16 mm de diámetro, 0.30 m entre emisor con un caudal de 1.2 litro por hora

4.6. Parámetros de riego

4.6.1. Lámina neta de riego

La lámina neta es la cantidad de agua que debe ser aplicada durante el riego con el fin de cubrir el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración. Expresada en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ y está dada por la siguiente ecuación

$$ln = 100 * \Delta H * Da * (Cc - lp)$$

Donde:

Ln: lámina neta

ΔH : variación de capa activa

Da: Densidad aparente

Cc: Capacidad de campo

Lp: limite productivo

4.6.2. Lámina bruta (Lb)

Castro (2009), dice que la lámina bruta es:

El suministro de agua al cultivo debe incluir adicionalmente a las necesidades netas de la planta. La lámina bruta se define entonces como la lámina neta afectada por la eficiencia de riego y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{Ln}{Ef}$$

Donde

Lb: Lámina bruta

Ln: Lámina neta

Ef: Eficiencia de aplicación.

4.6.3. Intensidad de aplicación:

Es un término que se refiere específicamente a cómo el agua se relaciona con el suelo, hace referencia al momento del primer contacto. Lo cual se expresa en mm por hora

$$Ia = \frac{Qe}{Es * Ei}$$

Donde:

Ia: Intensidad de aplicación

Qe: Caudal del emisor

Es: Espaciamiento entre surco

Ei: Espaciamiento entre emisor

4.6.4. Tiempo de riego

Tiempo que se necesita para que opere el sistema para entregar la lámina bruta de riego utilizaremos la ecuación:

$$Tr = \frac{Lb}{Ia}$$

Dónde:

Tr: Tiempo de riego

Lb: Lámina Bruta

Ia: Intensidad de aplicación.

4.6.5. Intervalo de riego:

No es más el tiempo que necesitamos para aplicar y cada cuanto tiempo (IR) debemos practicar la operación de riego para restituir la humedad en el suelo y esto se realiza mediante la siguiente formula.

$$Ir = \frac{Lb}{Evatp/día}$$

Donde:

IR: Intervalo de riego

Lb: Lámina Bruta

Evatpa/ día: Evapotranspiración

4.6.6. Coeficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo

Para evaluar la eficiencia del sistema de riego por goteo se calcularon caudales promedios que entregaban los emisores en tres puntos referentes seleccionados al inicio, medio y final de las camas. Aplicando la metodología del cuarto menor (INIA-URURI, 2010).

Para calificar la uniformidad del sistema de riego se utilizó la metodología desarrollada por Merriam y Keller (1978), citada por Pizarro Cabello (1996), la metodología de la Sociedad

Americana de Ingenieros Agrícolas de USA, a través de sus estándares (ASAE EP-438, 2003), IRYDA (1983).

Cuadro 2. Indicadores del desempeño de los sistemas de riego

Clasificación	ASAE (2003)		Merriam and Keller (1978)	IRYDA (1983)	
	US	CU	CU	CU	CU
Excelente	100-95	100-94	100-94	> 90	> 94
Bueno	90-85	87-81	87-81	80-90	94-86
Regular	80-75	75-68	75-68	70-80	80-86
Pobre	70-65	62-56	62-56	<70	70-80
Inaceptable	< 60	< 50	< 50	<70	

Fuente (ASAE EP-438, 2003; CU= Coeficiente de uniformidad)

A tal efecto, se toma el área de la subunidad o sector que domina cada válvula de una secuencia y un número mínimo de 4 laterales. De ellas se mide el caudal en el inicio, a 1/3, 2/3 y al final de línea lateral. Esto se realiza en el primer lateral, también el que se encuentra a 1/3 del largo de la subunidad, se repite para el que se encuentra a 2/3 y el último de los laterales

$$CUC = \frac{q_{25\%}}{q_n} * 100$$

Donde

CUC: coeficiente de uniformidad de las presiones (%)

$q_{25\%}$: Caudal promedio (1 h)

q_n : Caudal de todos los emisores (1 hora)

4.7. Variables de crecimiento

4.7.1. Altura de planta (cm): se midió con una cinta métrica expresada en (cm), las mediciones se realizaron desde el nivel del suelo hasta el punto más alto de la planta a los 20, 32, 49 y 62 dds.

4.7.2. Diámetro de planta (cm): Medido con un vernier en mm en la parte media de la planta a los 20, 32, 49 y 62 dds.

4.7.3. Número de hojas por planta: Se realizó un conteo de manera visual a los 20, 32, 49 y 62 dds.

4.8. Variables del fruto y rendimiento

Para la medición de estas variables de fruto y rendimiento fue necesario hacer uso de baldes, bolsas plásticas, balanza y vernier encada una de las cosechas.

4.8.1. Número de frutos por planta: Se realizó un conteo visual de todos los frutos en las 10 plantas seleccionadas de las parcelas útil.

4.8.2. Número de racimos de tomate por planta: Se realizó un conteo visual de todos los racimos en las 10 plantas seleccionadas de las parcelas útil.

4.8.3. Número de frutos por cada racimo: Se realizó un conteo visual de todos los racimos en las 10 plantas seleccionadas de las parcelas útil.

4.8.4. Diámetro polar y ecuatorial del fruto: Se midió con un vernier en cm a los 112, 116, 122, 126 y 137 dds.

4.8.5. Rendimiento: Se pesaron los tomates de las 10 plantas seleccionadas en la parcela útil y posteriormente se uniformaron en kg ha⁻¹.

4.9. Análisis de productividad del agua (kg m³)

Esta variable se determinó utilizando los procedimientos descritos por González, Herrera y López (2010), quienes plantean la relación entre el rendimiento de cosecha y el agua total aplicada al sistema a través de las láminas de riego; según la siguiente ecuación:

$$WP = \frac{R}{I}$$

Donde:

WP: Productividad del agua aplicada por riego (kg m³)

R: Rendimiento (kg ha⁻¹)

I: Lámina de agua aplicada (m³ ha⁻¹)

4.10. Recolección de datos

El método que se utilizó es experimental y se realizarán por medio de fichas de recolección de datos de crecimiento y rendimiento de los cultivos.

4.11. Análisis de datos

Los datos recopilados de las variables en estudio se manejarán en hojas electrónicas (Excel) para su posterior análisis con el programa InfoStat. Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) sobre variables agronómicas y rendimiento.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, t$ Parcelas.

Y_{ij} = Es el valor medio de las observaciones en las distintas técnicas de riego.

μ = Es el efecto de la media muestral sobre el modelo.

