



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Evaluación de tres láminas de riego por goteo
(superficial y subsuperficial) y surco en el cultivo de
chiltoma (*Capsicum Annuum* L.) Cv Tres Cantos, La
Pava, Pueblo Nuevo, Estelí, 2021-2022

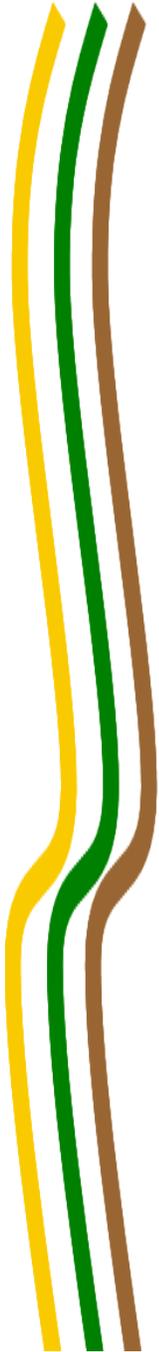
Autor

Br. Efrin José Laguna González

Asesores

MSc. Henry Duarte Canales
Ing. Yader Maykel Barrera
MSc. Néstor Castellón Pineda

Managua, Nicaragua
Abril, 2022





“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Evaluación de tres láminas de riego por goteo
(superficial y subsuperficial) y surco en el cultivo de
chiltoma (*Capsicum Annuum* L.) Cv Tres Cantos, La
Pava, Pueblo Nuevo, Estelí, 2021-2022

Autor

Br. Efrin José Laguna González

Asesores

MSc. Henry Duarte Canales
Ing. Yader Maykel Barrera
MSc. Néstor Castellón Pineda

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

Managua, Nicaragua
Abril, 2022

Hoja de aprobación del Comité Evaluador

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

Ingeniero Agrícola

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Norland Antonio Méndez Zelaya
Presidente

Ing. Elvin Lagos Pérez
Secretario

Mp. Álvaro Gadea Martínez
Vocal

Lugar y Fecha: Sala Magna FAGRO, 19 de abril 2022

|

DEDICATORIA

Dedico este logro alcanzado:

A Dios por permitirme la vida, la salud, la sabiduría y las fuerzas para culminar mis estudios universitarios y sobre todo este trabajo haciéndome capaz de enfrentar las diversas adversidades y retos durante el transcurso de mi carrera.

A mi padre Sr. José Vicente Laguna Trujillo por su apoyo tan incondicional, espiritual, moral y financiero, como también por sus buenos valores que me ha enseñado en los diferentes aspectos de la vida.

A mi madre Sra. Alma Iris González Laguna por sus buenos y sabios consejos, por su amor real, verdadero que me brinda en los malos y buenos momentos de mi vida.

A mis hermanos: Hazbell Laguna e Iris Laguna, los cuales me brindaron de su compañía y cariño en todo el proceso de mi carrera.

A mis abuelos, tíos, primos, a mi novia, amistades y profesores que de alguna manera me brindaron de su apoyo sincero, ayuda que fue fundamental en todo el transcurso de mi carrera universitaria.

Br. Efrin José Laguna González

AGRADECIMIENTO

A Dios en especial sobre todas las cosas, a mis padres por su bondad y cariño por ayudarme a cumplir este logro alcanzado, a mis hermanos, a mi compañero y amigo Judeyner Aguirre que fue participe también de este logro.

A mis asesores MSc. Henry Alberto Duarte Canales, Ing. Yader Maykel Barrera y MSc. Néstor Castellón Pineda por confiarme este trabajo y por brindarme sus valiosas sugerencias, aportes y observaciones para dar por culminado este trabajo de investigación.

A los productores que se encuentran vinculados en el proyecto cosecha de agua, por la disposición y el empeño que presentaron en todo el trascurso del trabajo en campo y al proyecto del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE/COUSUDE) junto con la Universidad Nacional Agraria (UNA), por abrir un campo de investigación, a la vez darme la oportunidad de participar en el proyecto de cosecha de agua en la zona seca del país (Pueblo Nuevo), que con el mismo me permite el privilegio de realizar mi investigación y de esta manera culminar con mis estudios.

A los docentes de la Universidad Nacional Agraria, quienes me compartieron de sus conocimientos, a todos mis compañeros y amistades con quienes pude compartir momentos buenos y agradables durante mis estudios en la Universidad.

Br. Efrin José Laguna González

INDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos Específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Aspectos generales del cultivo	4
3.2. Sistemas de cosecha de agua	7
3.3. Riego localizado	8
3.4. Riego por goteo	9
3.5. Riego por surco	10
3.6. Parámetros de riego	11
3.7. Perdidas de carga en un sistema	14
V. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1. Ubicación del área de estudio	15
4.2. Condiciones edafoclimáticas	15
4.3. Diseño metodológico	17
4.4. Descripción de los tratamientos	17
4.5. Manejo agronómico	18
4.6. Parámetros de riego	19
4.7. Parámetros de riego por surco	22
4.8. Pérdidas de cargas por el método de Hazen Willians (1905)	23
4.9. Análisis de productividad del agua (kg m^{-3})	25
4.10. Variables de crecimiento	25
4.11. Variables de rendimiento	25
4.12. Recolección de datos	26
4.13. Análisis de datos	26
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5.1. Velocidad de infiltración del agua en el suelo	27
5.2. Parámetros de riego	27
5.3. Pérdidas de carga en sistema	29

5.4.	Volumen de agua total aplicado en el ciclo vegetativo del cultivo	30
5.5.	Volumen de agua disponible en la cosecha de agua	31
5.6.	Análisis de productividad de agua (kg m ³)	31
5.7.	Efectos principales en variables de crecimiento	33
5.8.	Efecto de los tratamientos en las variables de crecimiento	34
5.9	Efectos de los tratamientos variables de frutos por plantas	36
5.10	Efecto de los tratamientos Longitud de fruto y Diámetro de fruto	37
5.11	Efecto de los tratamientos sobre el Rendimiento (kg ha ⁻¹)	38
5.12.	Análisis económico	39
VI.	CONCLUSIONES	43
VII.	LITERATURA CITADA	44
VIII.	ANEXOS	48

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Análisis físico-químico del suelo, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022	16
2	Descripción y manejo de los tratamientos, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022	18
3	Velocidades de infiltración y clases de infiltración pertinentes	21
4	Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales	24
5	Láminas de riego para la etapa inicial de 0 – 30 días, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022	28
6	Láminas de riego para la etapa media 30 – 60 días, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022	28
7	Láminas de riego para la etapa final 60 – 90 días, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022	29
8	Pérdidas de carga en todo el sistema del área en estudio, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022	30
9	Cálculo del volumen de agua aplicado en los tratamientos para todo el ciclo vegetativo, finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022	31
10	Volumen total disponible de la cosecha de agua, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022	31
11	Caracterización estadística en variables de crecimiento en los efectos principales en el cultivo de chiltoma, La Pava, municipio de Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022	34
12	Caracterización estadística en variables de crecimiento en los efectos de los tratamientos en el cultivo de chiltoma, La Pava, municipio de Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022	35
13	Caracterización estadística en variables de crecimiento en los efectos de los tratamientos en el cultivo de chiltoma, La Pava, municipio de Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022	36
14	Caracterización estadística en variables de frutos en los efectos de los tratamientos en el cultivo de chiltoma, La Pava, municipio de Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022	37
15	Caracterización estadística en variables de frutos en los efectos de los tratamientos en el cultivo de chiltoma, La Pava, municipio de Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022	38
16	Caracterización estadística en variables de rendimiento kg ha ⁻¹ en los efectos de los tratamientos en el cultivo de chiltoma, La Pava, municipio de Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022	39
17	Análisis de presupuesto parcial de los tratamientos evaluados, 2022	41
18	Análisis de utilidades y relación beneficio costo, 2022	42

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Tipos de riego: a) riego por goteo superficial, b) riego por goteo subterráneo, c) riego por surcos (Fuente: Demin, 2014)	11
2	Ubicación del área de estudio, Finca La esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022	15
3	Condiciones climáticas de la zona en estudio Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022 (Fuente: Weather Spark, 2022)	16
4	Velocidad de infiltración e infiltración acumulada. Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022	27
5	Productividad del agua según los sistemas de riego evaluados en el cultivo de chiltoma La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2021 - 2022	32

INDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Cálculo de la curva de infiltración	48
2	Cálculos de láminas de riego	52
3	Cálculos de pérdidas de carga en el sistema	62
4	Cálculos de la cosecha de agua	65
5	Cálculos de pérdidas de agua por evapotranspiración	65
6	Cálculos de análisis de productividad del agua (kg m ³)	66
7	Pruebas de infiltración y muestreo de suelo	66
8	Limpieza de maleza dentro de las parcelas experimentales	66
9	Sistemas de riego evaluados en las parcelas experimentales	67
10	Medición de variables agronómicas	67
11	Cosecha de chiltoma obtenida de las parcelas experimentales	67

RESUMEN

El Corredor Seco de Nicaragua es una de las regiones con mayor vulnerabilidad a los efectos de la variabilidad y el cambio climático, que durante el periodo de lluvia se presentan cambios en la distribución de las precipitaciones, que por tales razones la tecnología de cosecha de agua es una alternativa que permite a los pequeños y medianos productores de la zona producir con seguridad en los sistemas productivos ya que disponen de recursos hídricos. Por tanto, esta investigación se llevó a cabo con el propósito de evaluar tres láminas de riego por goteo (superficial y subsuperficial) y surco en el cultivo de chiltoma (*Capsicum Annumm L*) La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2021 – 2022. El experimento se estableció en una parcela productiva con un área de 432 m², en el cual se estableció un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA), con un arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones, para realizar el muestreo de las 12 plantas por parcela útil. A todas las variables se le realizó un ANDEVA y separación de medias según DUNCAN ($\alpha= 0.05$). Las variables de crecimiento se vieron afectadas estadísticamente, el sistema de riego por goteo superficial superó a los demás sistemas con un rendimiento promedio de 1 801.64 a 2 041.40 kg ha⁻¹, segundo lugar el sistema de riego por goteo subsuperficial con 1 718.12 a 1 956.58 kg ha⁻¹ y el sistema de riego por surcos con 1 717.37 a 1 818.28 kg ha⁻¹, en cambio el riego por goteo subsuperficial mostró la mayor productividad del agua en su lámina inferior con 2.54 kg m³, y con el riego por goteo superficial y subsuperficial se obtuvieron los mayores beneficios netos en la lámina óptima y lámina inferior (\$ 1 250.23 y \$ 1 132.75), con la lámina inferior y lámina superior (\$1 137.56 y \$ 1 081.89) y por ende una mayor relación beneficio costo en el sistema de riego por goteo superficial (\$ 1.28 con la lámina óptima) y riego subsuperficial (\$ 1.14 con la lámina inferior), con relación al riego por surco.

