



” Por un Desarrollo
Agrario Integral y
Sostenible “

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Riego por goteo convencional y automatizado en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y berenjena (*Solanum melongena* L.), en el REGEN, UNA, Managua, 2022

Autores

Br. Olvin Antonio Peralta Castellano
Br. Jacinto Eduardo Urbina Pilarte

Asesores

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

Managua, Nicaragua
Septiembre, 2022



“Por un Desarrollo
Agrario Integral y
Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Riego por goteo convencional y automatizado en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y berenjena (*Solanum melongena* L.), en el REGEN, UNA, Managua, 2022

Autores

Br. Olvin Antonio Peralta Castellano
Br. Jacinto Eduardo Urbina Pilarte

Asesores

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

Presentado a la consideración del Honorable
Comité Evaluador como requisito final para optar
al grado de Ingeniero Agrícola

Managua, Nicaragua
Septiembre, 2022

Hoja de aprobación del honorable Comité evaluador

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

Ingeniero Agrícola

Miembros del Comité Evaluador

Presidente

(MSc. Rebeca González Godínez)

Secretario

(Ing. Elvin Lagos Pineda)

Vocal

(MSc. Jorge Gómez Martínez)

Lugar y Fecha: Sala de Consejo FAGRO 20 de septiembre 2022.

DEDICATORIA

A:

Dios padre celestial por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida y realizar satisfactoriamente la culminación de mis estudios y por su infinita protección en todo momento.

A mi familia en especial a mis padres Haydee del Socorro Castellano y Santos Denis Peralta Medina por su apoyo incondicional y la motivación necesaria que me ha permitido forjarme un perfil profesional en todo el transcurso de estudio.

A mi abuelo Felipe Santiago Gómez López (q.e.p.d) por haber creído en mi potencial y motivarme a no desistir ante las adversidades

A mis hermanos Denis, Jarenys, José y Tatis por ser excelentes hermanos quienes me brindaron su apoyo incondicional para salir adelante y culminar mis estudios.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo donde quiera que vayas. Josué 1: 9

Br. Olvin Antonio Peralta Castellano

DEDICATORIA

A

Dios por permitirme llegar hasta este momento de mi vida con salud, fortaleza y sabiduría que me ha guiado por un buen camino, me ha dado las fuerzas para lograr culminar satisfactoriamente mis estudios, ya que sin él no estaría hasta esta etapa de mi vida tan importante ya que reconozco que gracias a él todo pudo lograrse.

A mis padres Jacinto José Urbina Salinas y Damaris Del Socorro Pilarte que gracias a ellos hicieron lo posible para llegar a que sus metas se cumplieran en mí que con mucho amor, tiempo, esfuerzo y dedicación pusieron en mis sus esperanzas y que lograron sacarme adelante, ya que desde mi infancia me brindaron valores que me formaron y que han logrado que yo pueda alcanzar unas de mis metas en mi vida.

A mis familiares que me brindaron el apoyo en todos estos años de lucha, dedicación y sacrificio a mis amigos que fueron fundamentales para llegar hasta este momento.

Br. Jacinto Eduardo Urbina Pilarte

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la sabiduría, perseverancia y entendimiento que me ha permitido alcanzar tan anhelada meta.

A mis padres quienes con mucho sacrificio y amor me apoyaron y fueron la fuente de motivación de todos mis esfuerzos.

A la Universidad Nacional Agraria por ser nuestra segunda casa la cual contribuyó brindando los medios necesarios tanto en el aula de clase como en la práctica para forjarnos un perfil profesional y prepararnos para el futuro.

Especialmente a mis asesores de tesis Ing. MSc. Henry Alberto Duarte Canales e Ing. Yader Mayquel Barrera Rivera por su confianza, orientación, paciencia y dedicación al brindarnos sus valiosos conocimientos que fueron fundamentalmente necesarios para la ejecución exitosa de este ensayo.

A los docentes de la Universidad Nacional Agraria por impartir sus conocimientos en el transcurso de estudios que fueron de suma importancia para desarrollar exitosamente la elaboración de esta investigación.

Br. Olvin Antonio Peralta Castellano

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme por un buen camino y brindarme confianza, regalarme sabiduría en todos estos años de estudios y lograr llegar a culminar satisfactoriamente mi carrera de forma victoriosa.

A mis padres por darme aliento para seguir adelante a pesar de todas las dificultades que se presentaron y brindarme su confianza y apoyo incondicionalmente en todo este trayecto desde el comienzo hasta el final de mi carrera.

A mis asesores Ing. MSc. Henry Alberto Duarte Canales e Ing. Yader Mayquel Barrera Rivera por su gran apoyo, paciencia y enseñanzas por haber confiado en mí y compañero para la realización de este proyecto.

A los docentes de la Universidad Nacional Agraria por habernos brindado sus valiosos conocimientos que contribuyeron al desarrollo de habilidades en el transcurso de estudio.

Br. Jacinto Eduardo Urbina Pilarte

INDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	<i>i</i>
AGRADECIMIENTOS	<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 (<i>Solanum lycopersicum L</i>)	4
3.2 Condiciones agroclimáticas del tomate INTA JL-5	5
3.3 Generalidades del cultivo de berenjena (<i>Solanum melongena L</i>)	6
3.4 Riego por goteo	8
3.5 Elementos del sistema de riego automatizado	10
IV MATERIALES Y METODOS	14
4.1. Ubicación del área de estudio	14
4.2. Diseño metodológico	16
4.3 Descripción de los tratamientos	16
4.4 Manejo agronómico del cultivo de tomate y berenjena	19
4.5 Parámetros de riego	21
4.6 Variables de crecimiento	25
4.7 Variables de fruto y rendimiento	25
4.8 Análisis de productividad del agua	26
4.9 Recolección de datos	26
4.10 Análisis de datos	27
V RESULTADOS Y DISCUSION	28
5.1. Parámetros de riego	28
5.2 Variables de crecimiento del cultivo de tomate INTA JL-5	29
5.3. Variables de rendimiento en el cultivo de tomate INTA JL-5	31
5.4 Variables de crecimiento en el cultivo de berenjena Belleza Negra	32
5.5. Variables de rendimiento en el cultivo de berenjena Belleza Negra	34

5.6	Análisis de productividad del agua (kg m ³)	35
5.7	Análisis económico	37
5.8.	Relación beneficio costo para tomate y berenjena	39
VI	CONCLUSIONES	40
VII	RECOMENDACIONES	41
VIII	LITERATURA CITADA	42
IX	ANEXOS	46

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Datos técnicos de funcionamiento de cintas de riego por goteo comerciales	9
2	Análisis fisicoquímico del suelo, UNA, Managua, 2019	16
3	Descripción y manejo de los tratamientos en el área experimental el Regen, UNA, 2022	18
4	Rangos de coeficiente de uniformidad para los sistemas de riego por goteo	24
5	Láminas aplicadas en los sistemas de riego evaluados en el Regen, UNA, 2022	28
6	Efectos principales de los sistemas de riego para las variables de crecimiento (altura, diámetro del tallo y número de hojas por planta) en el cultivo de tomate, UNA ,2022	30
7	Caracterización estadística de las variables de diámetro polar (cm) y ecuatorial (cm) en el cultivo de tomate INTA JL-5, UNA, 2022	31
8	Comparación de las variables estadísticas en el rendimiento y cosechas totales en kg ha ⁻¹ del cultivo de tomate INTA JL-5, UNA, 2022	32
9	Caracterización estadística para las variables de crecimiento (altura, diámetro del tallo y número de hoja por planta) en el cultivo de berenjena Belleza Negra, Regen, UNA, 2022	34
10	Caracterización estadística de las variables de diámetro polar (cm) y ecuatorial (cm) del cultivo de berenjena Belleza Negra, UNA, Managua, 2022	34
11	Comparación de las variables estadística en el rendimiento y cosechas totales en kg ha ⁻¹ del cultivo de berenjena Belleza Negra, UNA, 2022	35
12	Análisis de presupuesto parcial para los tratamientos de riego convencional y automatizado, UNA, Managua, 2022	38
13	Análisis de utilidades y relación beneficios costos, Regen, UNA, 2022	39

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Simulación del circuito eléctrico para la implementación del sensor de humedad de suelo (Velázquez, 2020)	13
2	Ubicación del área de estudio, UNA 2022	14
3	Condiciones climáticas en el área de estudio (INETER 2022).	15
4	Proceso de operación del sistema de riego automatizado UNA, 2022	17
5	Desempeño del sensor de humedad de suelo según las propiedades hidrofísicas (Velázquez, 2020)	18
6	Productividad del agua según los sistemas de riego en el cultivo de tomate, Regen, UNA, Managua, 2022	36
7	Productividad del agua según los sistemas de riego en el cultivo de berenjena, Regen, UNA, Managua, 2022	37

INDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Plano de los tratamientos de riego convencional y automatizado, Regen, UNA, 2022	46
2	Construcción de algoritmo de programación de Arduino	46
3	Componentes del sistema de riego automatizado	46
4	Valores de coeficiente de uniformidad en riego automatizado	47
5	Valores de coeficiente de uniformidad en riego convencional	47
6	Muestreo de variables de crecimiento en el cultivo de tomate y berenjena, Regen, UNA, 2022	48
7	Medición de variables de rendimiento y cosecha de berenjena Belleza Negra	48
8	Medición de variables de rendimiento y cosecha en tomate INTA JL-5	48
9	Cálculo de lámina de riego para el cultivo de tomate (<i>solanum lycopersicum</i> L) y berenjena (<i>solanum melongena</i> L) en el Regen, UNA 2022 (0-30 ddt)	49
10	Cálculo de lámina de riego para el cultivo de tomate (<i>solanum lycopersicum</i> L) y berenjena (<i>Solanum melongena</i> L) en el Regen, UNA, 2022 (30-70 ddt)	51
11	Cálculo de lámina de riego para el cultivo de tomate (<i>solanum lycopersicum</i> L) y berenjena (<i>Solanum melongena</i> L) en el Regen, UNA, 2022 (70-120 ddt)	53
12	Tabla de fechas de apertura y cierre de electroválvula en módulo Arduino SD	55
13	Cálculo de productividad del agua en el cultivo de tomate y berenjena (kg.m ³)	57
14	Elementos utilizados en el sistema de riego por goteo automatizado	57

RESUMEN

Nicaragua es uno de los países más productivos de la región centroamericana que también se ve afectado por los efectos del cambio climático por lo que surge la necesidad de encontrar técnicas para aumentar la productividad mediante el uso racional de los sistemas de riego por goteo, en respuesta a estos efectos se evaluó un sistema de riego por goteo automatizado y convencional en campo abierto para mejorar la producción del cultivo de tomate y berenjena. El ensayo se estableció en el departamento de Managua en el área experimental Programa de Recursos Genéticos Nicaragüenses (REGEN) propiedad de la Universidad Nacional Agraria sector norte del campus de la Facultad de Agronomía en el periodo comprendido de enero a junio 2022. Se estableció un Diseño Completo al Azar (DCA) con arreglo en parcelas apareadas sobre los tratamientos de riego convencional aplicando una lámina de 26.58 mm en la etapa inicial y 53.16 mm en la etapa de desarrollo. El riego automatizado entregó 9.53 mm, efectuándose a distancia de siembra de 0.6 m entre planta y 1 m entre surco. Se evaluaron variables de crecimiento (altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas por planta), y variables de rendimiento (diámetro polar, diámetro ecuatorial y rendimiento en kg ha^{-1}) y productividad del agua en kg m^3 . Para las variables agronómicas se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias LSD Fisher ($\alpha = 0.05$) las variables de crecimiento y rendimiento mostraron diferencias estadísticas el sistema automatizado superó al convencional, los mayores rendimientos alcanzados en el cultivo de tomate y berenjena con 13 766.29 y 8 608.49 kg ha^{-1} , la mayor productividad del agua se obtuvo con el riego automatizado en tomate y berenjena con 20.35 kg m^3 y 14.43 kg m^3 , los mejores beneficios netos se obtuvieron para dicho sistema en los dos cultivos evaluados con 16 071 y 8 952.7 \$ y una relación beneficio costo de 8.48 y 4.72\$.

Palabras clave: Cambio climático, recurso hídrico, riego por goteo

ABSTRACT

Nicaragua, being an exponentially productive country, is not exempt from the climatic modifications present in the region, which is why there is a need to find techniques to increase productivity through the rational use of irrigation systems as an alternative to climate change, in consideration of Therefore, it was decided to evaluate an automated and conventional drip irrigation system to improve the production of tomato and eggplant crops. The trial was established in the department of Managua in the experimental area El Regen owned by the Universidad National Agrarian, north sector of the campus of the Faculty of Agronomy in the period from January to June 2022. A completely randomized design (DCA) was used. Arranged in paired plots on conventional irrigation treatments applying a 26.58 mm sheet in the development stage and 9.53 mm for automated irrigation, carried out at a planting distance of 0.6 m between plants and 1 m between furrows. Growth (plant height, stem diameter, number of leaves per plant) and yield variables (polar diameter, equatorial diameter and yield in kg ha) and water productivity in kg m³. analysis of variance (ANDEVA) and separation of means by LSD Fisher (0.05) growth and yield variables were statistically affected in the automated system exceeded the conventional, the highest yields achieved were obtained from automated irrigation in tomato and eggplant cultivation with 13 766.29 and 9 455.76 kg ha⁻¹, the highest water productivity was obtained with automated irrigation in tomato and eggplant with 61.0 kg m³ and 43.47 kg m³, the best net benefits were obtained in the automated system in the two crops evaluated with 15 631.01 and 8 511.80 \$, the benefit-cost ratio obtained being 6.70 and 3.65 \$.