β_i = Efecto del i -ésimo técnica de riego.

ε_{ij} = Es el error de $(\varepsilon)_{ij}$.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Parámetros de riego

5.1.1. Tiempo de riego

En el cuadro 3 se aprecian los cálculos tiempos de riego y las láminas aplicadas a una profundidad de 15 cm en el periodo 0 – 60 dds en el riego convencional se manejaron 3 horas y 25 minutos de riego con intervalo de 2 días aplicando una lámina de 13.65 mm, para el riego automatizado se activaba 1.45 horas diario con una lámina de 6.09 mm. En el intervalo de los 62 - 112 dds se recalcularon las láminas de riego debido al incremento del sistema radicular del cultivo a 30 cm y como resultado se obtuvo un tiempo de riego de 6 horas 29 minutos cada 4 días con láminas bruta de 27.3 mm para el riego convencional, en sistema de riego automatizado se profundizo el sensor a los 30 cm sin embargo mantuvo el mismo tiempo y láminas aplicada.

Cuadro 3. Tiempos de riego en los dos sistemas de riego evaluadas en el cultivo de tomate INTAJL-5, UNA, Managua, 2021

Factores	0 - 62 dds			63 – 112 dds		
	Tiempo de riego (horas y minutos)	Intervalo de riego (días)	Láminas bruta (mm)	Tiempo de riego (horas y minutos)	Intervalo de riego (días)	Láminas bruta (mm)
Convencional	3.25	2	13.65	6.29	4	27.3
Automatizado	1.45	2	6.09	1.45	2	6.09

5.1.2. Coeficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo

Comúnmente la programación del riego se realiza con el caudal nominal de cada emisor de 1 litros por hora definida por el fabricante, sin embargo, el caudal puede variar por efectos de la presión, temperatura, obturaciones (físicas, biológicas o químicas) y por fallas en el diseño de los sistemas de riego, por lo que normalmente el caudal real, difiere del caudal nominal (CDTEC, 2016).

El coeficiente de uniformidad del sistema de riego evaluado es de 98.4% riego automatizado 98.7% para el riego convencional Según Merriam y Keller (1978), la

clasificación de los valores de CUC entre el rango de 90 a 100 % se consideran excelentes esto se le puede atribuir que el área del ensayo en pequeña (Anexo 7).

5.2. Variables de crecimiento

5.2.1. Altura de la planta

Según el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, (2004), expresa que:

Al inicio de su etapa de crecimiento es erecto, cilíndrico, luego se vuelve decumbente y angular con un tallo herbáceo. El tamaño viene determinado tanto por las características genéticas de las plantas como por muchos otros factores. Encontrándose plantas de porte bajo, con 30 – 40 cm, y de porte alto, que pueden alcanzar hasta 3 m.

Según el ANDEVA realizado al 95% de probabilidad mostraron diferencias significativas en los dos sistemas evaluados a los 20, 32 y 62 dds con medias en riego convencional (40.30, 53.00 y 120.95 cm) y riego automatizado supero al convencional a los 62 dds (34.80, 45.05 y 126.90 cm) de altura (cuadro 4). Estos resultados se encuentran por debajo a los repostados por Andrades y Loáisiga (2015), quienes obtuvieron promedios de 183.93 212.87 cm de altura de planta con la variedad Shanty.

5.2.2. Diámetro del tallo de la planta

Mora, (2002), expone que:

El tallo es la parte de los vegetales que brinda soporte y sostén a la planta, el tallo de las plantas jóvenes del tomate es cilíndrico, más tarde se vuelve angular según las características de las variedades y la influencia del manejo.

Para dicha variable se encontraron diferencia estadística ($Pr > 0.05$) el sistema de riego automatizado supero al riego convencional a los 49 dds (0.37 y 0.38 cm) y 62 dds (0.50 y 0.54 cm). Estos resultados se encuentran por debajo de los obtenidos por López y Coleman, (2016) con promedios de 1.24 a 1.31 cm, así como también resultandos inferiores por los obtenidos de Andrades y Loáisiga (2015) con promedios de 1.0 a 1.5 cm ambos estudios con el cultivas Shanty.

5.2.3. Numero de hojas por plantas

Para la variable número de hojas por planta, según la separación de medias de Tukey ($\alpha = 5\%$), demostró diferencia estadística a los 20 dds, 32 dds y 62 dds, con mayores medias el riego automatizado con 8.15, 8.30 y 15.60 hojas por plantas (Cuadro 4).

Según Pendleton y Hartwing (1973), citado por Andrades y Loaisiga (2015), los altos rendimientos no están relacionados necesariamente al número de ramificación, siendo estas un inconveniente para realizar la cosecha mecanizada provocando pérdidas de cosecha.

En el cuadro 4 se aprecia que a los 20, 32 y 49 dds en riego convencional supera al riego automatizado en las variables de crecimiento esto se debe al cambio que ocurre del tiempo de riego e intervalo distanciados el cultivo sufre estrés hídrico esto afecta el crecimiento y desarrolló.

Cuadro 4. Efectos principales de las técnicas de riego para las variables de crecimiento (altura, diámetro y hojas por planta) UNA, Managua 2020

Días después siembra (dds)	Variables	Factores			
		Convencional	Automatizado	CV (%)	P > r
20	Alt/plant (cm)	40.30 a	34.80 b	15.58	0.001
	Dia/plant (cm)	0.26 a	0.24 a	12.79	0.114
	Hoj/plant	7.80 b	8.15 a	16.63	0.024
32	Alt/plant (cm)	53.00 a	45.05 b	18.53	0.002
	Dia/plant (cm)	0.35 a	0.31 a	14.60	0.052
	Hoj/plant	8.03 b	8.30 a	17.75	0.039
49	Alt/plant (cm)	79.85 a	80.43 a	15.63	0.839
	Dia/plant (cm)	0.37 b	0.38 a	18.52	0.041
	Hoj/plant	9.78 a	9.58 a	14.07	0.701
62	Alt/plant (cm)	120.95 b	126.90 a	14.72	0.041
	Dia/plant (cm)	0.50 b	0.54 a	17.72	0.045
	Hoj/plant	13.60 b	15.60 a	11.32	0.004

Nota= Alt/plant= altura de la planta; Dia/plant= diámetro de la planta; Hoj/plant= hojas de la plan

5.3. Variables de frutos y rendimiento

5.3.1. Número de frutos por planta

Olivas y salgado (2013), expresan que:

El fruto de tomate es una baya, formada por los tabiques del ovario, los lóculos, las semillas y la piel. El número de frutos por planta está determinado por el número de flores que son fecundadas y alcanzan a desarrollarse en fruto, a su vez estará determinada por las características genéticas del cultivo, el manejo agronómico y condiciones ambientales.