Palabras clave. Cosecha de agua, sistema de riego, rendimiento, productividad del agua

ABSTRACT

The Dry Corridor of Nicaragua is one of the regions with the greatest vulnerability to the effects of variability and climate change, which during the rainy season changes in the distribution of rainfall, which for these reasons the technology of water harvesting is an alternative that allows small and medium-sized producers in the area to produce safely in production systems since they have water resources. Therefore, this research was carried out with the purpose of evaluating three sheets of drip irrigation (surface and subsurface) and furrow in the cultivation of chiltoma (*Capsicum Annumm L*) La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2021 - 2022. The experiment was established in a productive plot with an area of 432 m², in which a Completely Random Block (BCA) design was established, with an arrangement in divided plots and three repetitions, to carry out the sampling of the 12 plants per useful plot. All variables underwent an ANOVA and mean separation according to DUNCAN ($\alpha=0.05$). The growth variables were affected statistically, the surface drip irrigation system surpassed the other systems with an average yield of 1,801.64 to 2,041.40 kg ha⁻¹, second place was the subsurface drip irrigation system with 1,718.12 to 1 956.58 kg ha⁻¹ and the furrow irrigation system with 1 717.37 to 1 818.28 kg ha⁻¹, instead the subsurface drip irrigation showed the highest water productivity in its lower layer with 2.54 kg m³, and with the irrigation by Superficial and subsurface dripping, the greatest net benefits were obtained in the optimal layer and lower layer (\$ 1,250.23 and \$ 1,132.75), with the lower layer and upper layer (\$ 1,137.56 and \$ 1,081.89) and therefore a higher benefit-cost ratio. in the surface drip irrigation system (\$ 1.28 with the optimal layer) and subsurface irrigation (\$ 1.14 with the lower layer), in relation to furrow irrigation.

Keywords. Water harvesting, irrigation system, yield, water productivity

I. INTRODUCCIÓN

Orellana *et al.*, (2004), afirma que:

La chiltoma (*Capsicum annum* L.), pertenece a la familia de las solanáceas, es una planta herbácea, de ciclo anual que varía entre los 65 a 110 días dependiendo la variedad, alcanza los 0.5 metros de altura en campo abierto y hasta dos metros gran parte de los híbridos en condiciones protegida. En la época precolombina la chiltoma se difundió por la mayor parte del continente americano y durante los siglos XV y XVI los colonizadores españoles y portugueses la llevaron a Europa, África y Asia (p.8).

Laguna *et al.*, (2004), mencionan que:

En Nicaragua la chiltoma es cultivada principalmente por los pequeños y medianos productores, quienes siembran parcelas de 0.3 hectárea, hasta áreas de tres o cuatro hectáreas, en un sistema de monocultivo, destinadas para los mercados locales, siendo una fuente de ingresos para éstos (p.4).

El Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (2017), refiere que:

El Corredor Seco de Nicaragua es una de las regiones con mayor vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático, esto tiene un significado de periodos secos más extensos que se intensifican cuando está presente el fenómeno de El Niño, reduciéndose las lluvias entre un 40 % y 60 % como ha ocurrido durante 2014 y 2015. Todo esto se traduce en altos niveles de inseguridad alimentaria de zonas rurales provocado por una disponibilidad alimentaria insuficiente e inestable, baja capacidad adquisitiva y un comportamiento alimentario inadecuado (p.8).

El ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2010), afirma que “El almacenamiento de agua en reservorios permite tener, al productor agropecuario, un suministro de agua de buena calidad en el verano o durante las sequías o veranillos que se presentan en invierno” (p.3).

Según Bendaña (2012), aduce que:

En la zona seca, una de las prioridades es el agua para la agricultura (riego), que dependerá en gran parte de la disponibilidad del recurso para ponerla en práctica, algo muy difícil en las zonas secas que se caracterizan por no disponer de agua subterránea y por contar con pocos ríos para el riego agrícola. No obstante, existen áreas de riego a pequeña escala para agricultura y pastos (p.22).

INTAGRI (2021), indica que:

El riego por goteo es uno de los sistemas más eficientes en la actualidad, el suministro de agua es constante y uniforme, gota a gota, que permite mantener el agua de la zona radicular en condiciones de baja tensión. El agua aplicada por los goteros forma un humedecimiento en forma de cebolla en el interior del suelo, al que comúnmente se le denomina “bulbo húmedo”. Este bulbo normalmente alcanza su máximo diámetro a una profundidad de 30 cm aproximadamente y su forma está condicionada fuertemente por las características del suelo, en particular la textura (párr.4).

FAO (2013), aduce que:

Existe todavía no sólo un déficit en el acceso al agua, sino incluso escasez en algunas áreas, lo que consecuentemente dificulta impulsar un desarrollo sostenible. Cada día son más los núcleos poblacionales afectados por el bajo nivel de disponibilidad de agua (párr. 6).

De acuerdo con lo antes mencionado consideramos importante esta investigación en cuanto al manejo eficiente de optimizar el recurso hídrico y reducción de costos por manipulación del riego. Esta información detalla la cantidad de agua que se debe aplicar a los cultivos, tiempos de riego e intervalos de riego, así como garantizar una mayor eficacia del uso del agua de las obras de cosecha de agua, con este trabajo de investigación se contribuirá con información para la toma de decisiones de los productores.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar tres láminas de riego por goteo (superficial y subsuperficial) y surco en el cultivo de chiltoma (*Capsicum Annumm* L.), La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2021 – 2022

2.2. Objetivos específicos

- Comparar el efecto de tres láminas de riego por goteo (superficial, subsuperficial) y surco sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de chiltoma.
- Analizar la productividad del agua de las láminas de riego en relación con el rendimiento
- Estimar la relación beneficio – costo de los tratamientos en estudios en el cultivo de chiltoma.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Aspectos generales del cultivo

- **Cultivo de chiltoma**

González y Obregón (2007), explica que, “El chile dulce o chiltoma, es una hortaliza de gran consumo en Nicaragua y toda América central, es rica en carotenos, vitamina C y minerales. En la región se cultiva principalmente para comercializarla en estado fresco como condimento” (p.5).

- **Clasificación taxonómica:**

División: Embriophyta

Subdivisión: Angiospermas

Clase: Dicotiledóneas

Orden: Polomoniales

Familia: Solanáceas

Género: *Capsicum*

Especie: *annuum*

(Fuente: Laguna *et al.*, 2004)

- **Fisiología de la planta**

Según Zamora (sf) explica que la fisiología de la planta de chiltoma se deriva de la siguiente manera:

Etapas de semillero: semilla

La semilla es aplanada, crema, lisa, semiesférica con un hundimiento lateral. La germinación es lenta en comparación con otras hortalizas como el tomate y el repollo, dura de 8 a 12 días dependiendo de las temperaturas, a mayor temperatura el periodo es más corto. En temperaturas mayores de 25 °C la germinación es más lenta (p.7).

Etapas de plántula y desarrollo vegetativo

La etapa de plántula inicia después de la germinación con la emergencia de las hojas cotiledones. Posteriormente se da el crecimiento de las hojas verdaderas. En este estado dura aproximadamente 30 días y se da en semillero, bancos o almácigos (p.7).

“El desarrollo vegetativo inicia con el establecimiento de las plántulas en el campo definitivo (trasplante), lo cual ocurre aproximadamente a los 30 días después de la germinación, cuando las plántulas tienen una altura aproximada de 20 centímetros” (p.7).

En esta etapa, se incrementa el área foliar y se inicia la ramificación con la bifurcación del tallo principal. Durante esta etapa, se da todo el crecimiento de la planta y dura de 30 a 40 días, dependiendo de la variedad. Cualquier estrés causado por variaciones de temperaturas, falta de agua, mala fertilización o mal manejo puede retardar el período de floración (p.8).

Etapa de floración y fructificación

La floración inicia aproximadamente a los 80 días después de germinación y se prolonga hasta que los frutos cuajados inicien la maduración. La primera floración tiene un mayor porcentaje de aborto floral. Cuando los primeros frutos comienzan a madurar se inicia una nueva floración, de tal manera que hay un traslape en la producción dándose cosechas cada 1 o 2 semanas durante 6 a 15 semanas (p.8).

- **Aspectos botánicos**

Laguna *et al.*, (2004), mencionan que los aspectos botánicos del cultivo de Chiltoma son los siguientes:

Planta

Es una planta herbácea con ciclo de cultivo anual, de porte variable entre los 0.5 metros (en determinadas variedades de cultivo al aire libre), y más de dos metros (gran parte de los híbridos cultivados en invernaderos). El ciclo vegetativo varía de acuerdo con las variedades. Este puede durar entre los 65 a 110 días (p.6).

Sistema radicular

“Su raíz es pivotante, alcanzando una profundidad de 90 – 120 cm (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 0.50 a 1.0 m” (p.6).

Tallo principal

De crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura (“cruz”) emite dos o tres ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo (los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente) (p.6).

Hoja

Son simples, alternas, pequeñas, con limbo oval lanceolado de bordes lisos, color verde oscuro, aovadas, enteras. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante. El nervio principal, parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo que las nervaduras secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto (p.6).

Flor

Las flores son actinomorfas, hermafroditas, aparecen solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca, el estigma generalmente está a nivel de las anteras, lo que facilita la autopolinización. La polinización es autógena, aunque puede presentarse un porcentaje de apogamia que no supera el 10 % (p.6).

Fruto

El fruto es una baya hueca con dos a cuatro lóbulos, los cuales forman cavidades interiores con divisiones visibles, es de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco), algunas variedades van pasando del verde al anaranjado y al rojo a medida que van madurando. Su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos. También existe una diversidad de formas de frutos, pero generalmente se agrupan en alargados, tres cantos y redondeados (p.6).

Semillas

Las semillas son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre tres y cinco milímetros, son ricas en aceite y conservan su poder germinativo durante tres o cuatro años. El número de semillas por gramo es de 130 a 150 (p.6).

3.2. Sistemas de cosecha de agua

- **Cosecha de Agua**

Solís (2019), aduce que, “La cosecha de agua se define como la recolección del vital líquido derivado de las lluvias para usarlo con fines productivos” (p.7).

JICA (2015), expone que:

La cantidad de agua que puede cosechar depende de la intensidad de la lluvia, su duración (tiempo), área del sitio que capta la lluvia, grado (%) de pendiente, tipo de suelo y las condiciones de vegetación. Con el sistema de cosecha de agua los agricultores en épocas de sequía, disponen de agua para cultivos, animales y quehaceres domésticos (p.7).

- **Componentes de la cosecha de agua**

CATIE (2020), menciona que el sistema de cosecha de agua se compone de tres partes:

Área de recarga

“Es el área más alta de la finca. Son esos cerros o laderas, preferiblemente cubiertas de bosques, desde donde baja la escorrentía hacia el sitio donde está construida o por construir la obra o reservorio” (p.3).

Obra de almacenamiento de agua

“La obra de cosecha de escorrentía es una estructura ingenieril que tiene como objetivo captar y almacenar agua de lluvia. El sitio apropiado para construir esta obra debe cumplir las siguientes condiciones” (p.4):

1. **Conformación y pendiente del terreno:** La pendiente debe ser menor al 10% de preferencia en un sitio encajonado entre dos cerritos o laderas.
2. **Tipo de suelo:** Debe tener un alto contenido de arcilla en su primer metro de suelo para que, al ser compactada, impermeabilice el vaso y evite la infiltración del agua almacenada.
3. **Cobertura del suelo en el sitio a elegir para construir la obra:** El sitio no debe tener árboles, para no tener que deforestar la finca.
4. **Tamaño de la obra:** El tamaño de la obra dependerá directamente del tamaño del área de recarga. Para llenar un reservorio de 900 m³, se requieren al menos dos manzanas y media de área de recarga.