Keywords: Climate change, water resources, drip irrigation

I. INTRODUCCION

Ruano y Sánchez (2002), destacan que:

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) es originario de América del sur, aunque se considera a México como su centro de domesticación. Es una de las hortalizas de gran importancia en el país y a nivel mundial, en la actualidad ocupa unos tres millones de hectáreas cultivadas en todo el mundo, con una producción de 85 millones de toneladas. Los principales países productores de tomate son: Europa, América central y Suramérica con producción de 400 y 330 mil toneladas, América del sur se obtienen más de 150 toneladas anuales; sobresaliendo Argentina, Brasil y Chile.

El tomate se cultivó en Nicaragua en los años 1940's, iniciándose en el municipio de Sébaco, Tisma y el departamento de Masaya; posteriormente se comenzó a distribuir al resto del país en la década de los 70's, los rendimientos de este cultivo oscilaron entre 4,000 y 5,000 cajas ha⁻¹, en la actualidad 1,500 cajas son consideradas buen rendimiento. Es un cultivo de mucha importancia ya que es un producto que sirve de materia prima en la agro- industria con un alto contenido en vitamina A y C (Rayo, 2001).

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2021) aduce que:

Para el año 2020 el área cultivada de hortalizas se ubica entre las 8,750 a 9,450 ha de las cual el tomate abarca un 19% del área total equivalente a 1,795 ha con una mayor durabilidad, calidad en producción, mejor manejo en el transporte y almacenamiento de la hortaliza. Esto indica que existe una oportunidad para que los horticultores nicaragüenses suplan los requerimientos de los cultivos con una excelente eficacia, la producción nacional de hortalizas es de 6.2 millones de quintales y cubre la demanda aparente en casi todos los rubros, excepto en zanahoria, cebolla y repollo donde se registran exportaciones puntuales.

El sistema de siembra a campo abierto es el más económico para la producción de tomate, siempre y cuando las condiciones edáficas, climáticas y fitosanitarias lo permitan. Suelen utilizarse variedades de crecimiento determinado debido al sistema de conducción que se utiliza y hábito de crecimiento. Algunos productores suelen colocar a manera de prevención barreras físicas en el perímetro del terreno para evitar daños por vientos (Torres, 2017).

Coronado (2015), respecto a la berenjena *solanum melongena* indica que:

Paulatinamente el cultivo de berenjena ha tomado importancia económica gracias a su prospección como producto de exportación, en fresco y transformado, a importantes mercados como los de Norteamérica y Europa, los agricultores dedicados al cultivo de berenjena emplean pequeñas áreas y patios para sus cultivos, situación por la cual la berenjena es considerada como una hortaliza de patio y de economía campesina (pág. 24).

El riego por goteo está despertando cada día mayor interés, debido a las múltiples ventajas que ofrece desde el punto de vista de la optimización 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 se pueden destacar el humedecimiento parcial del suelo lo que se vuelve importante en el ahorro del agua y el empleo de la fertilización localizada junto al riego (Martínez, 2013).

Actualmente se dispone de poca información asociada a la operación y desarrollo de los sistemas de riego automatizado, por lo que el propósito de este trabajo de investigación es presentar un sistema que permita la aplicación de un régimen de riego controlado mediante el uso de un sistema electrónico programable y compacto, que permitirá la optimización del recurso hídrico, la eficiencia del riego y el uso de la energía fotovoltaica, es un sistema que está dirigido al pequeño y mediano productor para mejorar los niveles de productividad de los cultivos de tomate y berenjena.

II.OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar el sistema de riego por goteo convencional y automatizado en el cultivo de tomate (*solanum lycopersicum* L) y berenjena (*Solanum melongena* L), en el REGEN, UNA 2022.

2.2 Objetivos Específicos

- ❖ Comparar el efecto del manejo de un sistema de riego por goteo convencional y automatizado sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo tomate y berenjena.
- ❖ Determinar la productividad del agua en relación con el rendimiento de los cultivos.
- ❖ Analizar la relación costo / beneficio del sistema de riego por goteo convencional y automatizado.

III.MARCO DE REFERENCIA

3.1. Generalidades del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L)

Chemomics International (2008) detalla que el tomate es:

Una planta de clima cálido, pero se adapta muy bien a climas templados; por lo que en Nicaragua se puede sembrar en gran parte del territorio, prefiriéndose aquellos ubicados en alturas entre los 1 000 y 1 500 m.s.n.m. En el periodo de las lluvias la incidencia de enfermedades es mayor que, durante la época seca las plagas son el mayor problema. Sin embargo, dichos problemas son superables mediante un conjunto de prácticas agrícolas métodos de manejo y controles adecuados, los cuales tienen que ser realizados en el momento y la forma precisa en que se indica ya que de esto depende una cosecha.

Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (2017), describe que:

Es comestible por su fruta 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 utilizados para encurtidos y conservas.

Para lograr una alta productividad y longevidad del cultivo de tomate es necesario que se encuentre en balance entre su crecimiento vegetativo y generativo. Las plantas demasiado vegetativas tienen hojas grandes, tallos gruesos, cabezas fuertes y poca producción de frutos, mientras que las plantas demasiado generativas tienen hojas pequeñas, tallos delgados cabezas débiles y floración intensa por lo que se requiere un monitoreo constante las variables (INTAGRI, 2022).

Chamarro (2001) argumenta que:

Se desarrolla bien en un amplio rango de latitudes, tipos de suelo, temperaturas, métodos de cultivo y es moderadamente tolerante a la salinidad, por lo que, en condiciones óptimas con ambientes cálidos, con buena iluminación, drenaje y temperaturas entre 25 y 30° C son ideales para su desarrollo vegetativo, crecimiento y cuajado de frutos.

Características botánicas

Según Fornaris (2007) explica que:

Es una planta dicotiledónea herbácea y perenne (cultivada como anual) que pertenece a la familia herbácea solanácea. En esta familia herbácea se encuentran otras plantas cultivadas como el pimiento, el ají dulce, la papa, el tomatillo, el tabaco y la petunia (pág. 27).

Según Trejo (2007) describe la clasificación taxonómica del tomate de la siguiente manera

Reino: Vegetal
División: Traechophyta
Subdivisión: pterosidae
Clase: Angiospermae
Subclase: personatae
Familia: Solanaceae
Género: Lycopersicum
Especie: esculentum

La variedad evaluada responde al nombre de INTA JL-5 desarrollada por el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria la cual logró adaptar a las condiciones climáticas de Nicaragua durante el periodo 2013-2014. Es una variedad de tomate proveniente del Centro de Desarrollo de vegetales de Asia (Taiwán), la cual se caracteriza por la dureza de su fruta y la alta tolerancia a la virosis transmitida por la mosca blanca (INTA, 2017).

3.2. Condiciones agroclimáticas del tomate INTA JL-5

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013) refiere que:

Para cultivar tomate se recomienda hacerlo en suelos francos o franco-arcillosos, ya que en suelos muy pesados retienen mucha humedad y restringen la respiración de las raíces, lo cual crea además un ambiente favorable para muchas enfermedades. Las temperaturas del suelo deben de ser de ser 12°C-16° C y la temperatura ambiente para su desarrollo de 21-24°C, siendo el óptimo 22° C.

Temperatura del cultivo de tomate (Solanum lycopersicum L)

Marín (2016) aduce que:

La planta de tomate necesita un periodo de entre 3 y 4 meses entre la cosecha y su establecimiento del primer fruto. La temperatura media mensual óptima para su desarrollo oscila entre 21 y 24 ° C, aunque se puede producir entre los 18 y 25 ° C, cuando la temperatura media mensual sobrepasa los 27 ° C las plantas de tomate no prosperan. La humedad relativa optima, que se ubica entre 60 % y 80 %, favorece el desarrollo normal de la polinización y garantiza una buena producción.

3.3. Generalidades del cultivo de berenjena (*Solanum melongena L*)

Maradiaga (2008) comenta que:

Es una planta originaria del sureste de Asia, muy probablemente de la India, de ahí su cultivo se extendió a China y los archipiélagos de Japón, Filipinas e Indonesia, mas tarde paso a Arabia donde posteriormente fue introducida a España y el sur de Europa, pasando al continente americano después de 1942. Desde hace muchos años se ha cultivado en Asia como una especie alimenticia y actualmente se produce en forma comercial en las zonas tropicales y subtropicales de todos los continentes.

La berenjena es sensitiva al exceso de humedad en el suelo y no tolera suelos con problemas de mal drenaje, por lo que se debe mantener en un nivel de humedad adecuado durante el ciclo de cultivo. Un suelo con mal drenaje puede ocasionar una reducción en el área funcional del sistema de raíces de la planta, un pobre crecimiento de esta y a la vez bajos rendimientos, se deben realizar las prácticas necesarias para manejar correctamente el agua proveniente de la escorrentía, para prevenir problemas de erosión, mal desagüe o inundaciones y para mantener la fertilidad de suelo (Martínez, 2006).

Características Botánicas.

Villarroya (2009), destaca la caracterización taxonómica de la berenjena (*solanum Melongena*) como:

Reino: Plantae
Subreino: Embryobionta
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Asteridae
Orden: Solanales
Familia: Solanaceae
Género: Solanum
Especie: *Solanum melongena* L.

Temperatura del cultivo de berenjena

Instituto de Innovación Tecnológica en la Agricultura (2021), Sostiene que:

La berenjena es la solanácea más exigente en temperatura, con una temperatura óptima nocturna entre 18 y 22 °C, mientras que en el día requiere de 22 a 26 °C. Por el periodo de floración y cuajado de frutos la temperatura óptima debe estar entre 20 a 30 °C. Temperaturas por debajo de los 11 o 12 °C provocan la caída de las flores y la deformación o caída de frutos.

Por otra parte, Infoagronomo (2018) considera que:

Las plantas de berenjena necesitan bastante luminosidad tanto para su desarrollo como para su floración y cuajado de frutos, los problemas con la polinización ocurren cuando las temperaturas están por debajo de los 16 °C y arriba de los 35 °C. Este cultivo no soporta los suelos excesivamente húmedos, porque pueden causar asfixia de sus raíces, principalmente cuando la plantación está en el proceso de crecimiento inicial.

La variedad de berenjena (*solanum melongena* L) utilizada fue Belleza Negra, la cual se distingue por tener un porte erecto y buen crecimiento en suelos con buen contenido de materia orgánica, bien drenados y con buenos niveles de retención de humedad. De acuerdo con (Medina 2020) esta variedad se destaca por tener alta tolerancia al ataque de enfermedades y plagas.

3.4. Riego por goteo

Mendoza (2013) comenta que:

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. La presión se obtiene mediante un equipo de bombeo o por la diferencia de nivel entre la fuente de agua y los emisores; esta diferencia puede ser de 3 a 10 m, de acuerdo con el tipo de gotero (pág. 24).

La determinación del momento y cantidad de agua a aplicar en cada riego es un proceso de toma de decisiones. En nuestro país por lo general, se ha basado en la experiencia previa y no en procedimiento (científicos-técnico). De tal forma que, si se desea que la conversión del agua en aplicaciones de riego sea una realidad, es necesario cada vez disponer de más información que permita caracterizar la necesidad de los cultivos para así programar los riegos de forma eficiente (Federes, 2000).

Calvo (2008) señala que:

A diferencia del riego por aspersión y el riego por gravedad, en el riego por goteo el agua se aplica directamente en las zonas donde las raíces de las plantas se desarrollan mayormente, por lo que la economía del agua es muy alta, ya que el área entre las plantas y las hileras permanece seca, solo se moja la parte de suelo donde se encuentra la planta.

Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (2021), propone que:

Un sistema de riego es de vital importancia en la producción agrícola puesto que se suelen utilizar diferentes mecanismos en los cuales se permiten desviar el agua desde la fuente de almacenamiento hasta los campos de producción, lo que es vital para la producción que se mantenga un riego importante en las épocas donde las precipitaciones descienden por debajo de los niveles normales.

Presión en el riego localizado

Zambrano y Arriaga (2014) describen que:

Los sistemas de riego a baja presión son una tecnología más para regular el consumo del agua, son sistemas donde gravitacionalmente es difícil abastecer sin energía adicional trabajando a presiones de 1 y 5 psi. Se recomienda utilizarlos en pendientes no mayores del 2 % debido a que son sistemas que tienen goteros de flujo laminar y se ven afectados por cambios en pendientes y largo de lateral sus valores de uniformidad son bajos.

Jiménez (2006) aduce que:

Los sistemas de cintas de goteo son normalmente utilizados en cultivos en hileras, tales como tomates, fresas y hortalizas, el movimiento lateral del agua dentro del suelo introducido con estos sistemas es similar a los sistemas de goteo con emisor individual, los cultivos de hilera irrigados con un sistema de cinta de goteo que tiene un espaciamiento cercano entre puntos de emisión usualmente desarrollan una franja humedecida a lo largo de la franja completa (pág. 19).

Cuadro1. Datos técnicos de funcionamiento de cintas de riego por goteo comerciales.

Modelo	Diámetro nominal (mm)	Caudal nominal (L/H)	Distancia de gotero (m)	Presión de operación (psi)
Aquatraxx	16	1.3	0.3	21.30
Irriline	16	1.7	0.3	12.1
Hidradrip	16	1.0	0.2	10.3
Naandanjain	16	1.0	0.2	10.6

Fuente: Zambrano y Arriaga (2014)

Ventajas del riego por goteo

- Supone la optimización del agua debido a la reducción de evapotranspiración.
- Es posible mantener el nivel de humedad de suelo relativamente constante y elevado
- Posibilita la utilización de agua de menor calidad debido a la disolución de las sales por alta frecuencia de riego.
- El gasto energético es menor debido a la reducción de los consumos de agua y menores necesidades de presión
- Se facilita la automatización.

Desventajas del riego por goteo

- Es un sistema de alto costo de instalación.
- Facilidad de obturación de los emisores
- Dificultad de dar lavados a profundidad.
- Exige estricta utilización de sistemas de filtrado y pre filtrado.