Según la separación de medias Tukey ($\alpha = 5\%$) a los 71 dds, 75 dds y 87 dds mostro diferencias estadísticas, el riego convencional supero al riego automatizado en las variables frutos por planta, racimos por planta y frutos por racimo, sin embargo, el riego automatizado a los 95 dds presento las mayores medias 24.23 frutos por plantas (Cuadro 5). Estos resultados se encuentran en rango a los reportados por Martínez y Granados (2011), con 23.62 y 31.28 frutos por planta.

5.3.2. Número de racimos por plantas

En la variable número de racimos de tomate por planta mostro diferencia estadística ($Pr > 0.05$) riego automatizado supero al riego convencional a los 71 dds, 75 dds y 87 dds, a los 95 dds el riego convencional alcanzó las mayores medias en frutos por planta, racimos por planta y frutos por racimo (Cuadro 5). Estos resultados son superiores que los reportados por Cuadra y García (2016) con promedios de 4.66 racimos y a los reportados por Cárdenas y Buschting (2004), con 4.38 y 9.25.

5.3.3. Número de frutos por racimo

Según el ANDEVA realizado al 95 % de confiabilidad se encontró diferencias estadísticas en los tratamientos evaluados, riego convencional a los 71 dds, 75 dds y 87 dds supero al riego automatizado, en cambio 95 dds el riego automatizado presento los mayores promedios con 6.52 frutos por racimos. Estos resultados superan a los reportados por Rizo y Meza (2017) con un promedio de 1.03 frutos por racimos y a los resultados de López y Coleman (2016) con una media de 2.47 frutos por racimo.

Cuadro 5. Efectos principales de las técnicas de riego para las variables de rendimiento (frutos por planta, racimo por planta y frutos por racimos) UNA, Managua 2021

Días después siembra (dds)	Variables	Factores		CV (%)	P > r
		Convencional	Automatizado		
71	Frut/plant	2.42 a	2.29 b	12.94	0.046
	Racim/plant	2.52 a	2.12 b	18.91	0.020
	Frut/ racimo	2.32 a	2.21 b	11.23	0.005
75	Frut/plant	5.95 a	4.34 b	12.42	0.047
	Racim/plant	3.96 a	3.70 b	10.61	0.038
	Frut/ racimo	2.57 a	2.10 b	15.96	0.019
87	Frut/plant	13.03 a	8.05 a	14.57	0.201
	Racim/plant	6.20 a	4.65 b	9.89	0.012
	Frut/ racimo	4.03 a	3.05 b	8.57	0.002
95	Frut/plant	18.31 b	24.23 a	3.89	0.016
	Racim/plant	9.05 b	11.23 a	10.97	0.002
	Frut/ racimo	4.35 b	6.52 a	11.32	0.005

Nota= Frut/plant= Frutos por planta; Racim/plant= Racimos por planta; Frut/racim= Frutos por racimo.

5.3.4. Diámetro polar del fruto

El diámetro polar del fruto es una de las variables que determinan el tamaño y la forma del mismo. El tamaño del fruto es variable según el material genético y alcanza diámetros variables (Mayorga, 2004).

Según el ANDEVA realizado ($\alpha = 0.05$) encontró diferencias estadísticas en todas las mediciones realizadas dominando el riego automatizado al convencional con medias que varían desde 5.12 cm a 5.49 cm (Cuadro 6). Estos resultados fueron superiores a los reportados por López y Coleman (2016), con promedios de 2.2 y 3.1 cm.

5.3.5. Diámetro ecuatorial del fruto

La variable diámetro ecuatorial del fruto mostro diferencia estadística ($Pr > 0.05$) en cuanto al sistema de riego automatizado supero al riego convencional con promedios que rondan 4.37 cm a 6.80 cm de diámetro (Cuadro 6). Estos resultados superan a los reportados por por López y Coleman (2016) con 2.5 y 2.9 cm y similares a los reportados por Cuadra y García (2016), con promedio de 4.6 cm.

Gómez *et al.*, (2014), mencionan que los frutos pueden clasificarse según su diámetro ecuatorial como frutos grandes cuando sus calibres son mayores a 8 cm, medianos entre 5.7 a 8 cm y pequeños los inferiores o iguales a 5.6 cm. De acuerdo a esta clasificación en el estudio los frutos evaluados pueden clasificarse como medianos y pequeños.

Cuadro 6. Comparación de los valores medios para las variables Diámetro polar (cm) y Diámetro ecuatorial (cm) en el cultivo de tomate INTA JL-5, UNA, Managua, 2021

Días después siembra (dds)	Variables	Factores			
		Convencional	Automatizado	CV (%)	P > r
72	Diámetro polar (cm)	5.02 b	5.45 a	2.593	0.005
	Diámetro ecuatorial (cm)	4.30 b	4.37 a	3.902	0.020
75	Diámetro polar (cm)	5.33 b	5.49 a	1.692	0.047
	Diámetro ecuatorial (cm)	4.87 b	6.80 a	11.139	0.038
87	Diámetro polar (cm)	5.13 a	5.12 a	5.744	0.203
	Diámetro ecuatorial (cm)	4.50 b	4.80 a	3.897	0.012
95	Diámetro polar (cm)	5.12 b	5.39 a	6.685	0.016
	Diámetro ecuatorial (cm)	4.43 b	4.90 a	2.993	0.002
112	Diámetro polar (cm)	5.03 b	5.39 a	3.898	0.023
	Diámetro ecuatorial (cm)	4.58 b	4.60 a	4.681	0.038

5.3.6. Rendimientos (kg ha⁻¹)

Según la separación de medias Tukey ($\alpha = 5\%$) se encontró diferencias estadísticas en los tratamientos evaluados, el riego automatizado supero en las seis cosechas y rendimiento total kg ha⁻¹ al riego convencional con una media de 23027.17 kg ha⁻¹ (Cuadro 7). Estos resultados son superiores a los reportados por Cuadra y García (2016) con un promedio de 9 676.70 kg ha⁻¹. El MAGFOR (2007), reporta producción de tomate en Nicaragua para el año 2006 de 9 849.13 kg ha⁻¹ y la FAO (2013), con una producción de 14 633.96 kg ha⁻¹.