Área productiva para uso del agua cosechada

Este terreno debe estar lo más cerca posible de la obra y en una parte más baja, para que el agua llegue por gravedad, es decir por su propia fuerza. En caso contrario, habrá que bombear el agua con un motor (p.8).

3.3. Riego localizado

El riego localizado es la aplicación del agua al suelo en una zona más o menos restringida del volumen de raíces. Se caracteriza porque, en general, no humedece la totalidad del suelo, aplicando el agua sobre o bajo su superficie. Utiliza gastos de riego pequeños, a presiones que pueden variar desde 0.5 a 2.5 kg.cm⁻², a través de un número variable de puntos de emisión (Jiménez, 2016, párr.2).

3.4. Riego por goteo

Liotta, *et al.*, (2015), refiere que:

El riego por goteo es un sistema presurizado donde el agua se conduce y distribuye por conductos cerrados que requieren presión. Desde el punto de vista agronómico, se denominan riegos localizados porque humedecen un sector de volumen de suelo, suficiente para un buen desarrollo del cultivo. También se le denomina de alta frecuencia, lo que permite regar desde una a dos veces por día, todos o algunos días, dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del cultivo (p.5).

El riego por goteo es considerado como uno de los más eficientes llegando a alcanzar una eficiencia teórica superior de 90 %. En la práctica este puede disminuir principalmente cuando el sistema está mal diseñado y operado con un programa de mantenimiento inadecuado teniendo como resultado un mal abastecimiento de las necesidades hídricas que la planta requiere (Medrano y Reyes, 2021, p.8).

- **Riego por goteo superficial**

“El riego por goteo superficial es esa aplicación gota a gota, pero encontrándose los elementos (tuberías, goteros) sobre la superficie del terreno, el agua poco a poco se irá infiltrado y distribuyéndose en el suelo” (Galdiano, 2016, p.161).

- **Riego por goteo subsuperficial**

Rizo (2019), manifiesta que:

El sistema de riego subsuperficial es el método que aplica el agua a la planta lo más cercano posible a su sistema radicular, por lo que el ahorro de agua es muy superior a lo que se logra con los demás tipos de irrigación, además con el riego subsuperficial, las raíces tratan de profundizar en el suelo buscando el suministro de agua y no establecerse cerca de la superficie como cuando el riego es aéreo o por sobre el suelo (párr.2).

Jiménez (sf), explica que:

El riego por goteo subsuperficial es un método cada vez más utilizado en la agricultura y paisajismo, debido a sus múltiples ventajas entre ellas, el ahorro de agua por la reducción de la evaporación. La gran diferencia entre este método y el riego por goteo superficial es que, en este caso, el desagüe del emisor puede verse afectado por las características hidro físicas del suelo, lo que influiría en el caudal de los goteros y en la uniformidad del riego (p.17).

3.5. Riego por surco

Pascual y Seva (2020) afirma que:

El riego por surcos consiste en hacer circular el agua a través de surcos, que son pequeños canales que quedan entre dos caballones paralelos. El agua al mismo tiempo que avanza se va infiltrando tanto vertical como horizontalmente a través de las paredes de los surcos que constituyen la superficie de infiltración, la cual es (casi siempre) inferior a la superficie total a regar (p.177).

Demin (2014), indica que:

Para lograr un riego eficiente se deben tener en cuenta algunos factores (p.8):

1. Los patrones de infiltración en el perfil del suelo nos determinan la separación entre surcos; estos deben estar más cerca en suelos arenosos y más alejados en suelos arcillosos. Para determinar la distancia entre los surcos se debe considerar además del suelo, la distancia entre las líneas del cultivo.
2. La longitud de los surcos depende de la textura del suelo y de la infiltración. En suelos arcillosos los surcos pueden ser más largos que en los suelos arenosos.
3. Si la cantidad de agua a aplicar es alta, se pueden hacer más surcos y lograr regar una mayor superficie en el mismo tiempo de manera de utilizar caudales que sean fáciles de trabajar.



Figura 1. Tipos de riego: a) riego por goteo superficial, b) riego por goteo subsuperficial, c) riego por surcos (Fuente: Demin, 2014).

3.6. Parámetros de riego

- **Infiltración del agua en el suelo**

Cisneros (2003), aduce que:

La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua de riego en los suelos. Se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm. hora^{-1} o cm. min^{-1} (p.25).

- **Factores que influyen en la infiltración**

Según Haghazari *et al.*, (2015), afirma que:

Entre los factores que influyen en la velocidad o tasa de infiltración que son fácilmente observables, se pueden mencionar: el contenido inicial de humedad del suelo, relacionado inversamente con la tasa de infiltración; la textura y estructura del suelo; la condición de superficie (suelo desnudo, con presencia de costra, o existencia de vegetación); cantidad de materia orgánica; temperatura del suelo y calidad del agua aplicada (citado por Tornés, 2016, p.14).

- **Capacidad de campo (CC)**

Tamara y Hernández (2016), explican que “La capacidad de campo representa el contenido de humedad del suelo, cuando el agua que este contiene deja de fluir por gravedad, cuando este fenómeno ocurre, el agua libre o gravitacional deja de existir en el suelo” (párr. 1).

- **Punto de marchitez permanente (PMP)**

CONADI (2017), argumenta que “El punto de marchitez permanente es la condición de humedad del suelo en que las plantas no logran absorber el agua o bien lo hacen con extrema dificultad, experimentando una marchitez irreversible” (p.11).

Roblero y Mejía (2016), dice que:

Cuando la humedad disminuye acercándose al PMP, las plantas se afectan, se obstaculiza su desarrollo y al final disminuye mucho el rendimiento. Por ello, si se desea que las plantas se desarrollen normalmente, se debe tener lo antes mencionado en cuenta y mantener la humedad del suelo muy por encima del PMP (p.38).

- **Límite productivo (Lp)**

Roblero y Mejía (2016), expresan que:

Se define como la parte de la humedad disponible en el suelo que puede ser fácilmente extraída por las plantaciones y a las que estas responden con alta producción agrícola, pero por debajo de éste, el cultivo reduce su respuesta productiva al riego. El límite productivo marca un nivel de agotamiento permisible de la humedad en el suelo, alcanzado éste, se aplica de forma óptima el riego asociado a intervalos variables y a láminas de agua mínimas (p.37).

Doorenbos y Pruitt (1977), aduce que el límite productivo, “Es el nivel de agotamiento admisible entre el 55 y 60 % del agua total disponible en el suelo a capacidad de campo”.

- **Densidad aparente (Da)**

Según Roblero y Mejía (2016), se refieren a la densidad aparente como:

Una medida de la porosidad de un suelo. Se determina dividiendo el peso de suelo seco entre el volumen total, de modo que un mayor valor de densidad aparente significará menor porosidad. La densidad aparente es importante porque determina la compactación y la facilidad de circulación de agua y aire. A efectos de riego, conocer su valor es esencial porque caracteriza la capacidad de almacenaje de agua en el suelo (p.28).

- **Lámina neta (Ln)**

Ortega (2021), afirma que “La lámina neta es la cantidad de agua que debe ser aplicada durante el riego con el fin de cubrir el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración. Expresada en $m^3 ha^{-1}$ ” (p.18).

- **Lámina bruta (Lb)**

Chávez y Mora (2013), afirman que:

Los sistemas de riego no son 100 % eficientes, sino que en el manejo del agua ocurren pérdidas inevitables, las cuales varían con el método de riego empleado. Por ello, es necesario aplicar una cantidad de agua superior a la lámina neta, que compense las mermas por las deficiencias del sistema. Esta se llama lámina bruta (Lb) (p.27)

- **Tiempo de riego (Tr)**

Arapa (2007), afirma que el tiempo de riego, “Está determinada por la relación de la capacidad de riego que se tiene instalado en la subunidad (cantidad de emisores) y la cantidad de agua a reponer en el suelo absorbido por el cultivo” (Citado por Villacorta, 2017, p.10).

- **Intensidad de aplicación (Ia)**

Una alta intensidad de aplicación del riego descompone la estructura del suelo y altera su composición, las partículas que lo forman se separan por tamaño, quedando en suspensión las partículas que son más pequeñas, lo cual puede provocar encharcamiento, es por eso que la intensidad, está en función de la lámina de agua que llega a tener contacto en el suelo, como el tiempo en que dura el área en ser regada (Díaz y Herrera, 2017, p.19).

3.7. Pérdidas de carga en un sistema

MOLECOR (2021), afirma que:

La pérdida de carga en una tubería o canalización es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidentales o localizadas, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc. (párr.2).

ARCO (2019), explica que hay dos tipos de pérdidas de carga:

- **Pérdidas continuas**

“Son las que ocurren por los rozamientos del fluido con las tuberías y dependen de parámetros como longitud y rugosidad de la tubería, y la velocidad, viscosidad o densidad del fluido” (Párr. 14).

- **Pérdidas localizadas**

Son las causadas por el cambio de movimiento que experimenta el fluido cuando cambia de dirección. Se les conoce también como pérdidas en accesorios, accidentales o singulares. A diferencia de la pérdida continua, no son causadas por la fricción, sino por fenómenos de turbulencia originados en puntos específicos de los sistemas de tuberías. Estos puntos pueden ser: válvulas, codos, cambios de dirección, juntas, derivaciones, etc. (Párr. 17)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en la finca La Esperanza del productor Don Bilomar Alfaro Olivas localizada en la comunidad de La Pava, en el municipio de Pueblo Nuevo del departamento de Estelí, cuyas coordenadas comprenden 13°18'14.51" latitud norte y 86°30'18.34" longitud oeste, a una altitud de 1 051 msnm (Figura 2).