3.5. Elementos del sistema de riego automatizado

Sensores de humedad

Palacios (2017) indica que:

Este dispositivo utiliza dos electrodos que pasan corriente a través del suelo, la resistencia entre los electrodos dependerá de la humedad de suelo, por lo que para un suelo muy húmedo tendremos una resistencia muy baja (corto circuito) y para un suelo muy seco la resistencia será muy alta (circuito abierto). Si existe humedad en el suelo se creará un puente entre una punta y otra, lo que será detectado por un circuito de control con un amplificador operacional encargado de transformar la conductividad a un valor analógico que será leído por arduino (pág. 30).

Automatización del riego

La automatización de sistemas de riego ofrece numerosas posibilidades que van desde la programación de pequeñas operaciones, como la apertura o cierre de una válvula, hasta la realización de una programación integral del riego, en grandes extensiones de terreno permite realizar de forma automática distintas operaciones además del riego tales como el control de la fertirrigación y la validación de la uniformidad (Rodríguez et al. 2018).

Arduino

Gonzales (2013), comenta que es:

Una placa microcontrolador basado en el microprocesador Atmega 2560, contiene 54 entradas/salidas y 16 entradas analógicas con 4 puertos serie por hardware, esta placa dispone de todo lo necesarios para hacer funcionar el microcontrolador simplemente conectando a un ordenador mediante un cable USB. Contiene todo lo necesario para hacer funcionar el microcontrolador y garantizar el registro de datos mediante la conexión de un adaptador de corriente alterna a corriente continua (pág. 24).

Electroválvula

Barría (2020), dice que son:

Equipos que reemplazan las llaves o válvulas manuales convencionales que se utilizan para entregar el caudal requerido en un sector de riego. En general cualquier sistema de riego posee un gran número de llaves de corte o válvulas para la distribución del agua en los diferentes sectores. Por lo tanto, la posibilidad de disponer de llaves o válvulas que puedan ser controladas a distancia o automáticamente repercute en el manejo del riego.

Inversor de corriente

Montenegro y Montenegro (2018) señalan que:

Los inversores son convertidores estáticos de energía que convierten la corriente continua en CC en corriente alterna CA con la posibilidad de alimentar una carga en alterna, regulando la tensión, frecuencia o bien en ambas. Más exactamente, los inversores transfieren potencia desde una fuente continua a una carga de alterna. Algunas de las aplicaciones están asociadas al accionamiento de motores de corriente alterna, sistemas de alimentación ininterrumpida y dispositivos de corriente alterna que funcionan con una batería (pág. 6).

Regulador de corriente

Moyano (2005) argumenta que:

Los reguladores de tensión son circuitos capaces de proporcionar tensiones e intensidades muy estables a cargas muy bajas. Habitualmente están basados en elementos de referencia de tensión que proporcionan la precisión y estabilidad, junto con otros elementos de amplificación de potencia que habilitan transferirla a las cargas, una referencia de tensión proporciona un flujo estable para otros circuitos reguladores de tensión como multímetros, sensores y amplificadores logarítmicos.

Circuito eléctrico

Se denomina circuito eléctrico a un conductor unido por sus extremos en el que existe al menos un generador que produce la corriente. En un circuito eléctrico el generador origina una diferencia de potencial que produce una corriente eléctrica. La intensidad de esta corriente depende de la resistencia del conductor de los elementos que pueden aparecer en un circuito pueden estar colocados en serie, paralelo o mixto (Aguirre et al. 2020).

Para la construcción del circuito eléctrico se utilizó la plataforma Proteus 8 profesional, el cual es una plataforma para la ejecución de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas las etapas de diseño, programación del software y construcción de la placa del circuito impreso, alguna de sus características de funcionamiento es simular el conjunto de todo el proyecto y controlar los posibles errores y variaciones del circuito.

Esta simulación permitió la validación de todos los elementos que dispone el circuito eléctrico para ejecutar la puesta en marcha del sistema (figura 1).

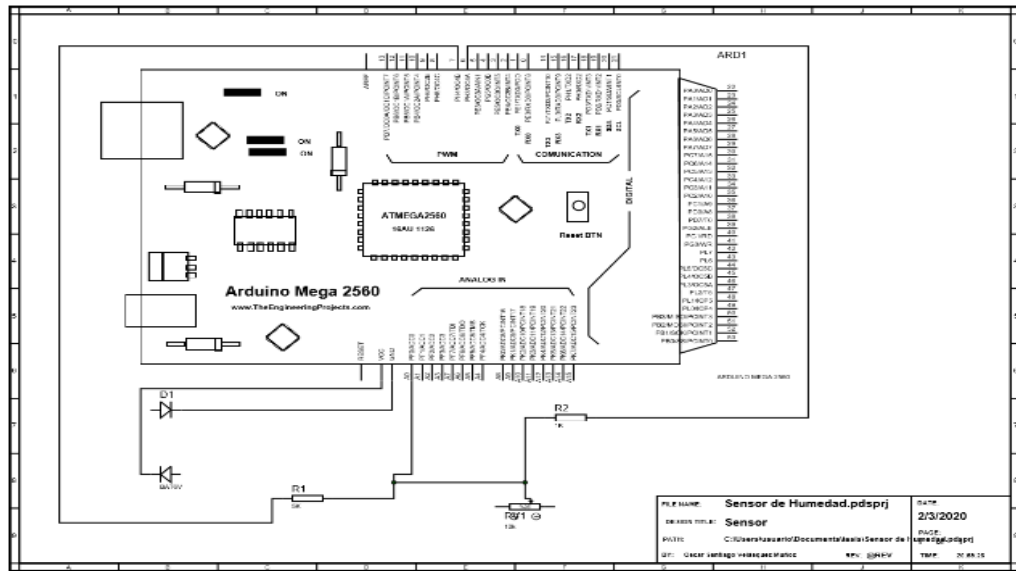


Figura 1. Simulación del circuito eléctrico para la implementación del sensor de humedad de suelo (Velázquez, 2020).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Ubicación del área de estudio

El ensayo se realizó en el departamento de Managua en el área experimental Programa de Recursos Genéticos Nicaragüenses (Regen), propiedad de la Universidad Nacional Agraria (UNA), sector norte de la Facultad de Agronomía, ubicada en el kilómetro 12 ½ de la carretera norte con las coordenadas siguientes 12°09'00.371" latitud Norte y 86°09'36.650" latitud Oeste con una altura de 56 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar).

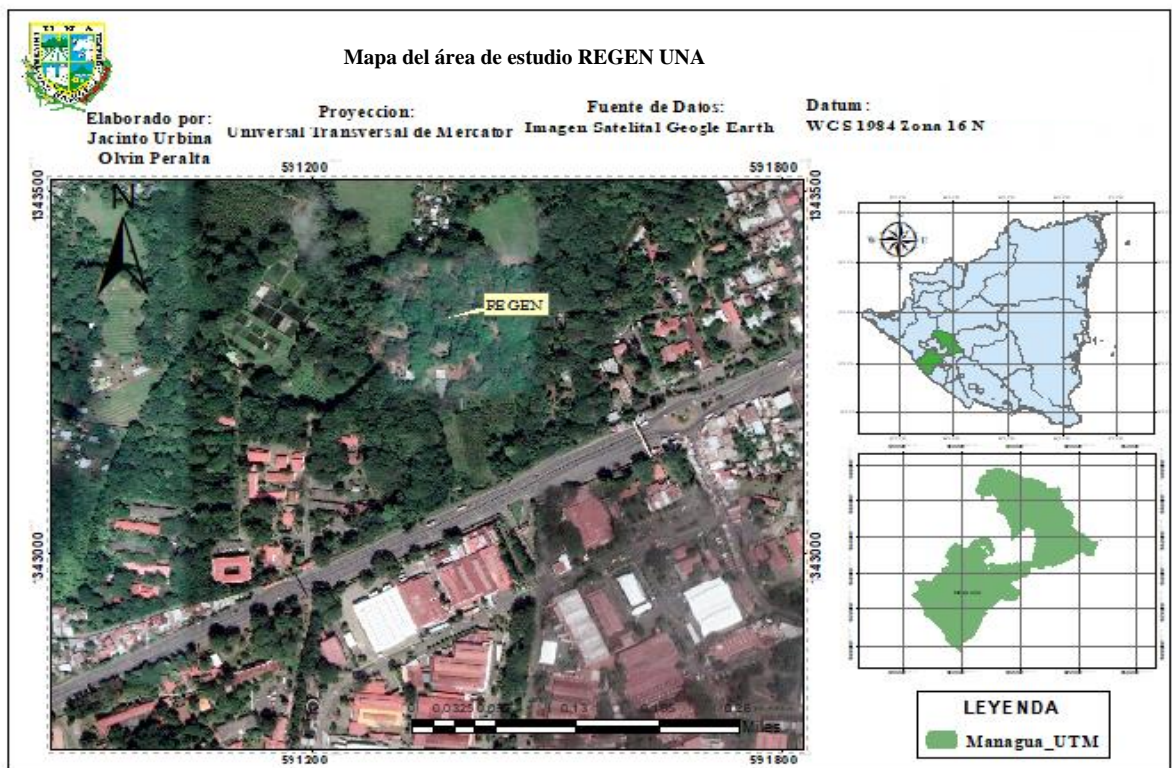


Figura 2. Ubicación del área de estudio, UNA 2022.

Condiciones climáticas de Managua

INETER (2021) refiere que:

En la figura 3 se observan los promedios de las temperaturas máximas, y mínimas (temp. max y min) y las precipitaciones acumuladas que se reportaron en los meses con mayor precipitación van desde mayo a septiembre respectivamente con valores de precipitación promedio para el departamento de Managua de 1 300 a 1 800 mm, las temperaturas mínimas oscilan entre los 27 °C y las máximas de 34 °C.

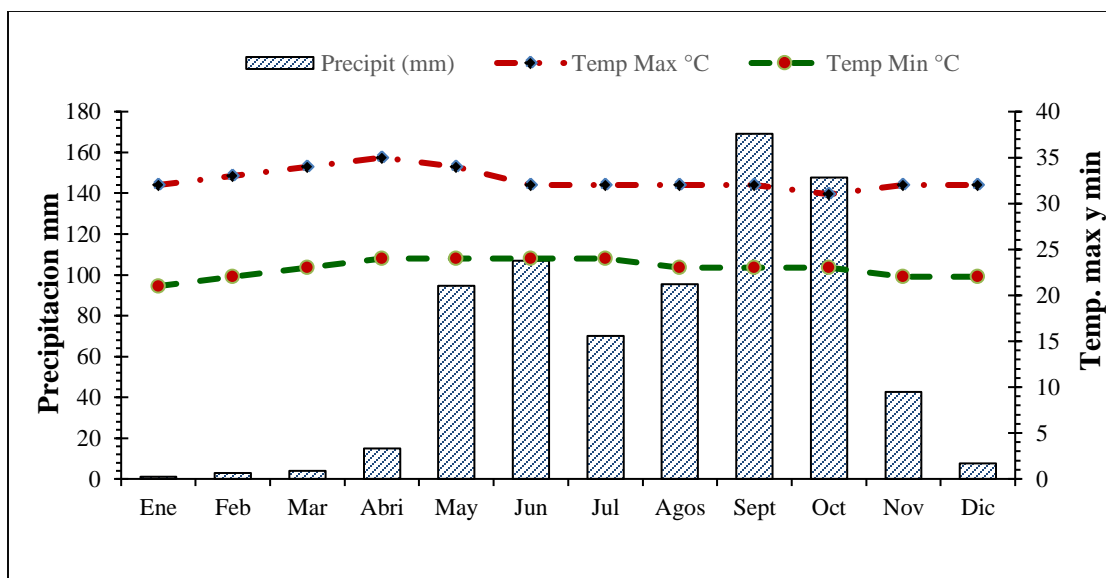


Figura 3. Condiciones climáticas en el área de estudio (INETER, 2022).

Suelo

Salmerón y García (1994) informan 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 2), 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 2. Análisis fisicoquímico del suelo, UNA, Managua, 2019

Prof	PH	MO	Ppm		Me/100 g suelo					Partículas (%)			
cm	H2O	(%)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Arcilla	Limo	Arena
25	8.03	2.6	0.13	22.8	4.68	25	11.02	0.98	1.12	28.48	11.2	28	60.8

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

4.2 Diseño metodológico

El experimento se estableció en un Diseño Completo al Azar (DCA) con arreglo en parcelas apareadas con dimensiones establecidas de la parcela de 10 m de ancho y 12 m de largo para un total de 120 m², los surcos se distribuyeron en toda el área de campo de acuerdo con el diseño de los dos sistemas de riego siguiendo una secuencia de orden de automatizado y convencional para homogenizar el muestreo de datos, obteniéndose un total de 10 surcos con espaciamiento de 1 m entre surco y 0.6 m entre planta , en total se muestrearon 10 plantas por parcela útil.

4.3 Descripción de los tratamientos

Sistema de riego automatizado

Sistema de riego automatizado con sensor de humedad de suelo y microcontrolador Arduino: Se utilizó la placa electrónica Atmega 2560 para el registro y procesamiento de datos de tensión en el suelo posterior a la calibración del sistema, el sensor se ubicó a diferentes profundidades de suelo con la finalidad de homogenizar los valores registrados en el área experimental previo a la instalación.

Sistema de automatización y control

En la programación integral del riego automatizado es necesario considerar el correcto funcionamiento del sistema mediante el análisis de laboratorio a fin de conocer las propiedades hidrofísicas, cuando el sensor realiza la lectura de humedad en suelo y está en el rango del límite productivo el sistema le manda la orden a la válvula solenoide que se abra de esta manera comienza en funcionamiento del sistema de riego, el sistema se programa que realice las lecturas de humedad a criterios del investigador en nuestro caso el sistema se programó cada 20 minutos para tener una mejor precisión, en este sentido cuando la humedad llega a capacidad de campo el sensor envía la lectura para que se cierre la válvula solenoide, de acuerdo a la información anterior es necesaria para crear la programación y automatización del riego (Velázquez 2020).