Estudio realizado por Andrades y Loáisiga (2015), con el híbrido Shanty en condiciones de casa malla en la finca las mercedes (UNA) donde se expresó un rendimiento 24 576.63 kg ha⁻¹, con un menor rendimiento significativo en este estudio con 17 813.06 y 23 027.14 kg ha⁻¹

Cuadro 7. Comparación de los valores medios para la variable de rendimientos cosecha y rendimientos totales en kg ha⁻¹, UNA, Managua, 2021

Factores				
Cosechas realizadas	Convencional	Automatizado	CV (%)	P > r
Cosecha 1	609.60 b	1 713.36 a	0.12	0.039
Cosecha 2	5 055.26 b	7 022.08 a	0.90	0.022
Cosecha 3	5 416.19 b	6 135.51 a	0.11	0.027
Cosecha 4	3 806.24 b	4 334.10 a	0.41	0.042
Cosecha 5	4 739.85 b	5 351.15 a	0.13	0.036
Cosecha 6	3 699.30 b	8 465.14 a	0.10	0.001
Total kg ha ⁻¹	17 813.06 b	23 027.14 a	12.20	0.001

5.4. Análisis de productividad del agua (kg m³)

La productividad de agua está definida por Kijne, Barker y Molden (2003), como una medida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento. Yang et al (2016), plantea en la relación entre la cantidad de biomasa o de granos, en relación al agua consumida por transpiración, evapotranspiración o total de agua aplicada al sistema. Considerando estas relaciones por el rol de la agricultura en cuanto a la gestión correcta del recurso hídrico.

González et al (2014), definen que la productividad del agua es un indicador utilizado a fin de desarrollar estrategias de uso de los recursos hídricos, que permitan tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y empleo del recurso. Por su parte, Tornes et al (2016), enfatizan en la importancia de la producción de semilla bajo sistemas de riego y el uso adecuado del agua, considerando que es un recurso escaso desde el punto de vista físico y económico, dada la reducción de éste para la producción agrícola

Se obtuvo mayor productividad de agua en el riego automatizado 6.75 kg m³ siendo la menor cantidad de agua aplicada con relación a riego convencional con 2.37 kg m³, (figura 6). Cuando el valor de la relación entre el rendimiento y la lámina de agua aplicada es mayor, significa que existe mayor productividad de agua.

El riego automatizado aplicando una lámina 6.09 mm con intervalo de dos días permite mayor productividad en el sistema agrícola respecto al uso de agua, así mismo, se obtuvieron los mejores resultados en las variables agronómicas FAO (2003), reporta que

mejorar la productividad de agua implica incrementar el rendimiento por área; siendo oportuno el uso de menor cantidad de recurso hídrico.

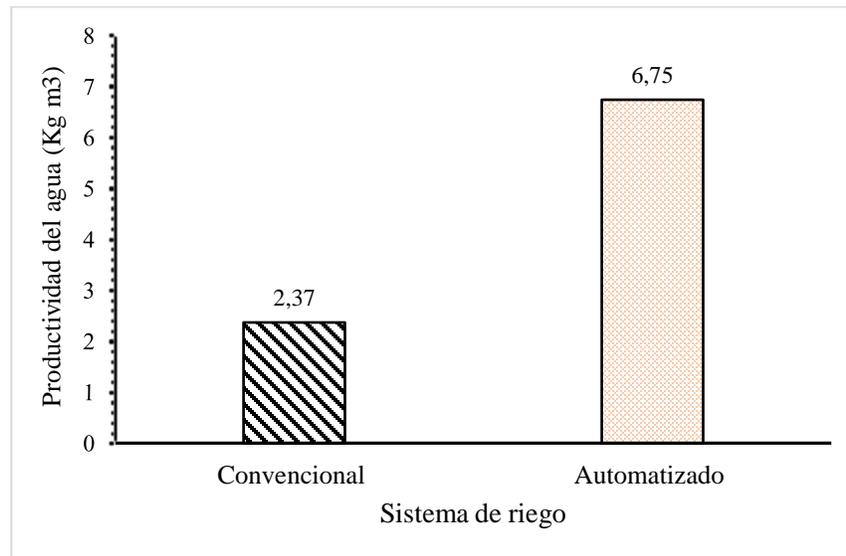


Figura 6. Productividad del agua según el sistema de riego evaluados en el cultivo de tomate, El Regen, UNA, 2021.

5.5. Análisis Económico

5.5.1. Análisis de presupuesto parcial

Centro Internacional De Mejoramiento De Maíz y Trigo (1988) expresa que:

Los pioneros en el uso de presupuestos parciales para el análisis de experimentos agrícolas fueron los miembros del Programa de Economía Agrícola, publicaron el primer manual de esta metodología. 12 años después, luego de ensayar nuevas maneras de exponer este enfoque y afinarle algunos aspectos, los miembros de este programa publicaron una nueva versión de este texto.

Calvo y Simán (1993), dicen que:

Después de la publicación del primer manual, en los programas de capacitación para investigadores, tanto del CIMMYT como de otros centros internacionales de investigación agrícola, se enseñó este enfoque para analizar experimentos. A nivel Centroamericano, CATIE también ha promovido el uso de este método, a través de su programa de manejo integrado de plagas.

Aplicando la metodología de análisis propuesta por CIMMYT (1988), (Cuadro 8) muestra los elementos que comprenden el análisis de presupuesto parcial para cada sistema de riego, donde se realizó el ensayo contaba con buen manejo de insumos, personal técnico altamente capacitado y personal jornal con alta experiencia, se utilizó un 10 % para calcular el rendimiento ajustado.

El precio de venta que se utilizó fue el del mercado del mes de marzo (2021), en este caso se vendió a \$ 0.64 el kilogramo de tomate. En los tratamientos de riego se invierte en materiales que son los mismos para todos al igual que la mano de obra para el establecimiento del sistema, pero difieren en el sistema automatizado. Al comparar los beneficios netos \$ 12 216.50 en el análisis de presupuesto parcial el riego automatizado obtuvo mayores beneficios en el primer año, pero no se realiza inversión en el riego convencional.

Cuadro 8. Análisis de presupuesto parcial de los sistemas de riego convencional y automatizado, El Regen UNA, Nicaragua, 2021.