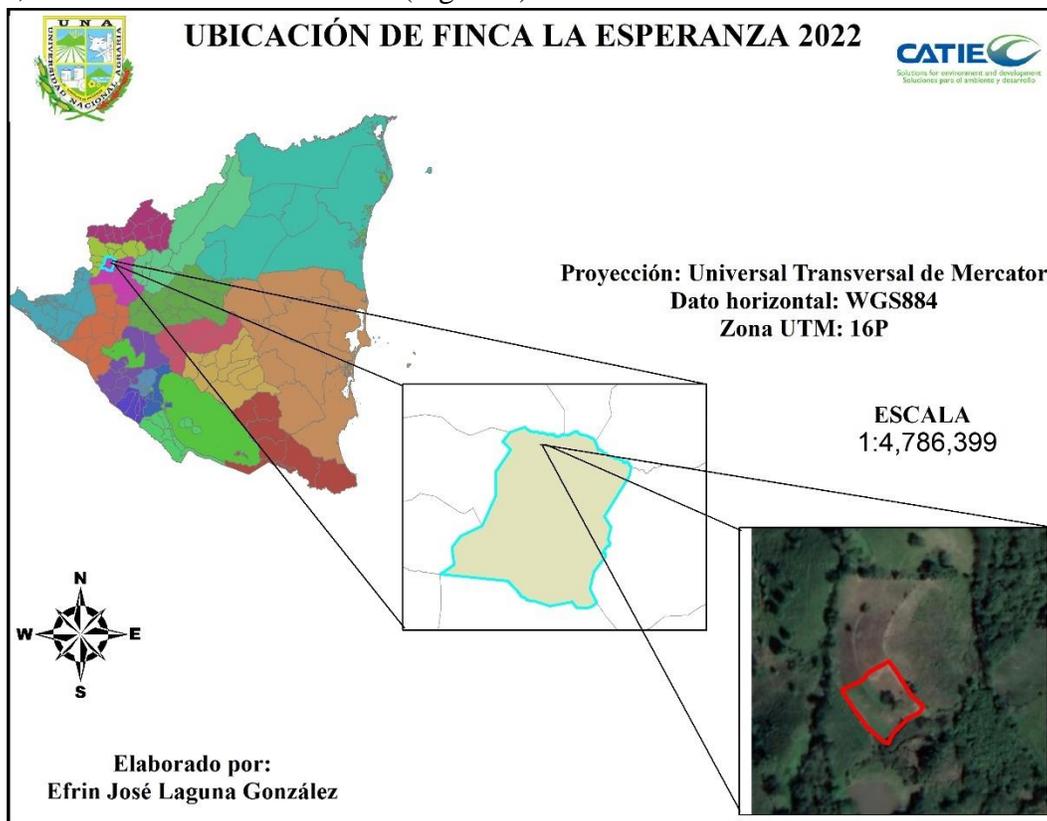


Figura 2. Ubicación del área de estudio, Finca La esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022

4.2. Condiciones edafoclimáticas

- **Clima**

En la figura 3, se observan los promedios de temperaturas máximas, medias y mínimas (Max, Med y Min), donde se percibe que las mayores precipitaciones fueron en los meses de junio, septiembre y octubre. Las temperaturas máximas en época seca oscilan promedio de 33 °C y mínima de 20 °C y las temperaturas mínimas promedio de 18 °C y máxima de 28 °C.

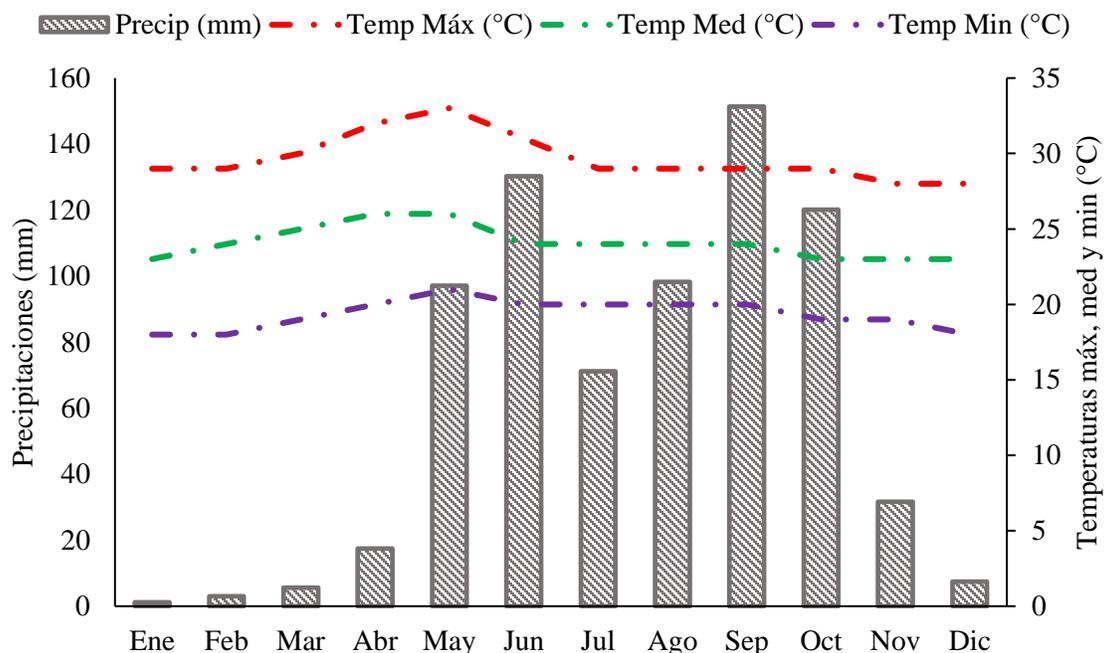


Figura 3. Condiciones climáticas de la zona en estudio, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022 (Fuente: Weather Spark, 2022).

- **Suelo**

A partir de los resultados del análisis de las propiedades físicas y químicas de suelo en el laboratorio de suelos y agua (LABSA) de la Universidad Nacional Agraria, como se puede observar en el cuadro 1 el suelo del área en estudio presentó un pH ligeramente ácido, materia orgánica media, nitrógeno alto, fósforo pobre, potasio alto, densidad aparente medio y con una textura arcillosa (Arcilla 48.82 %, limo 30.12 % y arena 21.06 %) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis físico químico del suelo, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022

Prof	pH	MO	N	P.disp	CE	K	Ca	Mg	Propiedades Hidrofísicas				
									Da	Dr	CC	PMP	
cm	H ₂ O	%		ppm					meq/100 g suelo	Da	Dr	CC	PMP
20	6.38	2.93	1.62	8.84	41	0.91	12.73	3.92		1.27	2.44	37.5	20.5

Nota; Prof= Profundidad; MO= Materia Orgánica; N= Nitrógeno; P.disp= fósforo disponible, CE= Conductividad Eléctrica K= potasio, Ca= Calcio, Mg= magnesio, Da= Densidad Aparente, Dr= Densidad Real, CC= Capacidad de Campo, PMP=Punto de Marchitez Permanente.

4.3. Diseño metodológico

El experimento fue establecido en un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA), con un arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones, las dimensiones de la parcela útil fueron de cuatro metros de ancho y cuatro metros de largo conformada por cuatro surcos, donde se utilizaron los dos surcos centrales para realizar el muestreo de las 12 plantas por parcela útil. La parcela total en estudio se dividió en tres subparcelas en la que cada una constaba de tres tratamientos con dimensiones de 12 m de ancho y 12 m de largo. El área total comprendía 36 m de ancho y 12 m de largo para un total de 432 m². El espaciamiento entre plantas fue de 0.5 m y entre surco de 1 m para un total de 864 plantas.

La cinta que se utilizó en el área de estudio tenía las siguientes características: Caudal de 1 litro hora⁻¹, diámetro interno de 16 mm, espaciamiento entre emisores 30 cm y Presión de trabajo de 10 a 20 PSI.

4.4. Descripción de los tratamientos

Se manejaron dos métodos de riego por goteo (superficial y subsuperficial) y riego por surco, evaluados de la siguiente manera:

- 1). Riego por goteo: Riego superficial y subsuperficial (la cinta fue enterrada a una profundidad de 3 cm debido a que la profundidad máxima del suelo oscilaba entre 10 y 15 cm posterior se presentaba el material parental) sujetos a tres láminas de riego cada tratamiento.
- 2). Riego por surco: Sujeto a tres láminas de riego

Cabe mencionar que para cada método de riego se realizó el cálculo de la lámina óptima, que después de obtener dicha lámina se le aplicó una lámina inferior y superior obteniendo el 50 % menos y el 50 % mayor de la óptima, esto obedece a que los productores comentan que aplicar una lámina superior a la óptima obtienen mayores rendimientos en los cultivos.

Cuadro 2: Descripción y manejo de los tratamientos, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022

Factores	Tratamientos (mm) Etapa inicial
Riego por goteo superficial	a1= 10.59
	a2= 21.17
	a3= 31.76
Riego por goteo subsuperficial	b1= 7.51
	b2= 14.82
	b3= 22.23
Riego por surco	c1= 18.00
	c2= 36.00
	c3= 54.00

4.5. Manejo agronómico

La limpieza del área se realizó a finales del mes de septiembre del año 2021, dicha labor se hizo de forma manual con machetes y rastrillos. La preparación del suelo se llevó a cabo a mediados del mes de octubre del año 2021 de forma manual con azadón, pala, piocha y barra. El trasplante se realizó en los últimos días del mes de octubre del año 2021, una vez que las plántulas cumplieron 30 días en el semillero con una altura aproximada de 10 a 15 cm. Posteriormente se realizó el tendido de las cintas de goteo con un gasto de 1 litro por hora, una presión de trabajo de 10 a 20 PSI, espaciamiento entre emisor de 30 cm, también se diseñaron los surcos para efectuar el sistema de riego por surco.

El control de plagas y enfermedades se realizó cada ocho días con los Insecticidas Abamectina, Triasofox y fungicida Promet Cobre, durante todo el ciclo, el control de maleza se realizó de forma manual con azadón cada 20 dds. La fertilización se realizó de manera manual dos aplicaciones edáficas a los tres días dds y a los 15 dds con completo 12 – 30 – 10 a razón de 4.5 qq ha⁻¹, posteriormente se realizaron dos aplicaciones de NITRO XTEND® a los 20 y 40 dds con una dosis de 4.5 qq ha⁻¹, estos datos son reportados por el productor.

4.6. Parámetros de riego

- **Lámina neta (Ln)**

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

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

Donde:

Ln: Lámina neta (mm)

ΔH : variación de capa activa (m)

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

Cc: Capacidad de campo (%)

Lp: Limite productivo (%)

- **Lámina bruta (Lb)**

Castro (2009) explica que:

Es el suministro de agua al cultivo, que debe incluir adicionalmente a las necesidades netas de la planta. La lámina bruta se define entonces como la lámina neta afectada por la eficiencia de riego y se expresa mediante la siguiente ecuación (párr.70):

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

Donde

Lb: Lámina bruta (mm)

Ln: Lámina neta (mm)

E_o : Eficiencia de aplicación del sistema (%)

- **Intensidad de aplicación (Ia)**

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

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

Donde:

Ia: Intensidad de aplicación (mm horas⁻¹)

Qe: Caudal del emisor (m³ horas⁻¹)

Ee: Espaciamiento entre emisor (m)

Es: Espaciamiento entre surco (m)

- **Tiempo de riego (Tr)**

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

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

Dónde:

Tr: Tiempo de riego (horas)

Lb: Lámina bruta (mm)

Ia: Intensidad de aplicación (mm horas⁻¹)

- **Intervalo de riego (Ir)**

El tiempo que se necesita para aplicar y cada cuanto tiempo (IR) debemos practicar la operación de riego para restituir la humedad en el suelo y esto se realiza mediante la siguiente formula:

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

Donde:

Ir: Intervalo de riego (días)

Lb: Lámina bruta (mm)

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Kc: Coeficiente del cultivo (Adimensional)

- **Infiltración del agua en el suelo**

Para evaluar la infiltración del agua en el suelo se utilizó el método del doble cilindro donde las pruebas de infiltración se efectuaron en varios puntos del terreno en estudio, los cilindros tenían las siguientes dimensiones de 30 cm de diámetro y 10 cm de altura cilindro externo e interno respectivamente 10 cm de altura, los que se instalaron en forma concéntrica cuidadosamente; en el cilindro interior se efectuaron las mediciones, mientras que el cilindro exterior se utilizó con el objetivo de evitar el flujo radial del agua durante las pruebas de infiltración.