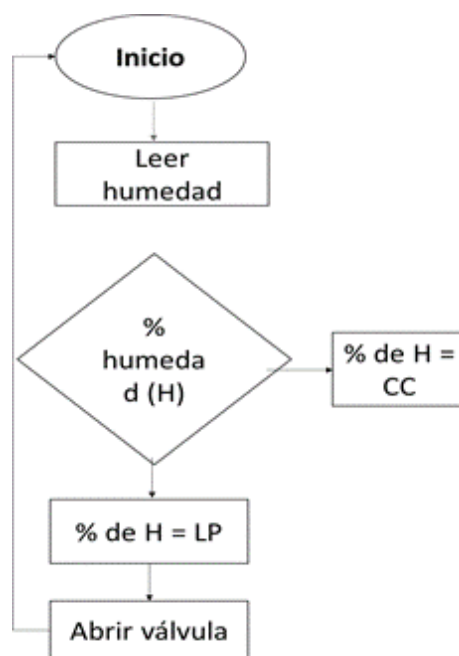


Figura 4. Proceso de operación del sistema de riego automatizado UNA, 2022

Calibración de sensor de humedad de suelo

Velázquez (2020) explica que:

Para realizar la calibración del sensor se debe estimar la cantidad de agua aprovechada por las plantas la cual se define como la diferencia de 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), posteriormente se realiza la comparación del funcionamiento con los registros de humedad obtenidos con sensores de uso comercial en relación a los datos registrado por el sensor que se está validando.

El sensor utilizado es de tipo resistivo por lo que recibe y transmite pulsos eléctricos detectados por los terminales del sensor este se calibra a diferentes profundidades de suelo, estos pulsos son enviados a través de un microcontrolador (Arduino) quien se encarga de transmitir y recibir información (entrada y salida). El microcontrolador envía tensión al sensor de humedad la cual es devuelta en valores de milivoltios en dependencia de la capacidad de conducción eléctrica del suelo (pág. 10).

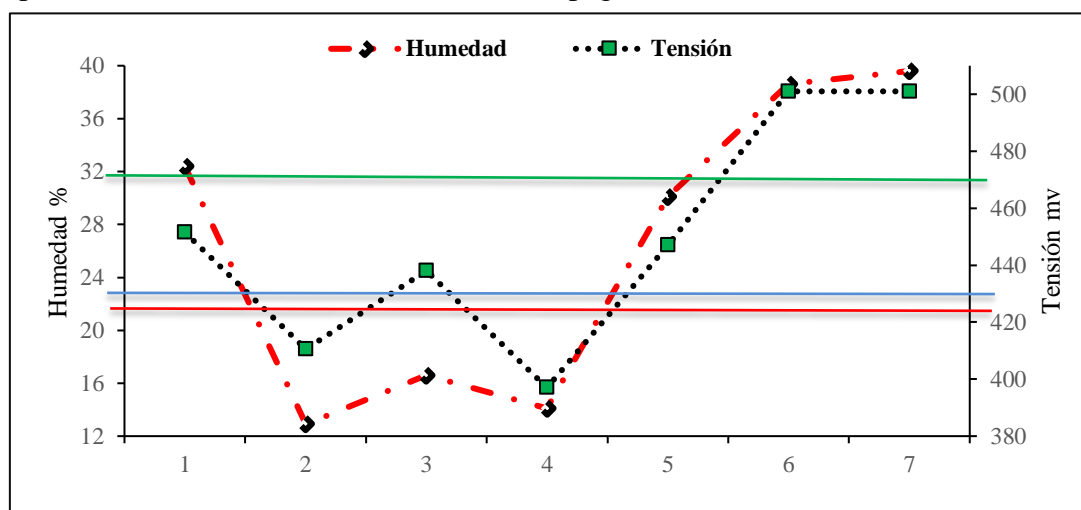


Figura 5. Desempeño del sensor de humedad de suelo según las propiedades hidrofísicas (Velázquez, 2020).

Sistema de riego convencional:

Se calcularon las láminas de riego para las diferentes etapas fenológicas de los cultivos de tomate y berenjena con sus respectivos tiempos de riego e intervalos de aplicación, cabe mencionar que se consideró las profundidades del sistema radicular en la etapa inicial y desarrollo y las propiedades hidrofísicas del suelo (Capacidad de campo, límite productivo).

Cuadro 3. Descripción y manejo de los tratamientos en el área experimental el Regen, UNA, 2022.

Factores	Láminas de riego (mm)	Tiempo de riego (horas)	Intervalos de riego (días)
Riego por goteo automatizado	9.53	1.53	1.00
Riego por goteo convencional	26.56	5.18	2.00

4.4. Manejo agronómico del cultivo de tomate y berenjena

Preparación del terreno.

Se realizaron labores de limpieza del área y preparación de suelo con el uso de machetes y azadón efectuándose en el mes de enero del 2022, con las dimensiones establecidas, así como la selección de tutores de madera y verificación de funcionamiento uniforme de las tuberías.

Establecimiento de semillero

La siembra de semillero se efectuó el 20 de diciembre del 2021 utilizando bandejas de 128 cavidades rellenas con sustrato de germinación, para un total de tres bandejas de tomate y 2 de berenjenas establecidas en invernadero ubicado en el área del Regen.

Trasplante

Se trasladaron las plantas de tomate y berenjena del invernadero hacia el área de ensayo una vez alcanzado los 12-15 cm de altura y se establecieron a una distancia de 0.60 m entre plantas y 1 m entre surco para un total de 16 600 Plan ha⁻¹ de tomate y 16 600 Plan ha⁻¹ para el cultivo de berenjena.

Tutoreo de plantas

El tutoreo del cultivo se realizó con el objetivo de brindar estabilidad en las diferentes etapas de crecimiento de las plantas, se ubicaron a distancias de 3.80 m entre cada tutor y posteriormente se colocaron cintas de nylon plástico en cada uno de los surcos de tomate y berenjena a la altura correspondiente de la planta.

Manejo de riego

En el estudio realizado se implementó con riego por goteo por su alta eficiencia y distribución uniforme de los caudales. Las láminas manejadas desde 0-45 ddt fueron de 26.58 mm para convencional y 9.53 mm para el riego automatizado ubicando el sensor a una profundidad de 15 cm en la etapa fenológica inicial. En la etapa de desarrollo de los 45- 98 ddt se aumentó la lámina hasta los 53.16 mm en el riego convencional debido al crecimiento del sistema radicular y el aumento de la demanda hídrica, en esta fase se modificaron los rangos de lecturas para el sistema de riego automatizado y se profundizó hasta los 30 cm sin presentar

variabilidad en la aplicación de la lámina de riego. En el aporte de los diferentes caudales se utilizó cinta de riego de polietileno Naandanjain de 16 mm de diámetro con espaciamiento entre emisor de 0.20 m y un gasto de 1.0 litros por hora.

Tiempo de operación

En la operación autónoma del riego la plataforma de programación de arduino con los valores de tensión traducidos a humedad, transmite un pulso eléctrico a una electroválvula para el orden de encendido con un tiempo estimado de 5 segundos, dicho tiempo variaba en función de los valores de humedad detectados por el sensor y la variación de la presión en las cintas de riego establecidas en el área del ensayo.

Fertilización

La fertilización se aplicó de acuerdo con la etapa fenológica de los cultivos de tomate y berenjena, utilizando fertilizante nitrogenado (UREA) al 46% mezclado con fertilizante completo 15-15-15 con dosis de (265 kg ha⁻¹) en intervalos de 15 días. La fertilización edáfica se complementó después del trasplante utilizando fertilizante hidrosoluble SOLUCAT 10-52-10 para la estimulación y crecimiento del sistema radicular de las plantas.

Para el manejo de la fertilización foliar se realizó de acuerdo con el desarrollo vegetativo del cultivo aplicando biofertilizante FOLIAR PLUS a los 31,51 y 65 ddt como estimulante de crecimiento, de igual manera se utilizó fertilizante hidrosoluble 10-10-40 a los 75 y 85 ddt en la etapa de floración y crecimiento de frutos como complemento previo a la etapa de cosecha.

Control Fitosanitario

Se realizaron aplicaciones foliares de bio-insecticida a base de jabón potásico en intervalos de 7 días para control de mosca blanca en la etapa inicial de los cultivos evaluados. En la etapa de desarrollo se aplicó insecticida Muralla Delta 190 OD y Barrera 10 EC para el control de minador de la hoja (*Lyriomiza* sp) y mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en intervalos de 15 días.

Control de malezas

Se realizó una limpieza del área experimental previo a la etapa de trasplante de plántulas mediante control manual con intervalos de 20 días o de acuerdo al crecimiento de las arvenses en los surcos de tomate y berenjena.

4.5. Parámetros de riego

- **Lámina neta de riego**

La Lámina neta es la cantidad de agua que debe de ser aplicada en el riego con el fin de suplir el agua que se ha utilizado en el cultivo durante la evapotranspiración, expresada en m^3ha^{-1} y está dada por la siguiente ecuación.

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

Donde:

Ln: Lámina neta (mm)

ΔH : Variación de capa activa

Da: Densidad aparente (g.cm^{-3})

Cc: Capacidad de campo (%)

Lp: Limite productivo (%)

- **Lámina bruta**

Castro (2009) respecto a la lámina bruta dice que es:

La lámina suministrada adicionalmente a las necesidades netas de las plantas con relación a toda la cantidad de agua que se pierde por escorrentía y evapotranspiración.

Por consiguiente, la lámina bruta se define como la lámina neta afectada por la eficiencia del riego y esta expresada por la siguiente ecuación.

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

Donde:

Lb: Lámina bruta (mm)

Ln: Lámina neta (mm)

Ef: Eficiencia de aplicación.

- **Intensidad de aplicación:**

Es un término referido a la aplicación de la lámina de riego por cada hora de operación y se calcula con la siguiente formula.

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

Dónde:

Ia: Intensidad de aplicación (mm/ horas)

Qe: Caudal del emisor (l/h)

Es: Espaciamiento entre surcos (m)

Ei: Espaciamiento entre emisor (m)

- **Tiempo de riego**

El tiempo de riego a utilizar será mediante la ecuación descrita por Marrero (2009) utilizando el tiempo necesario para aplicar la lámina bruta de riego definiéndose mediante la siguiente ecuación.

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

Donde:

Tr: tiempo de riego (horas)

Lb: Lámina bruta (mm)

Ia: Intensidad de aplicación (mm/ horas)

- **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.

$$I_r = \frac{L_b}{E_{to} \times K_c}$$

Donde:

Ir: Intervalo de riego (días)

Lb: Lámina bruta (mm)

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm/ días)

Kc: Coeficiente de cultivo

- **Coeficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo.**

MINAGRI (2017), propone que:

La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la bocatoma, por lo cual es importante conocer la eficiencia del sistema a fin de conocer la demanda de agua en un proyecto de riego.

Hernández (2019), argumenta que:

Para determinar la uniformidad de descarga de los emisores, debe medirse en campo en al menos 16 emisores, el caudal y la presión. El coeficiente de uniformidad resultante nos indica la variación de las cantidades de agua resultante descargada por el emisor o gotero. Es imposible lograr que todas las plantas exactamente la misma cantidad de agua, pero si es necesario mantener el sistema de riego con óptimos rangos de uniformidad con el objetivo de lograr mejores rendimientos.

Para la determinación de los valores de uniformidad en los sistemas de riego por goteo se utilizó el método del cuarto menor propuesto por Villavicencio y Villablanca (2010), el quienes describe que para calcular estos valores se debe seleccionar una sub-unidad representativa del sistema de riego, según topografía, tipo de suelo y condiciones de las plantas.

1. Los nueve datos se ordenan de mayor a menor
2. De estos nueve datos se seleccionaron los cuatro menores para el cálculo del promedio de emisores de menor caudal.

$$q_{25\%} = \frac{q1 + q2 + q3 + q4}{4}$$

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

$$q_n = \frac{q1+q2+q3+q4.....q9}{9}$$

q_n : Caudal de todos los emisores (L/h)

Para evaluar la eficiencia del sistema de riego se utilizó una probeta de 100 ml seleccionando 3 emisores en los laterales críticos, en los puntos de inicio, medio y final con un intervalo de 20 minutos se midieron los caudales entregados por los emisores del surco, aplicando la metodología del cuarto menor (INIA-URURI, 2010).

Siguiendo la metodología para evaluar la eficiencia de un sistema de riego por goteo en una propiedad descrita por Merriam y Keller (1978), citada por Fernando Pizarro (1999) y de acuerdo con la Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas de USA a través de sus estándares (ASAEP-EP-438, 2003).

Cuadro 4. Rangos de coeficiente de uniformidad para los sistemas de riego por goteo.

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

Fuente (ASAE-EP-438,2003)

Amador (2020), menciona que:

A tal efecto se toma el área de la subunidad o sector que denomina cada válvula de una secuencia y un número mínimo de 4 laterales. De ellos se miden el caudal en el inicio, a 1/3, y posteriormente 2/3 de la línea del lateral. Esto se realiza en el primer lateral, también se repite en 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 riego

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

q_n : Caudal de todos los emisores (l/hora)

4.6. Variables de crecimiento

- **Altura (cm)**

Se midieron las alturas de las plantas evaluadas mediante el uso de una cinta métrica expresada en centímetros, las mediciones se realizaron desde el nivel del suelo hasta el punto más alto de la planta a los 37 y 54 ddt.

- **Diámetro de planta(cm)**

Medido con un vernier tomando las mediciones desde la parte media de la planta a los 37 y 54 ddt.

- **Número de hojas**

Se realizó un conteo visual en los cultivos evaluados tomando las hojas útiles a los 37 y 54 ddt respectivamente.