Actividad	Automatizado	Convencional
Rendimiento total (kg. ha-1)	23 027.14	17 813.06
Ajustado 10%	1 151.36	890.65
Rendimiento ajustado (kg. ha-1)	21 875.78	16922.41
Precio venta (\$ kg)	0.64	0.64
Beneficio bruto en campo (\$ ha)	14 000.50	10 830.34
Costos variables		
Costo de sistema de riego (\$)	1 730	1 500
Costo de mano de obra para establecerlo (\$)	54	270
Total de los costos que varían (\$ ha-1)	1 784	1 770
Beneficios netos	12 216.50	9 060.34

5.5.2. Relación beneficio costo

En el Cuadro 9, se muestra el análisis de las utilidades y la relación beneficio costo. Se consideró el rendimiento ajustado en kg ha^{-1} . En el análisis se puede observar que el sistema de riego automatizado obtuvo las mejores utilidades y relación beneficio costo. Podemos decir que este sistema es rentable ya que demostró que por cada dólar que el productor invierta este tendrá una ganancia de \$ 7.31 con relación al riego convencional este tendrá una ganancia de \$5.12.

De estos el que obtuvo mejores resultados desde el punto de vista económico fue el tratamiento de riego automatizado Oliveira (2007), recomienda que para el análisis económico de sistemas de riego se evalúan por encima de seis años como mínimo.

Cuadro 9. Análisis de utilidades y relación beneficio costo, El Regen UNA, Nicaragua, 2021

Riego	Rendimiento (kg ha^{-1})	Precio (\$ kg)	Ingreso (\$)	Costo de Producción	Utilidades (\$)	R B/C
Automatizado	21 875.78	0.64	14 000.50	1 684	12 316.50	7.31
convencional	16 922.41	0.64	10 830.34	1 770	9 060.34	5.12

VI. CONCLUSIONES

El sistema de riego automatizado presento las mayores medias en las variables altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas por planta, con relación al sistema de riego convencional, de igual manera ocurrió con la variable diámetro polar y diámetro ecuatorial.

Las variables de rendimiento obtuvieron diferencias significativas, los mayores rendimientos totales se encontraron en el sistema de riego automatizado $23\ 027.14\ \text{kg ha}^{-1}$ superando al sistema de riego convencional con rendimiento de $17\ 813.06\ \text{kg ha}^{-1}$.

El funcionamiento del sistema de riego no se vio interrumpido por obstrucciones de emisores y un buen comportamiento durante la aplicación de las láminas de riego durante todo el ciclo del cultivo de tomate presentó un coeficiente de uniformidad $> 98\ \%$.

Los análisis económicos de los sistemas evaluados indican que el sistema de riego automatizado obtuvo los mayores beneficios netos ($\$ 12\ 216.50$) y la mejor relación beneficio costo ($\$ 7.31$) con relación al sistema de riego convencional.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos con el sistema de riego automatizado en otras condiciones de suelo.
- Establecer el cultivo en épocas de verano para obtener mejores resultados y no tener problemas de eventos huracanes.
- Establecer ensayos en áreas más grandes para tener mayor radiación solar para ver la efectividad del sensor

VIII. LITERATURA CITADA

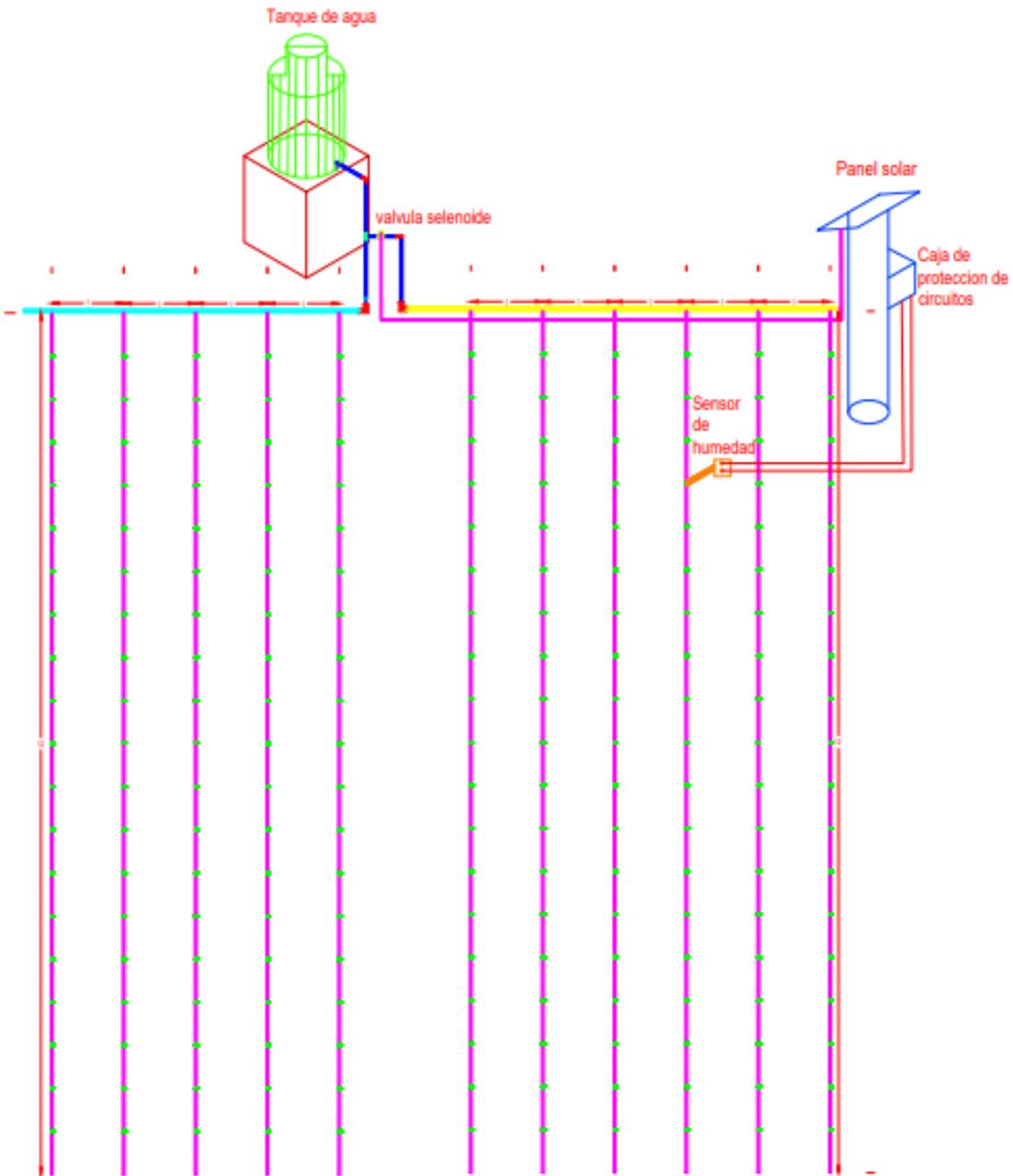
- Andrades Chavarría, DD; Loáisiga Jarquín, FA. (2015). *Evaluación del crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) variedad Shanty en tres distancias de siembra, en condiciones de casa malla, finca Las Mercedes, UNA, Managua, 2013*. Tesis. Ing. Agrónomo. Managua, NI. UNA. 38p.
- Cardenas, J; Buschting, W. (2004). *Evaluación de dosis de NPK con fertirriego en el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill)* Trabajo de diploma para optar a Ingeniero Agrónomo Departamento de producción vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria Managua. NI. 34 p.
- Calvo, G, Siman J. (1993). *Uso de Presupuestos Parciales de Beneficio Neto en la Evaluación Financiera de Tecnologías de Manejo Integrado de Plagas. Versión preliminar*. Costa Rica, Centro de Agricultura Tropical de Investigación y Enseñanza, Area de Fitoprotección.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (1990). *Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate*. Turrialba. Costa Rica. P. 183-185.
- Centro Internacional De Mejoramiento De Maíz Y Trigo (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.
- Cuadra Aguilera, F; García Ramos, D; (2016). *Evaluación de tres láminas de riego por goteo y tres dosis de biofertilizante, en el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) variedad Shanty en condiciones edafoclimáticas de Managua, Universidad Nacional Agraria, Managua*. Tesis de Ing. Agrónomo y Agrícola. Managua, NI. UNA, FAGRO.
- Cuadra Aguilera, F; García Ramos, D; (2016). *Evaluación de tres láminas de riego por goteo y tres dosis de biofertilizante, en el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) variedad Shanty en condiciones edafoclimáticas de Managua, Universidad Nacional Agraria, Managua*. Tesis de Ing. Agrónomo y Agrícola. Managua, NI. UNA, FAGRO.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2012). *United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service*.
<https://plants.usda.gov/java/profile?symbol=SOLY2>
- Fajardo, E; Benitez, D; Rodríguez, N; Rivera, A; Bernal, R. (2016). *Sustrato y sistema de riego óptimos para la producción de tomate bajo condiciones de invernadero (en línea)*. Investigación Innovación Ingeniería. Bogotá, Colombia 3(1):1-16.
<https://www.google.com/webhp?sourceid=chrome-v=2&ie=UTF-8#q=riego+para+tomate+en+costa+rica&start=10&instant&ion=1&esp>
- Fajardo. (2016). *Sustrato y sistemas de riego óptimos para la producción de tomate bajo condiciones de invernadero (en línea)*. Investigación innovación ingeniería. Bogotá, Colombia, consultado 22 de marzo. 2017. <https://www.google.com/webhpp?sourceid=chrome-v=2&ie=UTF-8#q=riego+para+tomate+en+costa+rica&start=10&instant&ion=1&esp>
- Francisco (2017). *Manual de sistema de riego por goteo*