Los materiales utilizados para efectuar las pruebas de infiltración fueron:

Un balde, una regla graduada en cm y mm, cronómetro, un plástico de 80 cm² y la hoja de registro, una vez colocado se vertió el agua de manera que no hubiera un contacto directo al suelo. Posteriormente se tomaron datos de la profundidad de modo que el nivel del agua alcanzara en el anillo interno con intervalos de lecturas cada 1, 5 y 10 minutos, hasta que el suelo estuviera saturado.

USDA (1993) detalla que en el cuadro 4 “se muestran las velocidades de infiltración y las clases de infiltración pertinentes, estas son las clases de permeabilidad históricamente usadas en el reconocimiento edafológico del Servicio de Conservación de Recursos Naturales” (Citado por Palacios y Gámez, 2015, p.20).

Cuadro 3. Velocidades de infiltración y clases de infiltración pertinentes

Velocidad de infiltración (centímetros/minutos)	Velocidad de infiltración (centímetros/hora)	Clases de infiltración
<1.18	> 50.80	Muy rápido
1.18 – 3.94	15.24 – 50.80	Rápido
3.94 – 11.81	50.80 – 15.24	Moderadamente rápido
1.81 – 39.37	15.24 – 50.08	Moderado
39.37 – 118.11	5.08 – 1.52	Moderadamente lento
118.11 – 393.70	1.52 – 0.51	Lento
393.70 – 15,748.03	0.51 – 0.0038	Muy lento
> 15,748.03	< 0.0038	Impermeable

Fuente: USDA, 1993.

4.7. Parámetros de riego por surco

Según Comisión Nacional de Riego Departamento de Proyectos (1999) y Génova (2018), establece metodología para la realización de algunos parámetros de riego por surcos:

- **Capacidad de estanque para el suelo arcilloso (Ce)**

$$Ce = \frac{(CC - PMP)}{100} \times Da \times Ps$$

Donde:

Ce: Capacidad de estanque del suelo (cm)

CC: Contenido gravimétrico de agua en el suelo a capacidad de campo (%)

PMP: Contenido gravimétrico de agua en el suelo a punto de marchitez permanente (%)

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

Ps: Profundidad del suelo (cm)

- **Lámina bruta (Lb)**

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

Donde:

Lb: Lámina bruta (cm)

Ce: Capacidad de estanque del suelo (cm)

Eo: Eficiencia del sistema (%)

- **Evapotranspiración del cultivo (Etc)**

$$ETc = ETo \times Kc$$

Donde:

Etc: Evapotranspiración del cultivo (mm día^{-1})

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})

Kc: Coeficiente del cultivo (Adimensional)

- **Intervalo de riego (Ir)**

$$Ir = \frac{Lb}{ETc}$$

Donde.

Ir: Intervalo de riego (días)

Lb: Lámina bruta (mm)

Etc: Evapotranspiración del cultivo (mm día^{-1})

- **Tiempo de riego (Tr)**

$$Tr = \left(\frac{Lb}{C}\right)^{1/b}$$

En donde,

Tr: Tiempo de riego (minutos)

Lb: Lámina bruta (cm)

C: constante que representa la infiltración en el primer minuto

b: pendiente de la curva de infiltración acumulada

- **Tiempo de avance (Ta)**

$$Ta = \frac{1}{4} Tr$$

Donde,

Ta: Tiempo de avance (minutos)

Tr: Tiempo de riego (minutos)

- **Tiempo total de riego (Tt)**

$$Tt = Tr + Ta$$

Donde,

Tt: Tiempo total de riego (minutos)

Ta: Tiempo de avance (minutos)

Tr: Tiempo de riego (minutos)

4.8. Pérdidas de cargas por el método de Hazen -Williams (1905)

Pérez (2021), aduce que:

El método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 °C – 25 °C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad "C" no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero.

$$Hf = 10.67 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \cdot \frac{L}{D^{4.87}}$$

En donde:

Hf: Pérdida de carga o de energía (m)

Q: Caudal (m³ s⁻¹)

C: Coeficiente de rugosidad (adimensional)

L: Longitud de la tubería (m)

D: Diámetro interno de la tubería (m)

Cuadro 4. Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales

Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130 – 140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130 – 140
Hierro fundido nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140 – 150
Hierro fundido, 10 años de edad	107 – 113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89 – 100	Acero nuevo	140 – 150
Hierro fundido, 30 años de edad	75 – 90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64 – 83	Acero rolado	110
Concreto	120 – 140	Lata	130
Cobre	130 – 140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120 – 140

Fuente: Breña y Martínez, 2019.

- **Perdidas corregidas con factor de Christiansen**

El factor de Christiansen se puede calcular mediante la expresión:

$$N^{\circ}SL = \frac{LTS}{E_{\text{surco o gotero}}}$$

Donde

N°SL: Número de salidas del lateral

LTS: Longitud de tubería secundaria

E_{surco}: Espaciamiento entre surco

E_{gotero}: Espaciamiento entre gotero

4.9. Análisis de productividad del agua (kg m⁻³)

González *et al.*, (2010), explica que esta variable se determinará, “Utilizando los procedimientos descritos por quienes plantean la relación entre el rendimiento de cosecha y el agua total aplicada al sistema a través de las láminas de riego; según la siguiente ecuación”:

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

Donde:

WP: Productividad del agua aplicada por riego (kg m⁻³)

R: Rendimiento (kg ha⁻¹)

I: Lámina de agua aplicada (m³ ha⁻¹)

4.10. Variables de crecimiento

- **Altura de la planta (cm):** Se midió la altura de la planta (cm) desde el nivel de la superficie del suelo hasta la hoja bandera mediante el uso de una cinta métrica, a los 25 y 40 dds.
- **Diámetro de la planta (mm):** Se midió con un vernier en *mm* realizando las mediciones en la parte media de la planta a los 25 y 40 dds.
- **Numero de hojas por planta:** Se contabilizó el número de hojas de manera visual a los 25 y 40 dds.

4.11. Variables de rendimiento

- **Número de frutos por planta:** Se realizó un conteo visual de todos los frutos en las 12 plantas seleccionadas de las parcelas útil.
- **Diámetro del fruto (cm):** Se midió con un vernier en cm a los 90, 97 y 118 dds.
- **Longitud del fruto (cm):** Se midió con una cinta métrica a los 90, 97 y 118 dds.
- **Peso del fruto (g):** Los frutos fueron pesados con la ayuda de una pesa digital y se anotó el peso de cada fruto en gramos.

- **Rendimiento (kg ha⁻¹):** Una vez obtenido el peso de los frutos de cada una de las 12 plantas muestreadas dentro de la parcela útil, se convirtieron los datos de cosecha en kg ha⁻¹.

4.12. Recolección de datos

El método que se utilizó fue experimental donde los ensayos se realizaron por medio de fichas de recolección de datos de crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. con la información se estimó la rentabilidad por cada tipo de riego utilizado en las diferentes parcelas en estudio.

4.13. Análisis de datos

Los datos recopilados de las variables en estudio fueron contemplados en hojas electrónicas (Excel) para su posterior análisis con el programa R. Además, se realizó análisis de varianza (ANDEVA) sobre variables agronómicas y rendimiento.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_k + \beta_i + (\alpha\beta)_{ki} + \tau_j + (\beta\tau)_{ij} + (\alpha\beta\tau)_{ijk}$$

Donde:

i: 3 sistemas de riego

j: 3 láminas de riego

k: 3 replicas

De donde:

$Y_{ijk} =$	Valor medio de las observaciones medidas en los distintos tratamientos de cada bloque conformado.
$\mu =$	Estima la media poblacional
$\alpha_k =$	Efecto del k-ésima replica
$\beta_i =$	Efecto de la i-ésimo sistema de riego
$(\alpha\beta)_{ki} =$	Es el efecto de interacción entre las réplicas y sistemas de riego
$\tau_j =$	Efecto del j-ésima lámina de riego
$(\alpha\beta\tau)_{ijk} =$	Efecto aleatorio de variación

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Velocidad de infiltración del agua en el suelo

En la figura 4 se muestra que la infiltración básica del suelo es $8.97 \text{ cm hora}^{-1}$ y la velocidad de infiltración del suelo es $4.05 \text{ cm hora}^{-1}$, la velocidad de infiltración es moderadamente lento con un rango de $1.52 - 5.08 \text{ cm hora}^{-1}$ (Cuadro 4), en relación con la intensidad de aplicación del emisor, esto indica que se puede utilizar este emisor y no causará encharcamiento ni escorrentía superficial por la aplicación de riego, ya que el suelo puede soportar una intensidad de $40.5 \text{ mm hora}^{-1}$.

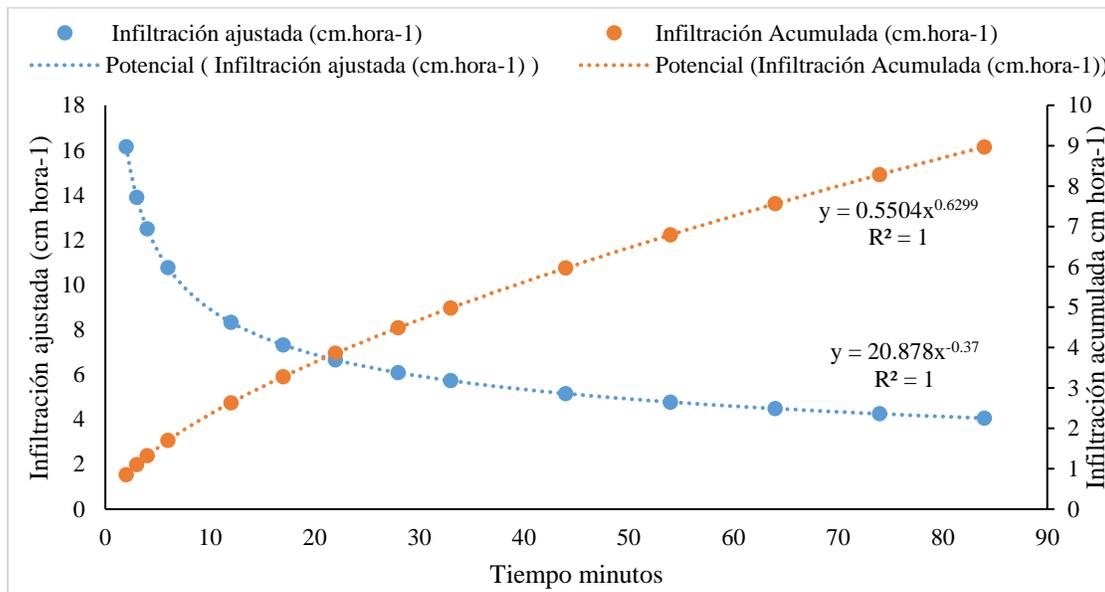


Figura 4. Velocidad de infiltración e infiltración acumulada. Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2021 - 2022

5.2. Parámetros de riego

En el cuadro 5 se aprecian las láminas de riego en los tres sistemas de riego respecto a la etapa inicial del cultivo, las láminas aplicadas a una profundidad de 10 cm y tomando en cuenta el coeficiente del cultivo para la etapa inicial en el periodo 0 – 30 dds. Para el riego por goteo superficial se manejó una lámina de 10.59 a 31.76 mm con intervalos de riego 8 a 21 días, en el riego por goteo subsuperficial se manejaron láminas inferiores debido a la profundidad de la cinta que se ubicó a 3 cm de profundidad con 7.41 a 22.23 mm con intervalos de 4 a 13 días, en riego por surco se manejaron láminas de 18 a 54 mm con intervalos 11 a 32 días.