4.7 Variables de fruto y rendimiento

Para la medición de estas variables fue necesaria la utilización de bolsas plásticas, vernier y balanza para cada una de las cosechas realizadas.

- **Diámetro polar y ecuatorial**

Se midió con un vernier en cm a los 95, 101, 105, 121, y 123 ddt en los frutos de tomate y berenjena respectivamente.

- **Rendimiento kg ha⁻¹**

Se pesaron los frutos obtenidos en las 10 plantas seleccionadas por parcela útil para los dos tipos de cultivo posteriormente se convirtieron los datos en kg. ha⁻¹.

4.8 Análisis de productividad del agua

Fernández y Camacho (2005), dicen que la productividad del agua es:

La relación existente entre la biomasa presente en el cultivo por unidad de agua utilizada por este en un determinado momento, cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg de producto por m³ de agua utilizada.

Para la evaluación de esta variable se utilizó la metodología descrita por Gonzales Herrera y López (2010), los cuales destacan la relación del rendimiento de la cosecha en kg y la cantidad de agua total aplicada por el sistema de riego en m³ para lo cual plantean la siguiente ecuación.

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

Donde:

Wp: Productividad del agua aplicada por el riego (kg m³)

R: Rendimiento de la cosecha (kg ha⁻¹)

I: Lámina de agua aplicada (m³ ha⁻¹)

4.9 Recolección de datos

Se recolectaron los datos mediante el uso de fichas de recolección de variables de crecimiento y rendimiento de los cultivos evaluados.

4.10. Análisis de datos

Los datos muestreados se digitalizaron en hojas electrónicas de Excel para su posterior análisis mediante el uso del programa estadístico InfoStat. Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias por LSD Fisher ($\alpha = 0.05$) para las variables agronómicas de crecimiento y rendimiento de los cultivos.

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

Donde

$i = 1, 2, t$ 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 DISCUSION

5.1. Parámetros de riego

- **Láminas de riego**

En el cuadro 4 se muestran las láminas aplicadas para los sistemas de riego en la fase inicial de 0-53 ddt para el riego convencional se aplicó una lámina de 26.58mm en intervalos de 2 días considerando el sistema radicular de 15 cm y en el sistema automatizado fue de 9.53 mm manteniendo un tiempo de riego de 1.53 horas de acuerdo con los niveles de humedad presentes. En la etapa de desarrollo se duplicó la lámina en el riego convencional debido al aumento de la profundidad radicular de 30 cm con 53.16mm en intervalo de 6 días en el periodo de 53-70 ddt, mientras que el riego automatizado se profundizó hasta el sistema radicular de 30 cm sin presentar variabilidad en la aplicación de la lámina y sus respectivos tiempos de riego.

Cuadro 5. Láminas aplicadas en los sistemas de riego evaluados en el Regen, UNA, 2022.

Riego	0 – 30 ddt			30 - 70 ddt			70 - 120 ddt		
	Lb (mm)	Tr (horas)	Ir (días)	Lb (mm)	Tr (horas)	Ir (días)	Lr (mm)	Tr (horas)	Ir (días)
Conv	26.58	5.18	2.00	53.16	10.38	6.00	53.16	10.38	7.00
Auto	9.53	1.53	1.00	9.53	1.53	1.00	9.53	1.53	1.00

Nota= Lb= lámina bruta Tr= Tiempo de riego = Ir= Intervalo de riego Conv= Convencional Auto= Automatizado

- **Evaluación de coeficiente de uniformidad en riego por goteo**

Liotta (2000) expone que:

Para determinar la uniformidad de riego en una instalación se seleccionan por operación, una sub-unidad de riego. En general se deben escoger aquellas que trabajen en condiciones más difíciles (más alejadas de los cabezales de campo), o donde se detectaron problemas a simple vista (obstrucciones de emisores, des uniformidad, bajo vigor del cultivo, etc).

La uniformidad de los sistemas de riego son parámetros a tomar en cuenta en la operación de los mismos para garantizar el aporte preciso de los caudales calculados para los cultivos. Un sistema con una deficiente aplicación de la lámina genera una disminución significativa de los rendimientos y la reducción de los ingresos (pág. 15).

Con los valores de coeficiente de uniformidad calculados para los sistemas de riego se obtuvieron los parámetros evaluados de 86.04 % para el sistema de riego automatizado y 90.04 % para el riego convencional. Las diferencias con respecto a los datos calculados en el riego automatizado están asociadas a desperfectos de fábrica en la electroválvula de riego, sin embargo, ubica el sistema dentro de los parámetros permisibles establecidos por Merriam y Keller (1978), describiendo el sistema como eficiente (Anexo 3).

5.2. Variables de crecimiento del cultivo de tomate INTA JL-5

Altura de la planta

Escobar y Lee (2009) mencionan que:

La planta de tomate inicia su crecimiento a partir de un tallo principal, formando entre 5 y 6 hojas antes de producir el primer racimo floral, de esta forma las plantas de crecimiento indeterminado pueden crecer indefinidamente alcanzando longitudes de entre 1 hasta los 5 metros de altura.

Según el ANDEVA realizado al 95 % de confianza mostraron diferencias significativas en la variable de Alt/plant en los sistemas evaluados a los 36 ddt el riego automatizado superó al sistema de riego convencional con medias de (39.99 cm). Sin embargo, a los 51 ddt el riego automatizado obtuvo las mayores medias para dicha variable de (188.42 cm) (cuadro 6).

Estos resultados se encuentran por encima de los obtenidos en un estudio realizado por Fonseca y Fornos (2017) con promedios de 107.20 cm usando variedad Shanty.

Diámetro del tallo

Monardes (2009), sostiene que:

Son ligeramente angulosos, semi-leñosos, densamente glandulosos y pubescentes de grosor mediano y con tricomas (pilosidades) simples y glandulares. Posee un eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando las hojas, tallos secundarios e inflorescencias.

En el cuadro 6 se observa que las variables de Dia/plant mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), en el manejo de los sistemas de riego a los 30 y 51 ddt el riego automatizado obtuvo las mayores medias (0.50 y 1.37 cm) en comparación con el sistema de riego convencional. Las medias reportadas se encuentran por encima de las obtenidas por Amador (2020) con media de (0.50 y 0.54 cm) con la variedad de tomate INTA JL-5 en condiciones de campo abierto.

Número de hojas por planta

De acuerdo con la separación de medias LSD Fisher ($\alpha = 0.05$) se encontró diferencias significativas en la variable número de hojas por planta a los 36 y 51 ddt el tratamiento de riego convencional obtuvo las mayores medias con (23.55 y 89.35) hojas por planta, el sistema automatizado obtuvo medias de (22.56 y 74.63) hojas por planta (cuadro 6).

De acuerdo con Carrillo et al. (2003) mencionan que la producción de tomate a campo abierto resulta cada vez más difícil debido a las condiciones ambientales adversas que afectan ciertas variables de crecimiento entre ellas la capacidad de producir hojas por ramas de la planta, algunas de estas afectaciones surgen por la incidencia de plagas y enfermedades que reducen la capacidad productividad de las hortalizas.

Cuadro 6. Efectos principales de los sistemas de riego para las variables de crecimiento (altura, diámetro del tallo y número de hojas por planta) en el cultivo de tomate UNA, 2022.

Factores					
Días después del trasplante (ddt)	Variabes	Automatizado	Convencional	R ²	CV (%)
30	Dia/plant (cm)	0.50 a	0.42 b	0.60	9.09
	Alt/plant (cm)	39.99 a	32.09 a	0.75	16.13
	Hoj/plant	25.56 a	23.55 b	0.79	12.16
51	Dia/ plant(cm)	1.37 a	1.20 b	0.78	17.54
	Alt/plant (cm)	188.42 a	168.21 b	0.76	11.81
	Hoj/plant	84.63 a	79.35 b	0.78	13.41

Nota= Dia/ plant=diámetro de la planta Alt/ plant= altura de planta Hoj/ plant = hojas por planta Cv= coeficiente de variación R²= coeficiente de determinación

5.3. Variables de rendimiento en el cultivo de tomate INTA JL-5

Diámetro polar

El diámetro polar es una variable que determina el tamaño de los frutos de tomate y en la actualidad los diámetros son indicadores de calidad para comercializar esta hortaliza (Velásquez et al. 2012).

Según el ANDEVA realizado ($\alpha=0.05$) reportó diferencias estadísticas en la variable diámetro polar a los 122 ddt en riego convencional supero al riego automatizado con medias de (4.44 cm) (cuadro 7).

Las medias reportadas en este estudio se encuentran por debajo de las alcanzadas por Andrades y Loaisiga (2013) su estudio realizado con la variedad de tomate Shanty en condiciones de invernadero.

Diámetro ecuatorial

El análisis realizado para la variable Dia/ ecuat se encontró diferencias estadísticas ($P < 0.05$) a los 95 y 105 ddt el sistema de riego automatizado obtuvo las mayores medias de (4.31 y 4.51 cm), sin embargo, a los 122 ddt el sistema de riego convencional superó al riego automatizado obteniendo medias de (4.71 cm) (cuadro 7).

Los valores obtenidos se encuentran inferiores a los alcanzados en un estudio realizado por Chávez y Rojas (2016), reportando medias para dicha variable de 4.58 y 5.18 cm en condiciones contraladas de casa malla.

Cuadro 7. Caracterización estadística de las variables de diámetro polar (cm) y ecuatorial (cm) en el cultivo de tomate INTA JL-5, UNA, 2022.

Días después de trasplante (ddt)	Variables	Convencional	Automatizado	R ²	CV (%)
95	Dia/pol(cm)	3.74 a	3.85 a	0.89	9.63
	Dia/ecuat(cm)	4.19 b	4.31 a	0.83	8.93
105	Dia/pol (cm)	3.81 a	3.92 a	0.81	10.76
	Dia/ecuat(cm)	4.39 b	4.51 a	0.81	9.77
122	Dia/pol(cm)	4.44 a	4.25 b	0.82	10.46
	Dia/ecuat(cm)	4.71 a	4.61 b	0.79	9.83

Nota: Dia/pol= diámetro polar Dia/ ecuat= diámetro ecuatorial R²= coeficiente de determinación CV = coeficiente de variación

Rendimiento kg ha⁻¹

En la separación de medias realizadas por LSD Fisher ($\alpha=0.05$) mostró diferencias significativas en los tratamientos evaluados, el riego automatizado obtuvo los mayores rendimientos en la cosecha 1, cosecha 3 y rendimiento total con medias 2 239.38 kg ha⁻¹, 4 546.46 kg ha⁻¹ y 13,766.29 kg ha⁻¹ en relación al riego convencional (cuadro 8).

Los resultados en este estudio son inferiores a los reportados por Castellón y García (2019) con un promedio de 8 3199 kg ha⁻¹ pero superiores a los obtenidos por Gutiérrez y Gonzales (2009) con promedios de 7 138.39 kg ha⁻¹.

Cuadro 8. Comparación de las variables estadísticas en el rendimiento y cosechas totales en kg ha⁻¹ del cultivo de tomate INTA JL-5, UNA, 2022.

Factores				
Cosechas	Automatizado	Convencional	R ²	CV (%)
Cosecha 1	2 239.38 a	1 975.00 b	0.83	16.10
Cosecha 2	6 980.45 a	6 343.07 a	0.81	12.87
Cosecha 3	4 546.46 a	4 246.84 b	0.89	10.53
Rendimiento Total, kg ha ⁻¹	13 766.29 a	12 564.91 b	0.67	9.56

5.4. Variables de crecimiento en el cultivo de berenjena Belleza Negra

Altura de la planta

Según el ANDEVA realizado al 95 % de probabilidad mostró diferencias estadísticas para la variable de Alt/plan, a los 36 ddt el sistema de riego convencional superó al sistema de riego automatizado con medias de (11.42 cm), en cambio a los 51 ddt el riego automatizado obtuvo las mayores medias de (94.09 cm) (cuadro 9).

Estos resultados de dicha variable son superiores a las reportadas por Pinto (2015) con medias de (72.6 y 89.20 cm) en un estudio realizado en cultivo de berenjena injertada en condiciones de cielo abierto. Sin embargo, la FAO (2011) considera que los agricultores deberían de implementar frecuentemente la incursión de diversos cultivos entre ellos la berenjena a fin de garantizar la dieta nutricional y la seguridad alimentaria.

Diámetro del tallo

INTAGRI (2021) sostiene que:

El tallo de la planta es semileñoso, verde, cilíndrico, rígido, de porte erecto y crecimiento indeterminado con entre nudos cortos, dicha variable puede llegar a medir hasta 2.7 cm de diámetro dependiendo del manejo de los cultivares, la variedad y la adaptación a los tipos de suelos en donde se establezca (parr.8).

Según la separación de medias LSD Fisher ($\alpha=0.05$) se encontró diferencias estadísticas para las variables Dia/plant a los 51 ddt el sistema de riego automatizado obtuvo las mayores medias de (1.60 cm) (cuadro 5). Estos resultados son superiores a las muestreadas por Medina (2020) quien alcanzó medias de (0.68 y 0.74 cm) con dos genotipos de berenjena en condiciones de campo abierto.

Número de hojas por planta

Fornaris (2006) dice que:

Las hojas son alternadas y simples de forma ovalada, redondeada y con peciolos largos (de 2 a 4 cm), la superficie es vellosa en ocasiones con pequeñas espinas en el envés. La lámina de la hoja mide de 2.40 a 4 cm en ocasiones puede llegar a alcanzar hasta los 6 cm de longitud.