- Gómez Estern, F. (2005). Automatización de Sistemas de Producción. Sevilla, España: Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. P. 45.
- Gómez Peralta, D; Herrera Fuente, E; (2014). Comportamiento agronómico de 12 cultivares de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en condiciones de campo en Tisma, Masaya y en casa malla, en el CEVT Las Mercedes, UNA. Trabajo de diploma para optar a Ingeniero Agrónomo Departamento de protección vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria Managua. NI. 41 p.
- Hand, S. (2014). Importancia del riego en la agricultura. <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/importancia-del-riego-en-agricultura-1284503.html>
- Instituto Internacional Para La Agricultura, Costa Rica. (2014). Agua, alimento para la tierra. <https://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2015/B3271e.pdf>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (1999). Cultivo de tomate. Guía tecnológica del tomate. Ed. Henner Obregón N° 22 Managua, Nicaragua. P. 55.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (2004). Manejo integrado de plagas: Cultivo del tomate guía MIP, 1ra ed. 64 p.
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). (2011). Ensayo centroamericano de Tomate 2011. Matagalpa, Jinotega, Nicaragua. 17 p
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2021). Datos de precipitación, temperatura máxima y mínima. Estación meteorológica Aeropuerto Internacional Augusto César Sandino.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (1999). Cultivo del tomate. Guía tecnológica 22. Ed. Inpasa. Managua, NI. 55p.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (2004). manejo integrado de plagas cultivo del tomate. Primera edición. Managua, NI. 3p. <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20MIP%20tomate%202014.pdf>
- Jiménez Martínez, E.; Sandino Díaz, V.; Rodríguez Salguera, V.H.; Morales Blandón, J.L. (2010). Evaluación de alternativas para la protección de semilleros de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) contra el ataque del complejo mosca blanca (*Bemisia tabaci*, *Gennadius*)-GEMINIVIRUS. (en línea). Consultado 21 sep. 2013. <http://www.revistasnicaragua.net.ni/index.php/CALERA/article/view/176/175>
- López Úbeda, P; Coleman Beer, E; (2016). Efecto de tres láminas de riego y tres distancias de siembra en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) Cv. UC-82, Universidad Nacional Agraria, Managua. Tesis de Ing. Agrónomo. Managua, NI. UNA, FAGRO. 56 p.
- Martínez Núñez, A; Meza Granados, N. (2011). Evaluación de riego y biofertilizante sobre seis poblaciones de tomate silvestre (*Lycopersicum* spp.), colectado en la Reserva de Recursos Genéticos de Apacunca (RRGA), Chinandega. Tesis. Ing. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. http://departir.net/index.php/biblioteca/search_result