Cuadro 5. Láminas de riego para la etapa inicial de 0 – 30 días, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022

Tratamiento	Niveles	Lb (mm)	Tr (horas)	Ir (días)
Riego por Goteo superficial	Linf	10.59	3.18	8.00
	Lop	21.17	6.36	13.00
	Lsp	31.76	9.54	21.00
Riego por Goteo subsuperficial	Linf	7.41	2.00	4.00
	Lop	14.82	4.00	9.00
	Lsp	22.23	6.00	13.00
Tr (minutos)				
Riego por surcos	Linf	18.00	12.33	11.00
	Lop	36.00	24.66	21.00
	Lsp	54.00	37.00	32.00

Nota: Linf= Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior.

En el cuadro 6 se aprecian tiempos de riego y las láminas aplicadas a una profundidad de 15 cm de igual manera se tomó en cuenta el coeficiente del cultivo para la etapa media según las fases fenológicas en el periodo 30 – 60 dds. En el riego por goteo superficial se manejaron láminas de riego de 15.88 a 47.64 mm con intervalos de 3 a 9 días, con el riego por goteo subsuperficial de 12.7 a 38.1 mm con intervalos de 3 a 8 días y en el riego por surco se calcularon láminas de 26.9 a 80.7 mm distribuidas de 6 a 17 días.

Cuadro 6. Láminas de riego para la etapa media 30 – 60 días, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022

Tratamiento	Niveles	Lb (mm)	Tr (horas)	Ir (días)
Riego por goteo superficial	Linf	15.88	4.77	3.00
	Lop	31.76	9.54	6.00
	Lsp	47.64	14.31	9.00
Riego por goteo subsuperficial	Linf	12.70	3.81	3.00
	Lop	25.40	7.62	5.00
	Lsp	38.10	11.43	8.00
Tr (minutos)				
Riego por surcos	Linf	26.90	23.33	6.00
	Lop	53.80	46.66	11.00
	Lsp	80.70	70.00	17.00

Nota: Linf= Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior.

En el cuadro 7 se observan los cálculos tiempos de riego y las láminas aplicadas donde se aprecia a una profundidad de 15 cm, en el periodo 60 – 90 dds. Es importante hacer mención que para este tercer cálculo no varían debido a que el suelo donde se estableció el cultivo la profundidad máxima que permitía era de 15 cm máximo a partir de ahí se encontraba la roca, excepto el resultado del intervalo de riego que difirió de 6 a 18 días, porque el coeficiente del cultivo varia respecto a la fase fenológica final del cultivo.

Cuadro 7. Láminas de riego para la etapa final 60 – 90 días, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022

Tratamiento	Niveles	Lb (mm)	Tr (horas)	Ir (días)
Riego por goteo superficial	Linf	15.88	4.77	3.00
	Lop	31.76	9.54	6.00
	Lsp	47.64	14.31	9.00
Riego por goteo subsuperficial	Linf	12.70	3.81	3.00
	Lop	25.40	7.62	5.00
	Lsp	38.10	11.43	8.00
			Tr (minutos)	
Riego por Surcos	Linf	26.90	23.33	6.00
	Lop	53.80	46.66	12.00
	Lsp	80.70	70.00	18.00

Nota: Linf= Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior.

5.3. Pérdidas de carga en el sistema

En el cuadro 8 se observan las pérdidas de carga en el sistema instalado del área en estudio, donde comprende una tubería de conducción, principal y lateral. Se utilizó la ecuación de Hazen Williams para calcular las pérdidas de carga, para la tubería de conducción fue 1.24 m (1.77 PSI), cabe señalar que para este tramo no se encontraba ningún accesorio instalado por lo que no se le aplicó el factor de Christiansen para calcular las perdidas corregidas.

En la tubería principal la pérdida fue de 0.68 m (0.97 PSI), en esta tubería se encontraba un filtro de malla donde se conectan los laterales de riego por ende se corrigen las pérdidas y como resultado dio 0.25 m (0.36 PSI) que representa una pérdida total para ese tramo de 0.93 m (1.33 PSI), la pérdida de carga en los laterales fue de 3.65 m (5.19 PSI), con una pérdida corregida de 1.29 m (1.83 PSI) para un total de pérdida en el tramo de 4.94 m (7.02 PSI).

En todo el sistema se visualiza que se obtuvo un total de pérdidas de carga de 7.12 m (10.12 PSI). Cabe mencionar, que la cosecha de agua de la finca se encontraba localizada a favor de la pendiente debido a que las parcelas experimentales en estudio estaban situadas en una zona más baja, lo que indica el riego está a favor de la pendiente, cabe recalcar que al tomar la presión en el sistema con el manómetro marcó 12 PSI y la presión de trabajo de la cinta de riego oscila entre 10 a 20 PSI esto quiere decir que favorece el funcionamiento del sistema de riego.

Cuadro 8. Pérdidas de carga en todo el sistema del área en estudio, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022

Tramos	Longitud (m)	Caudal (mch)	Diámetro (pulg)	Diámetro (mm)	Rugosidad (C)	Pérdida (m)	Velocidad (m.s ⁻¹)	Pérdida (PSI)
CONDUCCION								
Conducción	60	5.4	1 1/2"	45.22	150	1.24	0.93	1.77
TOTAL, PERDIDA						1.24		
PRINCIPAL								
Principal	33	5.4	1 1/2"	45.22	150	0.68	0.93	0.97
PERDIDA CORREGIDA						0.25		0.36
LATERALES								
Cintas de riego	41	0.72	0.63"	16	140	3.65	0.99	5.19
PERDIDA CORREGIDA						1.29		1.83
SUMAS - PERDIDA						7.12		

5.4. Volumen de agua total aplicado en el ciclo vegetativo del cultivo

El volumen de agua total que se aplicó en cada etapa fenológica del cultivo tomando en cuenta cada uno de los niveles en los tratamientos se muestran en el cuadro 9, donde se realizó conversión de las láminas de riego de mm a m³ ha⁻¹ y por consiguiente en función del área total del experimento 432 m² se calculó el volumen (m³). Cabe mencionar que el volumen total de las etapas fue de 3 098.73 mm se le restaron las precipitaciones caídas de 1 441.80 mm, el gasto total fue de 1 656.93 mm (715.80 m³) en todo el ciclo vegetativo del cultivo de chiltoma Cv Tres Cantos.

Cuadro 9. Cálculo del volumen de agua aplicado en los tratamientos para todo el ciclo vegetativo, finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022

Factores	Niveles	0-30 días	30-60 días	60-90 días	Precipitación mm	Total, mm	Q m ³
Riego por goteo superficial	Linf	42.36	158.80	158.80	160.20	199.76	86.30
	Lop	63.51	158.80	158.80	160.20	220.91	95.40
	Lsp	63.52	190.56	190.56	160.20	284.44	122.90
Riego por goteo subsuperficial	Linf	59.28	50.80	127.00	160.20	76.88	33.20
	Lop	44.46	63.52	127.00	160.20	74.78	32.30
	Lsp	44.46	76.20	127.00	160.20	87.46	37.80
Riego por surcos	Linf	54.00	134.50	134.50	160.20	162.80	70.30
	Lop	72.00	161.40	161.40	160.20	234.60	101.30
	Lsp	72.00	201.75	201.75	160.20	315.30	136.20
Total		515.59	1 196.33	1 386.81	1 441.80	1 656.93	715.80

Nota: Linf= Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior.

5.5. Volumen de agua disponible en la cosecha de agua

En el cuadro 10 se observa el volumen de agua total con que se disponía el experimento que era la cosecha de agua (986.33 m³), el volumen de agua utilizado en el ciclo del cultivo (715.80 m³) en un área de 432 m², el volumen que se perdió debido a la evaporación (13.63 m³), por lo que la cantidad de agua disponible en la cosecha de agua fue de 256.90 m³, esto quiere decir que el productor puede establecer nuevamente el mismo cultivo o un cultivo de ciclo corto.

Cuadro 10. Volumen total disponible de la cosecha de agua, Finca La Esperanza, La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022

	Cosecha de agua	Agua aplicada al cultivo	Pérdida de agua por evaporación	Agua disponible
Volumen total (m ³)	986.33	715.80	13.63	256.90

5.6. Análisis de productividad de agua (kg.m³)

Ríos, *et al.*, (2016), declara que:

La productividad del agua fue establecida como una medida sólida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento. Sin embargo, la determinación de tal concepto en la práctica se utiliza como una herramienta de diagnóstico para comprobar la eficiencia del uso del agua en los sistemas agrícolas (p.21).

INFORIEGO (2016), presenta que:

El término de productividad agrícola está intrínsecamente relacionado con el de productividad del agua, que no es otra cosa que la relación entre el volumen de alimentos producidos con respecto al agua utilizada. La cantidad de agua que necesita un cultivo para la máxima producción depende de las condiciones climáticas y del estado de desarrollo del mismo y es básicamente la cantidad de agua que consume en un cierto tiempo (párr. 3).

Según la figura 5, se observa que se obtuvo mayor productividad de agua en el sistema de riego por goteo subsuperficial de 2.18 a 2.54 kg m³, siendo la menor cantidad de agua aplicada con relación a los otros dos sistemas de riego, en cuanto al riego por goteo superficial y riego por surcos la productividad del agua fueron similares entre sí, cabe mencionar que el productor explica que no está dispuesto a usar riego por surco por factores como: costo de mano de obra en la elaboración de surcos, gasto de agua y estar pendiente del recorrido del agua en el surco.