De acuerdo con la separación de medias por LSD Fisher ($\alpha=0.05$), demostró diferencias significativas en la variable Hoj/plant a los 36 y 51 ddt el tratamiento de riego automatizado obtuvo las mayores medias con (5.05 y 8.12) hojas por planta (cuadro 9). Estos resultados son inferiores a las reportadas en un estudio realizado por Medina (2020) quien alcanzó promedios de 21 y 20 hojas por planta, sin embargo, se encuentran superiores a las medias evaluadas por Moncada (2005) quien obtuvo medias de (4.90 y 5.03) hojas por planta con dos variedades de berenjena a cielo abierto.

Cuadro 9. Caracterización estadística para las variables de crecimiento (altura, diámetro del tallo y número de hojas por planta) en el cultivo de berenjena belleza negra, Regen, UNA, 2022.

Días después del trasplante (ddt)	Variables	Factores		R ²	CV (%)
		Automatizado	Convencional		
30	Dia/plant (cm)	0.34 a	0.30 a	0.79	11.62
	Alt/plant (cm)	11.42 b	10.74 a	0.79	12.39
	Hoj/plant	5.05 a	4.26 b	0.71	12.57
51	Dia/ plant(cm)	1.60 a	1.40 b	0.89	17.51
	Alt/plant (cm)	94.09	84.54 b	0.85	10.20
	Hoj/plant	8.12 a	7.08 b	0.79	13.23

Nota: Dia/plant= Diámetro de la planta Alt/plant= Altura de la planta Hoj/plant= Hojas por planta R² = Coeficiente de determinación CV= Coeficiente de variación

5.5. Variables de rendimiento en el cultivo de berenjena Belleza Negra

Diámetro polar

Según el ANDEVA realizado con 95% de probabilidad se encontraron diferencias estadísticas para la variable de diámetro polar a los 102 y 125 ddt, el tratamiento de riego automatizado reportó las mayores medias con (11.60 y 9.34 cm), por otra parte, el sistema de riego convencional obtuvo medias de (9.06 y 8.86 cm) (cuadro7).

Diámetro ecuatorial

De acuerdo con la separación de medias LSD Fisher ($\alpha=0.05$), mostraron diferencias estadísticas a los 102 y 125 ddt el tratamiento del sistema de riego automatizado superó al riego convencional con medias de (11.65 cm y 10.97 cm) (cuadro 10).

Cuadro 10. Caracterización estadística de las variables de diámetro polar (cm) y ecuatorial (cm) del cultivo de berenjena Belleza Negra, UNA, Managua, 2022.

Días después del trasplante (ddt)	Variables cm	Convencional	Automatizado	R ²	CV (%)
102	Diámetro polar	9.07 b	11.60 a	0.70	12.98
	Diámetro ecuatorial	10.40 b	11.65 a	0.71	11.21
125	Diámetro polar	8.86 b	9.34 a	0.74	11.63
	Diámetro ecuatorial	10.10 b	10.97 a	0.76	9.75

Rendimientos (kg. ha⁻¹)

De acuerdo con la separación de medias LSD Fisher ($\alpha=0.05$) para los tratamientos evaluados en las dos cosechas y el rendimiento total efectuadas del cultivo de berenjena reportando diferencias estadísticas en el riego automatizado obtuvo las mayores medias 4 485.04, 4 970.72 y 9 455.76 kg. ha⁻¹ en relación con el riego convencional (cuadro 11).

Estos resultados son superiores a las reportadas en un estudio realizado por Bustamante (2020) quien obtuvo un rendimiento de 5 803.95 kg ha⁻¹ con la variedad de berenjena morada bajo condiciones de producción en invernadero.

Cuadro 11. Comparación de las variables estadísticas en el rendimiento y cosechas totales en kg ha⁻¹ del cultivo de berenjena Belleza Negra, UNA, 2022.

Factores				
Cosechas	Automatizado	Convencional	R ²	CV (%)
Cosecha 1	4 970.72 a	3 827.94 b	0.74	17.37
Cosecha 2	4 485.04 a	3 837.77 b	0.73	11.59
Total, kg ha ⁻¹	9 455.76 a	8 272.27 b	0.77	19.27

5.6. Análisis de productividad del agua (kg m³)

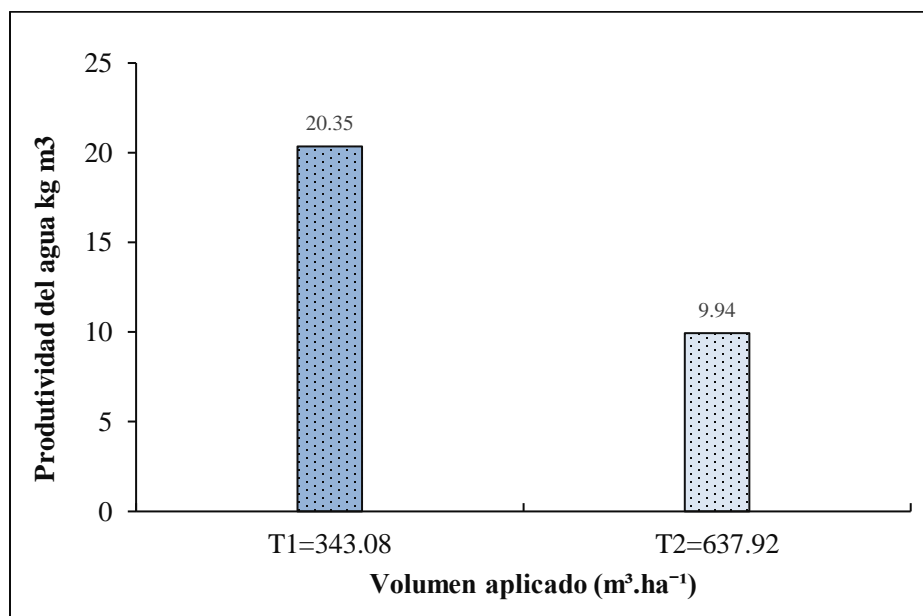
La definición de la productividad del agua fue establecido por Kijne Barker & Molden (2003) citado por Flores et al. (2016) Como una definición para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas para convertir el agua en alimentos .sin embargo la determinación de tal concepto se utiliza como una herramienta de diagnóstico para comprobar la eficiencia del uso del agua en los sistemas agrícolas, y para proporcionar una visión sólida para la determinación de las oportunidades de redistribución del agua en las cuencas.

INFORIEGO (2016) explica que:

El termino de productividad agrícola está directamente relacionado con la productividad del agua, que no es otra cosa que la relación entre el volumen de alimentos producidos con respecto al agua utilizada, los criterios mencionados por la FAO muestran que este se ha incrementado positivamente en lo que denota que queda mucho por hacer al respecto de las pérdidas de agua en los sistemas hidráulicos de riego.

En la figura 4 se observa que se obtuvo la mayor productividad del agua en el riego automatizado 20.35 kg m^3 en el cultivo de tomate, el riego convencional por su parte obtuvo 9.94 kg m^3 , cabe mencionar que cuando la relación existente entre el rendimiento y la lámina aplicada es mayor existe mayor productividad del agua por lo que el sistema demuestra tener un buen acoplamiento para la producción sostenible de hortalizas acorde a la optimización del caudal disponible para el regadío.

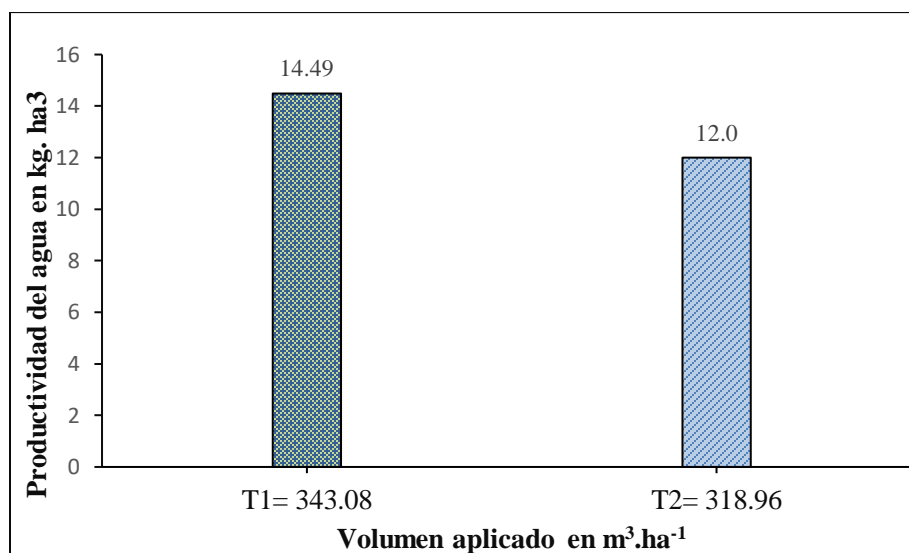
El sistema de riego automatizado aplicando una lámina de 9.53 mm con intervalos de aplicación de un día permite optimizar a niveles considerables la utilización del recurso hídrico en los sistemas agrícolas lo que demuestra un mejor aporte de los caudales de riego y mediante la aplicación eficiente de las láminas en cada una de las fases fenológicas de los cultivos disminuyendo de tal forma el efecto del estrés hídrico en las plantas.



Nota= T1= lámina bruta total en riego automatizado T2= lámina bruta total en riego convencional

Figura 6. Productividad del agua según los sistemas de riego en el cultivo de tomate, UNA, Managua, 2022.

De acuerdo con la figura 5 se observa que el riego por goteo automatizado obtuvo la mayor productividad del agua en el cultivo de berenjena con valores de 14.49 kg m³, por otra parte el riego por goteo convencional reportó una productividad del agua de 12.0 kg m³, cabe señalar la importancia de dicho análisis a fin de conocer la relación obtenida del rendimiento de la cosecha con el volumen total aplicado en las diferentes etapas fenológicas de los cultivos hortícolas.



Nota= T1= lámina bruta total en riego automatizado T2= lámina bruta total en riego convencional

Figura 7. Productividad del agua según los sistemas de riego en el cultivo de berenjena, UNA, Managua ,2022.

5.7. Análisis económico

Análisis de presupuesto parcial

Duarte y Arias (2007) dicen que:

El análisis económico tiene como objetivo determinar los beneficios y costos desde el punto de vista del país, la población y su impacto en la economía, de tal manera que la evaluación económica se encamina en determinar el precio económico de los factores de producción, eliminando las distorsiones existentes en el mercado y la subvaloración o sobrevaloración de los bienes en los mercados tanto nacionales como internacionales.

En el cuadro 12 se muestran los beneficios netos obtenidos para los sistemas de riego evaluados donde se observa que el tratamiento de riego automatizado obtuvo los mayores beneficios netos \$ 16 071.00. Cabe destacar que el precio de venta utilizados fue de (1.45 \$ kg) correspondiente al periodo de Julio (2022) a partir de los precios locales de los mercados. Los sistemas de riego evaluados desde el diseño hasta la instalación de campo conllevan una determinada inversión en adquisición de materiales y el gasto de mano de obra por lo que algunos de estos costos difieren en dependencia de la cantidad de materiales a utilizar por tratamiento.

Para el segundo caso en el cuadro (12) se observan los beneficios netos para el tratamiento de riego automatizado reportando los mayores beneficios netos de \$ 8 511.80. Los precios manejados del fruto de berenjena fueron de (1.40 \$ kg.), los valores mencionados son variables en relación con el mercado oferente, ante tal efecto se considera la manufacturación de los tratamientos y el costo de mano de obra por sistema de riego.

Cuadro 12. Análisis de presupuesto parcial para los tratamientos de riego convencional y automatizado, UNA, Managua, 2022.

Actividades	Tomate		Berenjena		
	Riego	Automatizado	Convencional	Automatizado	Convencional
Rendimiento total (kg ha ⁻¹)		13 766.29	12 564.91	8 608.49	8 272.27
Ajustado 10%		1 376.62	1 254.69	860.84	827.22
Rendimiento ajustado (kg ha ⁻¹)		12 389.66	11 308.42	7 747.64	7 445.04
Precio de venta (\$ kg)		1.45	1.45	1.40	1.40
Beneficio bruto en campo (\$ ha ⁻¹)		17 965.01	16 397.21	10 846.70	10 423.06
Costos variables					
Costo del sistema de riego (\$)		1 500.00	1 500.00	1 500.00	1 500.00
Costo del sistema automatizado (\$ ha ⁻¹)		300.00	0.00	300.00	0.00
Costo de instalación (\$)		94.00	333.33	94.00	333.33
Total, de costos que varían (\$ ha ⁻¹)		1 894.00	1 833.33	1 894.00	1 833.33
Beneficios netos		16 071.00	14 563.88	8 952.70	8 589.73

5.8. Relación beneficio costo para tomate y berenjena

En el cuadro (13) se observa el análisis de las utilidades y la relación beneficio costo en los tratamientos evaluados se consideró el rendimiento ajustado en kg ha⁻¹ en el cultivo de tomate. Al realizar el análisis se puede observar que el sistema de riego automatizado obtuvo las mejores utilidades y por consiguiente se obtuvo la mejor relación beneficio costo de \$ 16 071 y una relación beneficio costo de \$ 8.48. En consideración de estos resultados podemos decir que el sistema presenta un buen nivel de rentabilidad ya que, por cada dólar invertido por el productor, obtendrá el valor mencionado de ganancia.

En el cultivo de berenjena el sistema de riego automatizado obtuvo las mejores utilidades de 8 952.70 y una relación beneficio costo de 4.72 \$. Estos datos reflejan el nivel de rentabilidad de proyecto, diversos autores mencionan que los costos en proyectos agronómicos pueden diferir en dependencia de las condiciones de campo y los cultivos a evaluar.

De estos datos los que mejor resultados obtuvieron desde el punto de vista económico destacan el tratamiento de riego automatizado en el cultivo de tomate y berenjena, de tal forma Aguilera (2017) menciona que al determinar los beneficios asociados a un proyecto y sus costos se realiza una comparación que permite determinar si es una adecuada alternativa y por consiguiente si los beneficios exceden los costos es provechoso el resultado del proyecto (pág. 332).