- Mayorga Suchite, A. S. (2004). Evaluación agronómica de ocho híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en dos localidades de Zacapa. Chiquimula, GA. USAC. Consultado 29 ene. 2015. <http://cunori.edu.gt/descargas>
- Mendoza. A.E. (marzo, 2013): Riego por goteo (Material de enseñanza).
- Ministerio Agropecuario y Forestal, (2007). Área cosechada, rendimientos y producción de hortalizas a nivel nacional. Ciclos Agrícolas del 1999 – 2005. Managua, NI. Estudio Preliminar.
- Monsanto. (Noviembre, 2017). Agricultura de Precisión. Tecnología en el Campo. <https://www.agmoderna.com.ar/tecnologia-en-el-campo/agricultura-de-precision-de-que-se-trata/>
- Mora Aguilar, LM. (2002). Cultivo del tomate. UNA. Managua, NI. P 2. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (2012). Nicaragua: La batalla por los rendimientos agropecuarios (en línea). Dirección de estadísticas. <http://www.tortillaconsal.com/tortilla/en/node/11978>
- Rayo M. (2001). Caracterización biológica transmitido por mosca blanca (*Bemisia tabaco* Genn.) en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el Municipio de Santa Lucía, Boaco y la evaluación de diferentes materiales de tomate sometidos a inoculación artificial y natural antes el complejo mosca blanca Geminivirus. Managua, NI. P. 1-4
- Rodríguez, R. Tavares, R., y Medina, J. (1984). Cultivo moderno del tomate. Edición mundi prensa. Madrid, España. P. 206.
- Rojas, J., Y Castillo, M. (2007). Diagnóstico de la Agro Cadena de cultivo de tomate de la Región Central Sur (en línea). MAG. San José, Costa Rica. 72 p. Consultado 20 mar. 2015. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00063.pdf>.
- Salmerón, F., Y García L. (1994). Fertilidad y fertilización de suelo Universidad Nacional Agraria. Managua Nicaragua. P. 141.
- Torrente, O. (2013). Arduino. Curso práctico de formación. Mexico D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Uchua, F.(19 de abril 2012). Inteligente. Obtenido de Definicion ABC: <https://www.definicionabc.com/general/inteligente.php>
- Vidal Marín Fernández, J. G. (noviembre de 2016). Comportamiento agronómico de 12 cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), Tisma, Masaya, Nicaragua. https://www.researchgate.net/publication/325135787_Comportamiento_agronomico_de_12_cultivos_de_tomate_Lycopersicon_esculentum_Mill_Tisma_Masaya_Nicaragua
- Velásquez Muñoz Oscar Santiago (2020). *Desarrollo de un sensor de humedad de suelo para sistemas de riego automatizados managua 2020*

IX. ANEXOS

Anexo 1. Plano de campo



Anexo 2: Calibración de sensores de humedad



Anexo 3: Construcción de logaritmo

```
automatizado
#include <SD.h> //Incluimos libreria SD
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include <SPI.h>
#define voltageFlipPin1 6
#define voltageFlipPin2 7
#define sensorPin 0
#define regarpin 13
#define relePin 10

//Declaramos un RTC DS3231
RTC_DS3231 rtc

char daysOfTheWeek[7][24] = {"Domingo", "Lunes", "Martes", "Miercoles", "Jueves", "Viernes", "Sabado"};

File logFile;

int flipTimer = 1000;

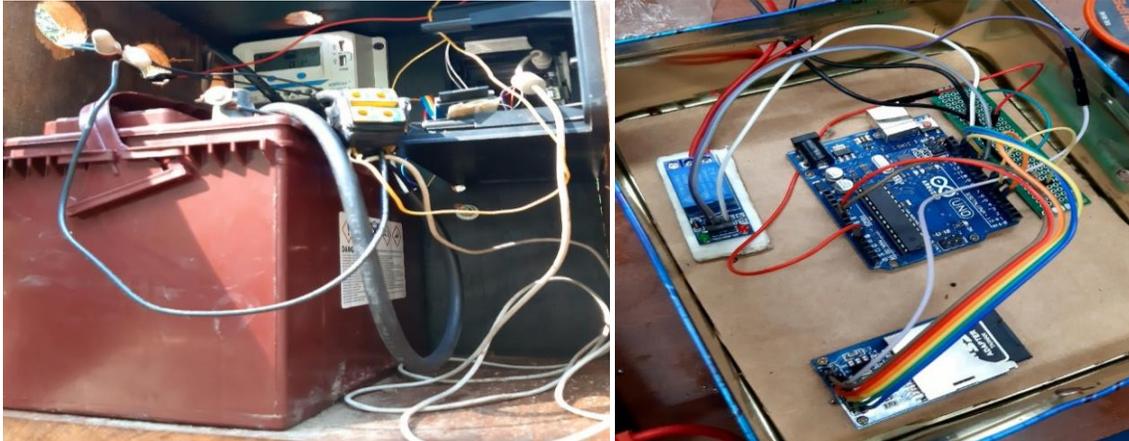
void setup() {
  #ifndef ESP8266
  while (!Serial); // for Leonardo/Micro/Zero
  #endif

  Serial.begin(9600);

  delay(500); // wait for console opening
}
```



Anexo 4: Diseño y construcción del circuito programable



Anexo 5. Caculo de la lámina de riego por goteo en el cultivo de tomate en el Regen, UNA, Managua, 2021 (Inicio con una profundidad de 15 cm)

➤ **Lámina neta de riego (Ln)**

$$ln = 100 * \Delta H * Da * (Cc - lp)$$

$$Ln = 100 * 0.15 * 0.91 * (35.3 - 26.8)$$

$$Ln = 116.025 \text{ m}^3 \cdot \text{Ha}^{-1} / 10$$

$$Ln = 11.60 \text{ mm}$$

Donde:

Ln Lámina neta

ΔH : variación de capa activa

Da: Densidad aparente

Cc: Capacidad de campo

Lp: limite productivo

➤ **Lámina bruta**

$$Lb = Ln / Ea$$

$$Lb = \frac{11.6025 \text{ mm}}{0.85}$$

$$Lb = 13.65 \text{ mm}$$

Donde

Lb: Lámina bruta

Ln: Lámina neta

Ea: Eficiencia de aplicación.