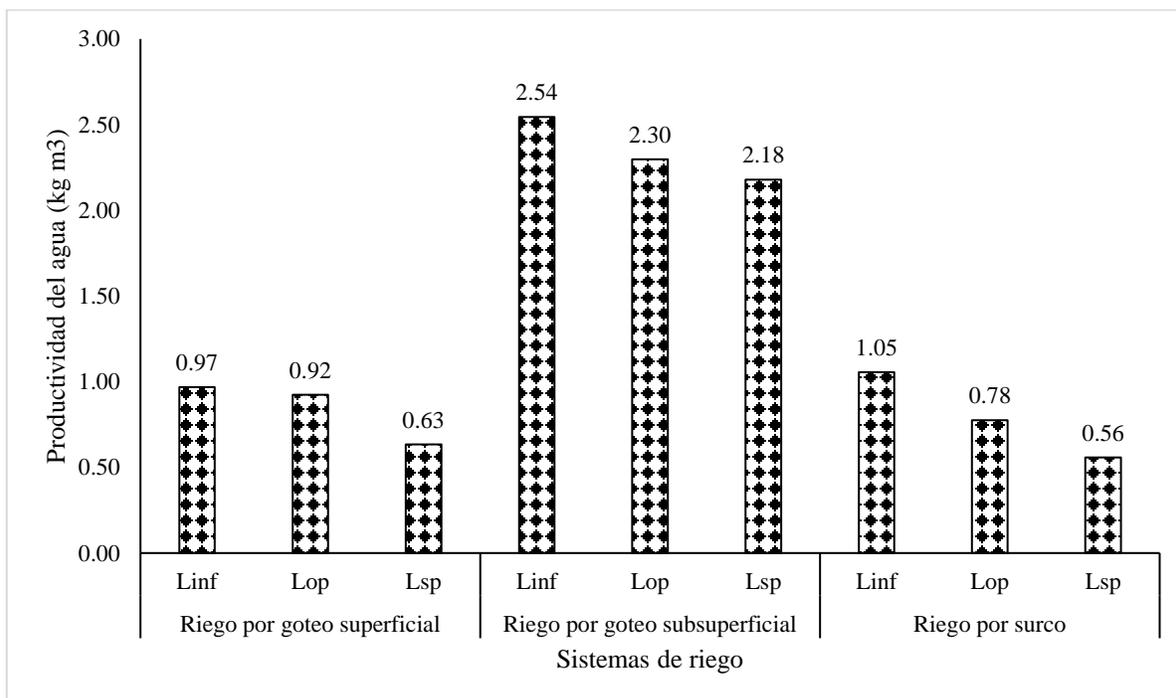


Figura 5. Productividad del agua según los sistemas de riego evaluados en el cultivo de chiltoma La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí 2022

5.7. Efectos principales en variables de crecimiento

De acuerdo con el ANDEVA realizado al 95 % de confianza se muestra que existen diferencias significativas en los efectos principales en las variables de crecimiento Altplan1 y Diaplan1 en los tratamientos riego por goteo superficial (gsp) y riego por surco (Rsc) en el primer momento, en el segundo momento el tratamiento riego por goteo superficial (Gsp) fue el que presentó las mayores medias en las variables Diaplan2 y Hoja2 (Cuadro 11).

En el efecto principal para el factor láminas de riego, el riego por surco presentó diferencias significativas en la variable Diaplan1 con una media de 3.09 cm, en el segundo momento se vieron afectadas las variables Altplan2 y Diaplan2 con medias de 23.39 y 3.16 cm (Cuadro 11).

Ríos, *et al.*, (2019), definen que:

Crecimiento es como el incremento en la cantidad de protoplasma en un organismo, notable por el aumento irreversible en talla y peso, implicando la división y agrandamiento de las células, tejidos y órganos; Además mencionan que la altura de planta es el resultado de la elongación del tallo, al acumular nutrientes producidos en la fotosíntesis (párr. 30).

Tinoco y Arauz (2014), explican que:

El número de hojas y el tamaño de estas garantizan que la fotosíntesis obtenga su máximo rendimiento. Cuanto mayor sea el número de hojas y mayor las dimensiones de esta, se traducirá no solo en una mayor producción, sino que también en un buen desarrollo y crecimiento de la misma. Además, los factores que estimulan el crecimiento de la parte aérea pueden retardar el desarrollo de las flores, los tubérculos y los frutos (p.57).

Cuadro 11. Caracterización estadística en variables de crecimiento en los efectos principales en el cultivo de chiltoma, Comunidad La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022

Factores	Niveles	Altplan1	Diaplan1	Hoja1	Altplan2	Diaplan2	Hoja2
Riego	Gsp	16.48 a	2.87 a	18.70 a	22.38 b	3.28 a	31.02 a
	Gsb	15.33 b	2.58 b	19.42 a	19.45 c	2.60 b	22.41 b
	Rsc	16.62 a	3.08 a	18.09 a	24.74 a	2.64 b	24.43 b
CV %		14.540	19.191	25.502	15.894	22.461	27.962
Pr > f		0.007	0.004	0.551	0.001	0.011	0.006
Láminas	Linf	15.64 a	2.62 b	17.72 a	20.89 b	2.61 b	23.67 a
	Lop	16.46 a	2.82 b	19.28 a	22.27 ab	2.73 b	27.17 a
	Lsp	16.36 a	3.09 a	19.27 a	23.39 a	3.16 a	27.58 a
CV %		8.392	8.103	14.721	10.898	14.230	9.535
Pr > f		0.393	0.002	0.359	0.033	0.001	0.062

Nota: Altplan1= Altura de la planta 1. Diaplan1= Diámetro de la planta 1. Hoja1= Hoja por planta 1. Altplan2= Altura de la planta 2. Diaplan2= Diámetro de la planta 2. Hoja2= Hoja por planta 2. Gsp= Goteo superficial. Gsb= Goteo subterráneo. Rsc= Riego por surco. Linf= Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior. CV= Coeficiente de variación (%)

5.8. Efecto de los tratamientos en las variables de crecimiento

González y Laguna (2004), aducen que “La altura de la planta es un factor de crecimiento que en conjunto con el ahijamiento y otros influyen en la capacidad fotosintética del cultivo y hace posible un desarrollo apropiado que determinará la productividad de las plantas” (p.14).

Romo (2005) expone que:

El número de hojas es un parámetro importante en el crecimiento de las plantas debido a que la luz es uno de los factores determinantes en el crecimiento, en diámetro y altura de las plantas. El desarrollo y llenado de los frutos depende principalmente de la actividad fotosintética de las hojas funcionales (p.13).

FAO (2013), explica que:

Las hojas verdes tienen una acción importante denominado fotosíntesis. Esta es una manera natural de transformar los elementos inorgánicos adquiridos por las plantas del aire y del suelo en materia orgánica, con el apoyo de la luz solar: la energía de la luz se transforma en energía química (p.10).

De acuerdo con la separación de medias Duncan ($\alpha=0.05$), mostraron diferencias significativas en los tratamientos para el momento uno de evaluación, el riego por goteo superficial presentó mayores promedios en la lámina inferior (Linf) y lámina superior (Lsp), con medias de 17.74 y 16.23 cm en la variable Altplan1, 3.00 y 2.87 cm en el Diaplan1, 21.04 y 17.77 Hoja1 por plantas. En cuanto al riego por surco se obtuvo mayores promedios en la lámina óptima (Lop) y lámina superior (Lsp), con medias de 18.71 y 17.15 cm en la Altplan1, 3.30 y 3.30 cm en el Diaplan1, 20.92 y 20.26 Hoja1 por plantas (Cuadro 12).

Cuadro 12. Caracterización estadística en variables de crecimiento en los efectos de los tratamientos en el cultivo de chiltoma, Comunidad La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022

Factores	Niveles	Altplan1	Diaplan1	Hoja1
Riego por goteo superficial	Linf	17.74 a	3.00 a	21.04 a
	Lop	15.34 ab	2.74 ab	17.08 b
	Lsp	16.23 ab	2.87 ab	17.77 b
Riego por goteo subsuperficial	Linf	15.77 ab	2.21 b	18.88 ab
	Lop	15.02 ab	2.42 b	19.91 ab
	Lsp	15.52 ab	3.09 a	19.18 ab
Riego por surco	Linf	13.57 b	2.61 ab	13.71 c
	Lop	18.71 a	3.30 a	20.92 a
	Lsp	17.15 a	3.30 a	20.26 a
CV %		14.538	19.196	25.502
R ²		0.374	0.360	0.359

Nota: CV= Coeficiente de variación (%). R²= Coeficiente de determinación. Linf= Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior. Altplan1= Altura de la planta 1. Diaplan1= Diámetro de la planta 1. Hoja1= Hoja por planta 1.

En el momento dos de evaluación mostraron diferencias en el tratamiento riego por goteo superficial con mayores promedios en la lámina inferior (Linf) y lámina superior (Lsp), con medias de 26.15 y 20.81 cm en la variable Altplan2, 34.86 y 28.86 Hoja2 por plantas. En cuanto al tratamiento riego por surco presentó los mayores promedios en la lámina óptima (Lop) y lámina superior (Lsp) con medias de 27.99 y 27.88 cm en la Altplan2, 2.76 y 3.05 cm en el Diaplan2, 29.41 y 29.05 Hoja2 por plantas (Cuadro 13).

Cuadro 13. Caracterización estadística en variables de crecimiento en los efectos de los tratamientos en el cultivo de chiltoma, Comunidad La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022

Factores	Niveles	Altplan2	Diaplan2	Hoja2
Riego por goteo superficial	Linf	26.15 a	3.61 a	34.86 a
	Lop	20.58 ab	3.03 a	28.56 ab
	Lsp	20.81 ab	3.19 a	28.86 ab
Riego por goteo subsuperficial	Linf	18.99 b	2.15 b	18.44 c
	Lop	17.86 b	2.43 ab	23.48 b
	Lsp	21.23 ab	3.60 a	14.58 b
Riego por surco	Linf	17.22 b	2.07 b	15.02 c
	Lop	27.99 a	2.76 ab	29.41 a
	Lsp	27.88 a	3.05 a	29.05 a
CV %		14.538	19.196	25.502
R ²		0.374	0.360	0.359

CV= Coeficiente de variación (%). R²= Coeficiente de determinación. Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior. Altplan2= Altura de la planta 2. Diaplan2= Diámetro de la planta 2. Hoja2= Hoja por planta 2.

5.9. Efectos de los tratamientos en la variable frutos por plantas

Olivas y Salgado (2013), mencionan que:

El número de frutos por planta está determinado por el número de flores que son fecundadas y alcanzan a desarrollarse en fruto. La cantidad de frutos producidos por una planta también está determinada por las características genéticas del cultivar, el manejo agronómico y condiciones ambientales (p.17).

Tinoco y Arauz (2014), exponen que:

El número de frutos es quizás la característica más deseada por el productor, porque de ella depende percibir ingresos cuantiosos. En consecuencia, ver el comportamiento del número de frutos por planta es de carácter trascendental para la elección, particularmente del productor, de un tratamiento u otro (p.70).

Según el ANDEVA realizado al 95 % de confiabilidad mostró diferencias significativas en los tratamientos aplicados en el riego por goteo superficial con la lámina inferior (Linf), con medias de 12.33 en el Frutoplan2 y 3.39 en Frutoplan3, en riego por goteo subsuperficial se percibe mayor promedio en la lámina inferior (Linf) y lámina óptima (Lop), con medias de 10.94 y 11.17 en Frutoplan1, 13.60 y 12.94 Frutoplan2. Con respecto al riego por surco los mayores promedios en la lámina inferior (Linf) y lámina óptima (Lop), con medias de 10.86 y 11.19 en Frutoplan1, 11.31 y 12.66 en Frutoplan2, exceptuando en Frutoplan3 los mayores

promedios lo tiene la lámina óptima (Lop) y lámina superior (Lsp), con medias de 3.59 y 2.94 (Cuadro 14).