Cuadro 13. Análisis de utilidades y relación beneficios costos, UNA, 2022.

Cultivo	Factores	Producción (kg ha ⁻¹)	Precio (\$ kg)	Ingreso (\$)	Costo de producción	Utilidades (\$)	R B/C
Tomate	Automatizado	12 389.66	1.45	17 965.01	1 894.00	16 071.00	8.48
	Convencional	11 308.42	1.45	16 397.21	1 833.33	14 563.88	7.94
Berenjena	Automatizado	7 747.64	1.40	10 846.70	1 894.00	8 952.70	4.72
	Convencional	7 445.04	1.40	10 423.06	1 833.33	8 589.73	4.68

VI. CONCLUSIONES

El riego por goteo automatizado obtuvo las mayores medias en los análisis realizados para las variables de altura, número de hojas y diámetro del tallo en el cultivo de tomate mientras que en el cultivo de berenjena el tratamiento de riego automatizado presentó las mayores medias en los dos momentos. Para las variables de diámetro polar y ecuatorial el tratamiento automatizado reportó las mayores medias en relación con los dos cultivos evaluados, de igual manera ocurrió con los rendimientos totales, el tratamiento de riego automatizado reportó medias de 12 389.66 kg ha⁻¹ en tomate y 7 747.64 kg ha⁻¹ en el cultivo de berenjena.

El tratamiento de riego automatizado mostró mayor productividad del agua en el cultivo de tomate con valores de (20.35 kg m³), mientras que en el cultivo de berenjena el riego automatizado reportó la mayor productividad del agua con valores de (14.43 kg m³) en relación con el riego por goteo convencional.

El tratamiento de riego automatizado obtuvo los mejores beneficios netos en el cultivo de tomate y berenjena con valores reportados de (\$ 16 071.00 y 8 952.70) y la mejor relación beneficios costos (\$ 8.48 y 4.72) en relación con el tratamiento de riego convencional.

VII. RECOMENDACIONES

- Implementar el uso de más sensores de humedad en el sistema de riego para mejorar el registro de datos en el área de campo.
- Verificar el estado y funcionamiento de los instrumentos del sistema de riego automatizado (tarjeta arduino, válvula solenoide) para depurar posibles fallos en la operación del riego.
- Realizar estudios en condiciones controladas de invernadero para disminuir las afectaciones por plagas y enfermedades.
- Implementar el uso del sensor en las diferentes áreas de siembra para evaluar el efecto de la radiación solar en la efectividad del sistema.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aguilera Díaz, A. (2017). *El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas*. Cofín Habana 11(2).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid
- Aguirre, E., Hernández, O., Hernández, P., Lazcano, J., Ibarra, V., y López, M. (2020). *Circuito eléctrico*. Logos Boletín Científico de la Escuela Preparatoria. Archivo Digital. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa2/article/view/5166/>
- Amador Ortega, K.A. (2020). *Riego por goteo convencional y automatizado en la producción de tomate (Solanum lycopersicum L.), a campo abierto*, [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional <https://repositorio.una.edu.ni/4313/1/tnf06o77.pdf>
- Andrades Chavarría, D. Y Loaisiga Jarquín, F. (2013). *Evaluación del crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (lycopersicum esculentum Mil) variedad Shanty en tres distancias de siembra, en condiciones de casa malla* [Trabajo de Graduación Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional <https://repositorio.una.edu.ni/3157/1/tnf01a553.pdf>
- Barría, H. (2020). *Elementos de un sistema de riego automático básico*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/>
- Bustamante Ochoa, H. (2020). *Efecto de la poda con dos distanciamientos de siembra en el cultivo de berenjena (solanum melongena) En el Canton Milagro* [Tesis de pregrado Universidad Agraria del Ecuador]. Archivo Digital [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BUSTAMANTE%20OCHOA%](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BUSTAMANTE%20OCHOA%20)
- Calvo, L. (2005). *Métodos de Riego*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. <https://isbn.cloud/9789968942218/metodos-de-riego/>
- Cerda, D. (2016). *Diseño de un sistema de bombeo automatizado y alimentado con energía fotovoltaica para el cultivo de cítricos en la finca “El Santiago” ubicada en el municipio de la concepción Masaya* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://core.ac.uk/download/80118124.pdf>
- Chamarro, L.J. (2001). Anatomía y fisiología de la planta de tomate .Editorial Mandí Prensa .Madrid España. Pp 47-48
- Chávez Pérez, C. Y Rojas Laguna, J. (2016). *Caracterización de cuatro cultivares de tomate (solanum lycopersicum L) en casa malla en el centro experimental las Mercedes-UNA 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria] <https://repositorio.una.edu.ni/3409/1/tnf30ch512c.pdf>
- Chemomics International. (2008). Programa de diversificación hortícola <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01CH517t.pdf>
- Coronado., Torres, J., Álvarez, E., Jiménez, N., Pinto, M., Molano, P., y Bonilla, H. (2015). Manejo tecnológico del cultivo de berenjena para la región del Caribe. *Siembra*. 7(2), https://www.researchgate.net/publication/330365485_Modelo_tecnologico_del_cultivo_de_berenjena_para_la_region_Caribe/
- Duarte, T. Y Arias, R. (2007). *Análisis económicos de proyectos de inversión*. Revistas científicas de América Latina, 13(2), 333-338 <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903558.pdf>

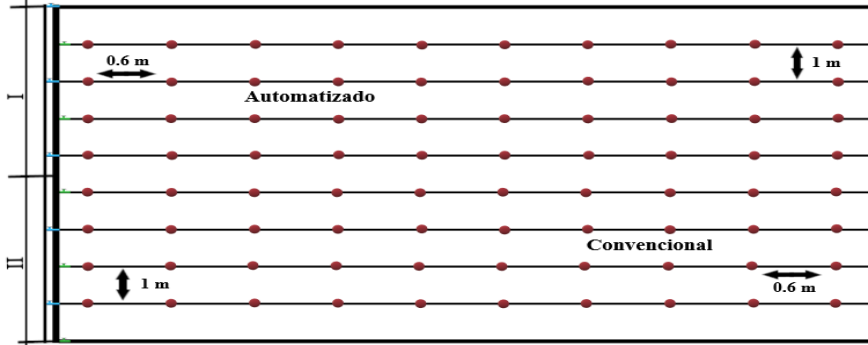
- Escobar, H. Lee, R. (2009). *Manual de tomate bajo invernadero*. Centro de investigaciones y asesorías agroindustriales. (2.ed.)
<https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication>
- FAO (2013). *El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y perubiana* <https://www.fao.org/3/i3359s/i3359s.pdf>
- FAO. (2002). *El cultivo protegido en el clima mediterráneo*. Dirección de producción vegetal
<https://www.fao.org/3/s8630s/s8630s00.htm#Contents>
- FAO. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas en el mundo para la Agricultura*
<https://www.fao.org/3/i1688s/i1688s.pdf>
- FAO. (2022). *Conservación de suelos y agua en América latina y el caribe*
<https://www.fao.org/americas/p4rioridades/suelo-agua/es/>
- Federes. (2000). *Avances recientes en la programación de los riegos*. Ingeniería del Agua.
<https://doi.org/10.4995/ia.2000.2836>
- Fernández, R., Camacho, F. (2005). *Eficiencia en el uso del agua*
<https://www.researchgate.net/publication/259812941>
- Fornaris, J.G. (2007). *Conjunto tecnológico para la producción de tomate*. Estación Experimental Agrícola <ht://www.uprm.edu/eea/wp-content/uploads/sites/tps>
- Global Water Patnership (2017). *La situación de los recursos hídricos en Centroamérica*. (p.17) [situacion-de-los-recursos-hidricos_fin.pdf](#)
- Gonzales R, F; Herrera, P, J, y López, S, T. (2010). *Análisis de productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de la Habana*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias ,19 (1):95-97.
- Gonzales Vidal, J.C. (2013) *.Desarrollo de un servidor web con Arduino para monitorización y control de sensores y actuadores* [Proyecto especial, Universidad Politécnica de Cartagena]
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3797/pdf>
- Gutiérrez Sandoval, W. A., González Madrigal, C.A. (2009). *Evaluación de cuatro variedades de tomate industrial (Lycopersicum Esculemtum Mill) en el rendimiento y tolerancia al complejo mosca blanca (Bemisia Tabaci Gennadius) Geminivirus*. [Tesis de pregrado Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional
<https://repositorio.una.edu.ni/2092/1/tnf30g984c.pdf>
- Hernández Ángeles, J.M. (2019). *Algunos aspectos de diseño, operación, mantenimiento y evaluación de los Sistemas de riego por goteo*. Serie Agua y Riego. artículos técnicos de INTAGRI. México. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego>
- Hernández Díaz, J. (2019). *Ensayo agronómico de tres cultivares de berenjena (solanum melongena L) en invernadero* [Trabajo especial Universidad de la Laguna]. Archivo Digital
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/17168/TFGJonay%20Hern%C3>
- INFOAGRONOMO. (2018). *Guía técnica para el cultivo de berenjena*
<https://infoagronomo.net/guia-tecnica-cultivo-de-berenjena/>
- INFORIEGO (2016). *Productividad del agua de riego*
<https://www.inforiego.org/opencms/op>

- INTA. (2021). *Manual de manejo postcosecha tomate*. <https://inta.gob.ni/manual-postcosecha-de-tomate/>
- INTAGRI. (2021). *El cultivo de berenjena*. Serie Hortalizas. México. 6p <https://www.intagri.com/biblioteca>
- INTAGRI. (2022). *Monitoreo del crecimiento en tomate*. Serie de horticultura protegida Num.47 Artículos Técnicos de INTAGRI. Mexico.4p <https://www.intagri.com/biblioteca>
- Jiménez Cano, M. (2006). *Modificación de las demandas evapotranspirativas de cultivos hortícolas con riego superficial*. Centro de investigación en química aplicada <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/478/1>
- Liotta, M. (2000). *Evaluación de equipos de riego presurizado*. INTA san juan <https://inta.gob.ar/sites/default/files/>
- López Marín, L. (2016). *Manual técnico del cultivo de tomate solanum lycopersicum*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Maradiaga Rodríguez, D.C.(2008). *Estudio de la situación actual de la producción y exportación de berenjena (solanum melongena) y pepino peludo (cucumis sativus)* [Proyecto especial, Universidad Zamorano] <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams>
- Martínez Mendoza, A. E. (2013). *Riego por goteo*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdoba https://www.academia.edu/7433003/Riego_por_Goteo_2013
- Martínez, S. (2006). *Conjunto tecnológico para la producción de berenjena*. Estación Experimental agrícola <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/>
- Medina Gómez, M. L. (2020). *Evaluación de portainjertos de tomate y berenjena para el manejo de Ralstonia solanacearum* [Smith (1986) Yabuuchi et al.,2016] <https://repositorio.una.edu.ni/4074/1/tnf02m491.pdf>
- MINAGRI. (2017). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/>
- Monardes Hernán, M. (2009). *Manual del cultivo de tomate (lycopersicum esculentum)*. Nodo agrícola <http://www.hortyfresco.uchile.cl/docs/manuales>
- Montenegro, Y. Montenegro, J. (2018). *Diseño didáctico de un convertidor CD-CA monofásico de baja frecuencia ajustable*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería] <https://ribuni.uni.edu.ni/1957/1/40050.PDF>
- Moyano, J. (2005). *Referencia de tensión y reguladores de tensión*. Curso de ingeniería en telecomunicación https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_6.pdf
- OIRSA (2005). *Manual técnico cultivo ecológico de berenjena*. San Salvador, <https://elibro.net/es/ereader/unanicaragua/35231?page=11>
- Palacios Bustos, D. A. (2017). *Propuesta de un sistema de control y automatización con administración remota a través de un Smartphone para el riego del cultivo de lechuga*