➤ **Intensidad de aplicación**

$$Ia = \frac{Qe}{Es * Ei}$$
$$Ia = \frac{0.0012 \text{ m}^3/\text{hora}}{1 \text{ m} * 0.3 \text{ m}}$$
$$Ia = 4 \text{ mm / hora}$$

Donde:

Ia: Intensidad de aplicación

Qe: Caudal del emisor

Es: espaciamento entre surco

Ei: espaciamento entre plantas

➤ **Tiempo de riego**

$$Tr = \frac{Lb}{Ia} = \frac{13.65 \text{ mm}}{4 \text{ mm/hora}}$$
$$Tr = 3.41 \text{ hora}$$

Donde:

Tr: Tiempo de riego

Lb: Láminabruta

Ia: Intensidad de aplicación

➤ **Intervalo de riego**

$$Ir = \frac{Lb}{Evatp/\text{día}}$$
$$Ir = \frac{13.65 \text{ mm}}{7 \text{ mm.día}^{-1}}$$
$$Ir = 1.95 \sim 2 \text{ días}$$

Donde:

IR: Intervalo de riego

Lb: LáminaBruta

Evatpa/ día: Evapotranspiración

Anexo 6. Cálculo de la lámina de riego por goteo en el cultivo de tomate en el Regen, UNA, Managua, 2021. (Desarrollo con una profundidad de 30 cm)

➤ **Lámina neta de riego**

$$ln = 100 * \Delta H * Da * (Cc - lp)$$

$$Ln = 100 * 0.30 * 0.91 * (35.3 - 26.8)$$

$$Ln = 232.05 \text{ m}^3 \cdot \text{Ha}^{-1} / 10$$

$$Ln = 23.205 \text{ mm}$$

Donde:

Ln Lámina neta

ΔH : Variación de capa activa

Da: Densidad aparente

Cc: Capacidad de campo

Lp: límite productivo

➤ **Lámina bruta**

$$Lb = Ln / Ea$$

$$Lb = \frac{23.205 \text{ mm}}{0.85}$$

$$Lb = 27.3 \text{ mm}$$

Donde

Lb: Lámina bruta

Ln: Lámina neta

Ea: Eficiencia de aplicación.

➤ **Intensidad de aplicación**

$$Ia = \frac{Qe}{Es * Ei}$$

$$Ia = \frac{0.0012 \text{ m}^3 \cdot \text{hora}}{1 \text{ m} * 0.3 \text{ m}}$$

$$Ia = 4 \text{ mm / hora}$$

Donde:

Ia: Intensidad de aplicación

Qe: Caudal del emisor

Es: espaciamiento entre surco

Ei: espaciamiento entre plantas

➤ **Tiempo de riego**

$$\begin{aligned} \text{➤ } \mathbf{Tr} &= \frac{Lb}{Ia} = \frac{27.3 \text{ mm}}{\text{mm/hora}} \\ \text{➤ } \mathbf{Tr} &= 6.82 \text{ hora} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{Tr} &= \frac{Lb}{Ia} = \frac{27.3 \text{ mm}}{0.183 \text{ mm.hora}} \\ \mathbf{Tr} &= 149.18 \sim 2 \text{ hora} \end{aligned}$$

➤ **Intervalo de riego**

$$\begin{aligned} \mathbf{Ir} &= \frac{\mathbf{Lb}}{\mathbf{Evatp/día}} \\ \mathbf{Ir} &= \frac{27.3 \text{ mm}}{7 \text{ mm /día}^{-1}} \\ \mathbf{Ir} &= 3.9 \sim 4 \text{ días} \end{aligned}$$

Donde:

IR: Intervalo de riego

Lb: Lámina Bruta

Evatpa/ día: Evapotranspiración

Anexo 7: Tabla de tiempo de abierto y cerrado del sistema de riego automatizado

sistema	Días	Abierto	Cerrado	Tiempo
Automatizado	25/9/2020	600	950	1.45 h
	26/9/2020			
	27/9/2020	600	950	1.45 h
	28/9/2020			
	29/9/2020	600	950	1.45 h
	30/9/2020			
	1/10/2020	600	950	1.45 h
	2/10/2020			
	3/10/2020	600	950	1.45 h
	4/10/2020			
	5/10/2020	600	950	1.45 h
	6/10/2020			
	7/10/2020	600	950	1.45 h
	8/10/2020			
	9/10/2020	600	950	1.45 h
	10/10/2020			
	11/10/2020	600	950	1.45 h
	12/10/2020			
	13/10/2020	600	950	1.45 h
	14/10/2020			
	15/10/2020	600	950	1.45 h
	16/10/2020			
	17/10/2020	600	950	1.45 h
	18/10/2020			
	19/10/2020	600	950	1.45 h
	20/10/2020			
	21/10/2020	600	950	1.45 h
	22/10/2020			
	23/10/2020	600	950	1.45 h
	24/10/2020			
	25/10/2020	600	950	1.45 h
	26/10/2020			
	27/10/2020	600	950	1.45 h
	28/10/2020			
	29/10/2020	600	950	1.45 h
	30/10/2020			
	31/10/2020	600	950	1.45 h

	1/11/2020			
	2/11/2020	600	950	1.45 h
	3/11/2020			
	4/11/2020	600	950	1.45 h
	5/11/2020			
	6/11/2020	600	950	1.45 h
	7/11/2020			
	8/11/2020	600	950	1.45 h
	9/11/2020			
	10/11/2020	600	950	1.45 h
	11/11/2020			
	12/11/2020	600	950	1.45 h
	13/11/2020			
	14/11/2020	600	950	1.45 h
	15/11/2020			
	16/11/2020	600	950	1.45 h
	17/11/2020			
	18/11/2020	600	950	1.45 h
	19/11/2020			
	20/11/2020	600	950	1.45 h
	21/11/2020			
	22/11/2020	600	950	1.45 h
	24/11/2020			
	4/12/2020	600	950	1.45 h
	9/12/2020			
	11/12/2020	600	950	1.45 h
	12/12/2020			
	15/12/2020	600	950	1.45 h
	17/12/2020			
	19/12/2020	600	950	1.45 h
	5/1/2021			

Anexo 8. Promedios de los caudales de los dos sistemas de riego por goteo, UNA, 2021

Automatizado N° de emisores	Emisor Inicio (ml)	Emisor medio (ml)	Emisor final (ml)
6	57	57	55
10	56	56	55
13	55	55	55
Convencional N° de emisores	Emisor Inicio (ml)	Emisor medio (ml)	Emisor final (ml)
5	55	57	57
7	57	57	55
9	57	57	57

$$CUC = \frac{q_{25\%}}{qn} * 100$$

Automatizado

$$CUC = \frac{54.66}{56} * 100$$

CUC= 98.4

Convencional

$$CUC = \frac{56.03}{57} * 100$$

CUC= 98.7

Anexo 9. Medición de Variables de crecimiento



Anexo 10. Medición de Variables de fruto



Anexo 11 Medición de Variables de fruto



Anexo 12. Medición de Variables de rendimiento kg ha⁻¹



Anexo 13. Análisis de productividad del agua (Kg m³)

Factores	Número de riego	Lb total (mm)	Lb total (m ³ ha ⁻¹)	Rendimiento kg ha ⁻¹	Wp kg m ³
Automatizado	56	6.09	3410.4	23027.14	6.75
Convencional	42 12.5	13.64 27.3	7507.5	17813.06	2.37