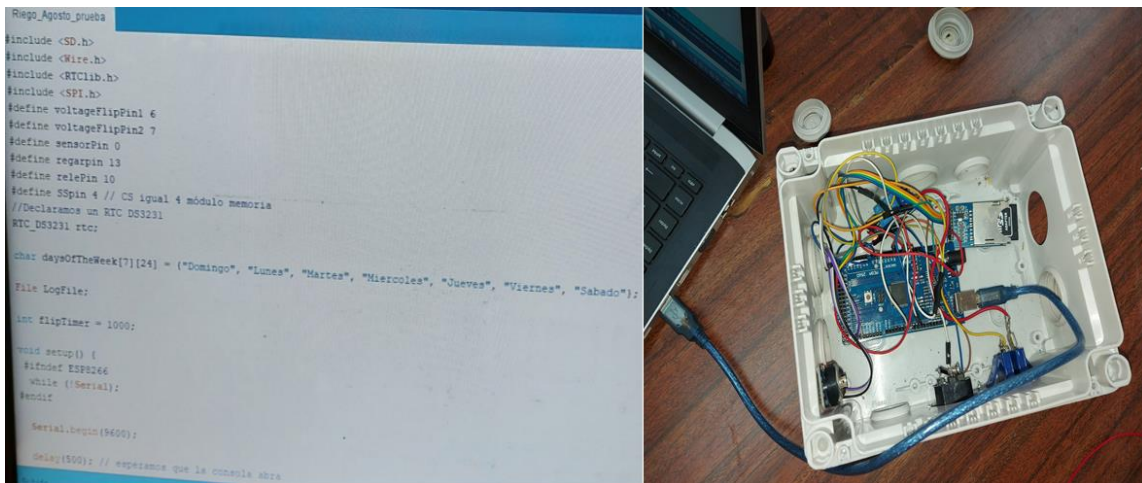
- en la finca los Almendros* departamento de Jinotega. [Tesis de pregrado Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/8246/1/97476.pdf>
- Pinto Jaramillo, A.H. (2015). *Comportamiento agronómico de las hortalizas de fruto de berenjena (Solanum Melongena) y pepino (cucumis sativus) con dos fertilizantes orgánicos en el centro experimental “la playita” de la Universidad Técnica de Cotopaxi.* [Tesis de grado Universidad Técnica de Cotopaxi]. Archivo digital. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3519/1/T-UTC-00796.pdf>
- Rayo M. 2001. *Caracterización biológica transmitida por mosca blanca (Bemisia tabaci 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, G., Torres, C., Maila, P., y Zambrano, M. (2018) *Sistema de riego automatizado con Arduino.* Espacios, 39 (37), pag.27
- Ruano, S.; Sánchez, I. (2002). *Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería: Hortalizas aprovechables por sus frutos.* Grupo OCEANO. Barcelona, ES. MMII editorial OCEANO. 636p.
- Salmerón, F., Y García, L. (1994). *Fertilidad y fertilización de suelo Universidad Nacional Agraria.* Managua Nicaragua. P 141.
- Torres P., Andrea (2017). *Manual de cultivo del Tomate al aire libre* [en línea]. La Cruz, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. [:https://hdl.handle.net/20.500.14001/6707](https://hdl.handle.net/20.500.14001/6707)
- Trejo, C. (2007). *El cultivo del Tomate Lycopersicon esculentum Mill.* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria] <Http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123>
- Velásquez Mendoza, R., Vallejo, P., y Wong, C.J. (2012). *Variables de producción de tres selecciones de jitomate de costilla (solanum lycopersicum L).* *Chapingo.* 18 (3), 377-381. <https://pdfs.semanticscholar.org/fb79/83c09f539d0ca72f86e4e0fecdb1c560f67a.pdf>
- Velásquez, M. (2020). *Desarrollo de un sensor de humedad de suelo para sistemas de riego automatizados.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]
- Villarroya, M. (2009). *Caracterización Morfológica y Genotipado de una población interespecífica de solanum incanum x solanum Melongena L.* [Tesis de postgrado, Universidad Politécnica de Valencia] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12030/TESIS%>
- Villavillencio, A., Y Villablanca, A. (2010). *Determinación del coeficiente de uniformidad de riego* [En línea] Arica: Informativo INIA Ururi <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/4356>
- Zambrano Vega, N., Y Arriaga Urquía, R. (2014). *Evaluación de cintas de riego por goteo en dos condiciones de baja presión.* [Tesis de pregrado, Universidad Zamorano] <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e3c74d43-f904-45a2-b882>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Plano de los tratamientos de riego convencional y automatizado, Regen, UNA, 2022.



Anexo 2. Construcción del algoritmo de programación de Arduino



Anexo 3. Componentes del sistema de riego automatizado



Anexo 4. Valores de coeficiente de uniformidad en riego automatizado

Riego	Muestra	Tiempo(min)	Volumen(ml)	Q (L/h)
Auto	1	20	146	1.31
Auto	2	20	142	1.27
Auto	3	20	132	1.18
Auto	4	20	126	1.13
Auto	5	20	126	1.13
Auto	6	20	126	1.13
Auto	7	20	124	1.11
Auto	8	20	124	1.11
Auto	9	20	122	1.09

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

$$CUC = \frac{1.11}{1.29} * 100$$

$$CUC = 86.04\%$$

Anexo 5. Valores de coeficiente de uniformidad en riego convencional

Riego	Muestra	Tiempo(min)	Volumen (ml)	Q(L/h)
Conv	1	20	164	1.47
Conv	2	20	164	1.47
Conv	3	20	164	1.47
Conv	4	20	163	1.46
Conv	5	20	162	1.45
Conv	6	20	162	1.45
Conv	7	20	140	1.26
Conv	8	20	124	1.11
Conv	9	20	124	1.11

$$CUC = \frac{1.23}{1.36} * 100$$

$$CUC = 90.44 \%$$

Anexo 6. Muestreo de variables de crecimiento en el cultivo de tomate y berenjena, Regen, UNA, 2022



Anexo 7. Medición de variables de rendimiento y cosecha en berenjena Belleza Negra



Anexo 8. Medición de variables de rendimiento y cosecha en tomate INTA JL-5



Anexo 9. Cálculo de lámina de riego para el cultivo de tomate (*solanum lycopersicum* L) y berenjena (*solanum melongena* L) en el Regen, UNA, 2022 (0-30 ddt).

Datos generales

$$Da = 1.27 \text{ g/cm}^3$$

$$CC = 31.38 \%$$

$$PMP = 12.91 \%$$

$$\Delta H = 15\text{cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$El = 1 \text{ m}$$

$$Ee = 20\text{cm} = 0.20 \text{ m}$$

$$Lp = 60\% \text{ CC} \leftrightarrow Lp = 18.82\%$$

$$E_o = 90\%$$

$$q_e = 1 \text{ litros/horas}$$

$$Kc = 0.45 \text{ valor inicial}$$

Sistema de Riego por goteo

Lámina neta (*ln*)

$$Ln = 100 \times \Delta H \times Da \times (CC - Lp)$$

$$Ln = 100 \times 0.15\text{m} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times (31.38 \% - 18.82\%)$$

$$Ln = 239.268\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \div 10$$

$$Ln = 23.92 \text{ mm}$$

Lámina bruta (*lb*)

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

$$Lb = \frac{23.92\text{mm}}{0.90}$$

$$Lb = 26.58\text{mm}$$

Intensidad de aplicación (Ia)

$$Ia = \frac{Qe}{Es \times Ee}$$

$$Ia = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{horas}}{1 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}}$$

$$Ia = 0.005 \text{ m}/\text{horas} \times 1000$$

$$Ia = 5 \text{ mm}/\text{horas}$$

Tiempo de riego (Tr)

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

$$Tr = \frac{26.58 \text{ mm}}{5 \text{ mm}/\text{horas}}$$

$$Tr = 5.34 \text{ horas}$$

$$Tr = 5 \text{ hrs con } 21 \text{ min}$$

Intervalo de riego (Ir)

$$Ir = \frac{Lb}{Eto \times Kc}$$

$$Ir = \frac{26.58 \text{ mm}}{\frac{9 \text{ mm}}{\text{día}} \times 0.45}$$

$$Ir = 6.56 = 7 \text{ días}$$

Anexo 10. Cálculo de lámina de riego para el cultivo de tomate (*solanum lycopersicum L*) y berenjena (*Solanum Melongena L*) en el Regen, UNA, 2022 (30-70 ddt).

Datos generales.

$$Da = 1.27 \text{ g/cm}^3$$

$$CC = 31.38 \%$$

$$PMP = 12.91 \%$$

$$\Delta H = 30\text{cm} = 0.30 \text{ m}$$

$$El = 1 \text{ m}$$

$$Ee = 20\text{cm} = 0.20 \text{ m}$$

$$Lp = 60\% \text{ CC} \leftrightarrow Lp = 18.82\%$$

$$E_o = 0.90\%$$

$$q_e = 1 \text{ litros/horaas}$$

$$Kc = 0.75$$

Lámina neta (*ln*)

$$Ln = 100 \times \Delta H \times Da \times (CC - Lp)$$

$$Ln = 100 \times 0.30\text{m} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times (31.38 \% - 18.82\%)$$

$$Ln = 478.536. \text{ ha}^{-1} \div 10$$

$$Ln = 47.85 \text{ mm}$$

Lámina bruta (*lb*)

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

$$Lb = \frac{47.85\text{mm}}{0.90}$$

$$Lb = 53.16\text{mm}$$

Intensidad de aplicación (Ia)

$$Ia = \frac{Qe}{Es \times Ee}$$

$$Ia = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{horas}}{1 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}}$$

$$Ia = 0.005 \text{ m}/\text{horas} \times 1000$$

$$Ia = 5 \text{ mm}/\text{horas}$$

Tiempo de riego (Tr)

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

$$Tr = \frac{53.16 \text{ mm}}{5 \text{ mm}/\text{horas}}$$

$$Tr = 10.63 \text{ horas}$$

$$Tr = 10 \text{ hrs con } 38 \text{ min}$$

Intervalo de riego (Ir)

$$Ir = \frac{Lb}{Eto \times Kc}$$

$$Ir = \frac{53.16 \text{ mm}}{\frac{7 \text{ mm}}{\text{día}} \times 0.75}$$

$$Ir = 5.6 = 6 \text{ días}$$

Anexo 11. Cálculo de lámina de riego para el cultivo de tomate (*solanum lycopersicum* L) y berenjena (*Solanum melongena* L) en el Regen, UNA, 2022 (70-120 ddt).

Datos generales

$$Da = 1.27 \text{ g/cm}^3$$

$$CC = 31.38 \%$$

$$PMP = 12.91 \%$$

$$\Delta H = 30\text{cm} = 0.30\text{m}$$

$$El = 1 \text{ m}$$

$$Ee = 20\text{cm} = 0.20 \text{ m}$$

$$Lp = 60\% \text{ CC} \leftrightarrow Lp = 18.82\%$$

$$E_o = 90\%$$

$$q_e = 1 \text{ litros/horas}$$

$$Kc = 0.80 \text{ valor final}$$

Lámina neta (*ln*)

$$Ln = 100 \times \Delta H \times Da \times (CC - Lp)$$

$$Ln = 100 \times 0.30\text{m} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times (31.38 \% - 18.82\%)$$

$$Ln = 478.536\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \div 10$$

$$Ln = 47.85 \text{ mm}$$

Lámina bruta (*lb*)

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

$$Lb = \frac{47.85\text{mm}}{0.90}$$

$$Lb = 53.16 \text{ mm}$$

Intensidad de aplicación (Ia)

$$Ia = \frac{Qe}{Es \times Ee}$$

$$Ia = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{horas}}{1 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}}$$

$$Ia = 0.005 \text{ m}/\text{horas} \times 1000$$

$$Ia = 5 \text{ mm}/\text{horas}$$

Tiempo de riego (Tr)

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

$$Tr = \frac{53.16 \text{ mm}}{5 \text{ mm}/\text{horas}}$$

$$Tr = 10.63 \text{ horas}$$

$$Tr = 10 \text{ hrs con } 38 \text{ min}$$

Intervalo de riego (Ir)

$$Ir = \frac{Lb}{Eto \times Kc}$$

$$Ir = \frac{53.16 \text{ mm}}{\frac{9 \text{ mm}}{\text{dia}} \times 0.80}$$

$$Ir = 7.38 = 7 \text{ días}$$

Anexo 12. Tabla de fechas de apertura y cierre de electroválvula en módulo Arduino SD

Sistema	Abierto (mV)	Cerrado (mV)	Fecha	Tiempo
Automatizado	600	950	27/02/2022	1.53 h
			28/02/2022	
Automatizado	600	950	01/03/2022	1.53 h
			02/03/2022	
Automatizado	600	950	04/03/2022	1.53 h
			05/03/2022	
Automatizado	600	950	06/03/2022	1.53 h
			07/03/2022	
Automatizado	600	950	08/03/2022	1.53 h
			09/03/2022	
Automatizado	600	950	10/03/2022	1.53 h
			11/03/2022	
Automatizado	600	950	12/03/2022	1.53 h
			13/03/2022	
Automatizado	600	950	14/03/2022	1.53 h
			15/03/2022	
Automatizado	600	950	16/03/2022	1.53 h
			17/03/2022	
Automatizado	600	950	18/03/2022	1.53 h
			19/03/2022	
Automatizado	600	950	20/03/2022	1.53h
			21/03/2022	
Automatizado	600	950	22/03/2022	1.53 h
			23/03/2022	
Automatizado	600	950	24/03/2022	1.53 h

			25/03/2022	
Automatizado	600	950	26/03/2022	1.53 h
			27/03/2022	
Automatizado	600	950	28/03/2022	1.53 h
			29/02/2022	
Automatizado	600	950	30/31/2022	1.53 h
			31/03/2022	
Automatizado	600	950	1/04/2022	1.53 h
			2/04/2022	
Automatizado	600	950	3/04/2022	1.53 h
			4/04/2022	
Automatizado	600	950	5/04/2022	1.53 h
			6/04/2022	
Automatizado	600	950	8/04/2022	1.53 h
			9/04/2022	
Automatizado	600	950	10/04/2022	1.53 h
			11/04/2022	
Automatizado	600	950	12/04/2022	1.53 h
			13/04/2022	
Automatizado	600	950	14/04/2022	1.53 h
			15/04/2022	
Automatizado	600	950	16/04/2022	1.53 h
			17/04/2022	
Automatizado	600	950	18/04/2022	1.53 h
			19/04/2022	
Automatizado	600	950	20/04/2022	1.53 h

Anexo 13. Cálculo de productividad del agua en el cultivo de tomate y berenjena (kg.m³)

Cultivo	Factores	Niveles	Lb total (m ³)	Lb total (m ³ . ha ⁻¹)	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Wp(kg.m ³)
Tomate	Automatizado	L total	2.86	343.08	2239.38	6.53
		L total	2.86	343.08	6980.45	20.35
	Convencional	L total	2.86	343.08	4546.46	13.25
		L inic	2.658	318.96	1975	6.19
		L desa	5.316	637.92	6343.07	9.94
		L final	5.316	637.92	4246.84	6.66
Berenjena	Automatizado	L total	2.859	343.08	4970.72	14.49
		L total	2.859	343.08	4485.04	13.07
	Convencional	L inic	2.658	318.96	3827.94	12.0
		L desa	5.316	637.92	3837.77	6.0

Anexo 14. Elementos utilizados en el sistema de riego por goteo automatizado

Elementos secundarios de riego automatizado	Unidad	Potencia
Panel fotovoltaico	1	30 W
Regulador de corriente	1	12 V
Batería 12 v	1	50 Ah
Inversor de corriente	1	720 W
Cable No 6	2	110 V
Cable dúplex No 12	1	5 V
Soporte de panel	1	.
Multímetro digital CA	1	1000V