Cuadro 14. Caracterización estadística en variables de frutos en los efectos de los tratamientos en el cultivo de chiltoma, Comunidad La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022

Factores	Niveles	Frutoplan1	Frutoplan2	Frutoplan3
Riego por Goteo superficial	Linf	11.89 a	12.33 a	3.39 a
	Lop	11.58 a	10.75 b	2.80 ab
	Lsp	11.92 a	11.64 ab	2.11 ab
Riego por Goteo subsuperficial	Linf	10.94 ab	13.60 a	2.58 ab
	Lop	11.17 a	12.94 a	2.36 ab
	Lsp	7.70 b	10.03 b	2.91 ab
Riego por surco	Linf	10.86 ab	11.31 ab	2.86 ab
	Lop	11.19 a	12.66 a	3.59 a
	Lsp	8.53 b	9.45 b	2.94 ab
CV %		21.58	15.335	3.792
R ²		0.512	0.656	0.835

CV= Coeficiente de variación (%). R²= Coeficiente de determinación. Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior. Frutoplan1= Frutos por planta 1. Frutoplan2= Frutos por planta 2. Frutoplan3= Frutos por planta 3.

5.10. Efecto de los tratamientos en Longitud de fruto y Diámetro de fruto

De acuerdo con la separación de medias Duncan ($\alpha=0.05$) se encontró diferencias significativas en los tratamientos en estudio en el primer momento se observa que el riego por goteo superficial (Gsp) y riego por goteo subsuperficial (Gsb) presentó los mayores promedios en cuanto a Longf1 y Diamf1, en el momento dos resultó afectada la variable Diamf2 con la lámina óptima (Lop) y lámina superior (Lsp) en los tres sistemas de riego con medias 4.01 a 4.31 cm, para el caso del tercer momento se vieron afectados Longf3 y Diamf3 en el riego por goteo superficial (Gsp) y subsuperficial (Gsb), con las láminas de riego óptimas (Lop) y láminas inferior (Linf), esto quiere decir que el productor puede hacer uso de la lámina inferior y puede obtener los mismos resultados y ahorraría el agua disponible (Cuadro 15).

Tinoco y Arauz (2014), describen que:

La longitud, en conjunto con el diámetro del fruto, son las características más deseadas por el mercado de la chiltoma; Es por ello que los productores invierten recursos y esfuerzos para conseguir tales características. La longitud está dada por las

características fotométricas intrínsecas de la variedad, control de plagas y enfermedades, manejo y la fertilización.

Cuadro 15. Caracterización estadística en variables de frutos en los efectos de los tratamientos en el cultivo de chiltoma, Comunidad La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022

Factores	Nivel es	Longf1 (cm)	Diamf1 (cm)	Longf2 (cm)	Diamf2 (cm)	Longf3 (cm)	Diamf3 (cm)
Riego por Goteo superficial	Linf	6.93 ab	3.86 b	6.50 a	3.56 ab	6.06 a	2.39 a
	Lop	6.80 ab	4.26 a	6.53 a	4.31 a	4.41 ab	2.46 a
	Lsp	6.97 ab	4.01 a	6.49 a	3.95 ab	3.81 b	2.16 a
Riego por Goteo subsuperficial	Linf	7.03 a	4.10 a	6.49 a	3.91 ab	4.51 ab	2.12 a
	Lop	6.84 ab	4.34 a	6.31 a	4.10 a	4.49 ab	2.09 a
	Lsp	7.19 a	4.58 a	6.41 a	4.09 a	4.29 ab	1.97 ab
Riego por surco	Linf	7.95 a	4.33 a	5.85 a	3.62 ab	3.59 b	1.88 ab
	Lop	7.15 a	4.24 a	5.71 a	3.67 ab	3.23 b	1.71 ab
	Lsp	7.44 a	4.49 a	6.32 a	4.01 a	3.86 b	1.83 ab
CV %		4.510	9.242	3.792	5.311	20.702	11.444
R ²		0.766	0.443	0.835	0.775	0.662	0.707

CV= Coeficiente de variación (%). R²= Coeficiente de determinación. Linf= Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior. Longf1= Longitud por fruto 1. Diamf1= Diámetro por fruto 1. Longf2= Longitud por fruto 2. Diamf2= Diámetro por fruto 2. Longf3= Longitud por fruto 3. Diamf3= Diámetro por fruto 3.

5.11. Efecto de los tratamientos sobre el Rendimiento (kg ha⁻¹)

Rodríguez y Osejo (2004), explican que:

El rendimiento es el resultado del efecto combinado de muchos factores tanto genéticos como ecológicos, así como de la interacción del genotipo con el medio ambiente, incluyendo dentro de este último la influencia de la actividad humana mediante el manejo que se le da a la plantación (p.19).

Según el ANDEVA realizado al 95 % de confiabilidad mostró diferencias significativas obteniendo las mayores medias en el riego por goteo superficial con la lámina óptima (618.15 kg ha⁻¹), en el riego por goteo subsuperficial se vio afectado con las lámina superior y lámina inferior con medias (660.66 y 847.72 kg ha⁻¹), para el caso de riego por surco presentaron las mayores medias la lámina inferior y lámina óptima (608.09 y 849.31 kg ha⁻¹). En el rendimiento tres con el riego por goteo superficial obtuvo las mayores medias con las láminas de riego óptima e inferior (533.39 y 540.56 kg ha⁻¹). En cuanto al rendimiento total (Rend Total) el riego por goteo superficial presentó medias (1 933.87 a 2 041 40 kg ha⁻¹) con la

lámina inferior y óptima, en segundo lugar, el riego por goteo subsuperficial con medias de (1 905.62 a 1 956.58 kg ha⁻¹) (Cuadro, 16).

Cuadro 16. Caracterización estadística en variables de rendimiento kg ha⁻¹ en los efectos de los tratamientos en el cultivo de chiltoma, Comunidad La Pava, Pueblo Nuevo, Estelí. 2021-2022

Factores	Niveles	Rend1 kg ha ⁻¹	Rend2 kg ha ⁻¹	Rend3 kg ha ⁻¹	Rend Total kg ha ⁻¹
Riego por goteo superficial	Linf	493.70 b	807.53 a	540.56 a	1 933.87 a
	Lop	618.15 a	845.94 a	533.39 a	2 041.40 a
	Lsp	587.30 ab	817.81 a	458.39 ab	1 801.64 ab
Riego por goteo subsuperficial	Linf	564.26 ab	847.72 a	478.83 ab	1 956.58 a
	Lop	565.75 ab	662.12 ab	439.55 ab	1 718.12 b
	Lsp	660.66 a	771.75 a	409.33 ab	1 905.62 a
Riego por surco	Linf	636.13 a	681.76 ab	356.71 b	1 717.37 b
	Lop	586.98 ab	849.31 a	352.01 b	1 818.28 ab
	Lsp	608.09 a	800.94 a	398.76 b	1 760.49 ab
CV %		6.286	8.256	12.670	5.293
R ²		0.822	0.815	0.777	0.798

CV= Coeficiente de variación (%). R²= Coeficiente de determinación. Linf= Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior. Rend1= Rendimiento 1. Rend2= Rendimiento 2. Rend3= Rendimiento 3.

5.12. Análisis económico

Análisis de presupuesto parcial

Según CYMMYT (1988), aduce que:

El paso inicial para efectuar un análisis económico de los ensayos en fincas es calcular los costos que varían en cada tratamiento y se refiere a los costos relacionados con los insumos y mano de obra, que varían de un tratamiento a otro. A este análisis económico se denomina análisis de presupuesto parcial (p.21).

Fino (2020), explica que:

El presupuesto parcial es una opción para planificación y toma de decisiones, en la cual se comparan los costos e ingresos que tendremos comparando lo que estamos haciendo en el momento presente con las alternativas que enfrenta, permitiendo entender como la decisión tomada afectará la rentabilidad de la unidad productiva (párr.1).

El precio de venta (\$ 1.15 kg) que se tomó en cuenta fue el que se encontraba en los diferentes negocios situados en el mercado local del mes de Enero (2022), donde se vendía a un precio de \$ 1.15 kg de chiltoma. En los sistemas de riego por goteo se invierte en materiales, al igual en la mano de obra para establecer cada sistema de riego. Al comparar los beneficios netos se observa que \$ 1 250.23 en el presupuesto parcial (Cuadro 17), el riego por goteo superficial en su lámina óptima muestra mayores beneficios netos con relación a los demás tratamientos.

Cuadro 17. Análisis de presupuesto parcial de los tratamientos evaluados, 2022

Actividades	Riego por goteo superficial			Riego por goteo subsuperficial			Riego por surco		
	Linf	Lop	Lsp	Linf	Lop	Lsp	Linf	Lop	Lsp
Rendimiento total (kg ha ⁻¹)	1 933.87	2 041.40	1 081.64	1 956.58	1 718.12	1 905.62	1 717.37	1 818.28	1 760.49
Ajustado 5 %	96.69	102.07	54.08	97.83	85.91	95.28	85.87	90.91	88.02
Rendimiento ajustado (kg ha ⁻¹)	1 837.18	1 939.33	1 027.56	1 858.75	1 632.21	1 810.34	1 631.50	1 727.37	1 672.47
Precio de venta (\$ kg)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Beneficio bruto en campo (\$ ha)	2 112.75	2 230.23	1 181.69	2 137.56	1 877.05	2 081.89	1 876.23	1 986.47	1 923.34
Costos variables									
Costo del proyecto (\$)	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	700.00	700.00	700.00
Costo de mano de obra (\$)	180.00	180.00	180.00	200.00	200.00	200.00	300.00	300.00	300.00
Total, de costos que varían (\$ ha ⁻¹)	980.00	980.00	980.00	1 000.00	1 000.00	1 000.00	1 000.00	1 000.00	1 000.00
Beneficios netos	1 132.75	1 250.23	201.69	1 137.56	877.05	1 081.89	876.23	986.47	923.34

Nota: Linf= Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior. El costo del proyecto incluye: la compra de las cintas de riego, tubería y empaques

Relación beneficio costo

En el Cuadro 18, se puede visualizar que el análisis de las utilidades y la relación beneficio costo se consideró el rendimiento ajustado en kg ha⁻¹, donde se obtuvo que el sistema de riego por goteo superficial presentó las mejores utilidades en la lámina óptima y lámina inferior (\$ 1 250.23 y \$ 1 132.75) y el sistema de riego por goteo subsuperficial con la lámina inferior y lámina superior (\$1 137.56 y \$ 1 081.89) y mayor relación beneficio costo en el riego por goteo superficial en la lámina óptima y lámina inferior (\$ 1.28 y \$1.16), en el sistema de riego por goteo subsuperficial con la lámina inferior y lámina superior (\$ 1.14 y \$ 1.08), con relación al riego por surco que su beneficio costo es inferior en comparación con los dos sistemas anteriores.

Cuadro 18. Análisis de utilidades y relación beneficio costo, 2022

Factores	Tratamientos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Precio (\$ kg)	Ingreso (\$)	Costo de producción	Utilidades (\$)	R B/C
Riego por goteo superficial	Linf	1 837.18	1.15	2 112.75	980.00	1 132.75	1.16
	Lop	1 939.33	1.15	2 230.23	980.00	1 250.23	1.28
	Lsp	1 027.56	1.15	1 181.69	980.00	201.69	0.21
Riego por goteo subsuperficial	Linf	1 858.75	1.15	2 137.56	1 000.00	1 137.56	1.14
	Lop	1 632.21	1.15	1 877.05	1 000.00	877.05	0.88
	Lsp	1 810.34	1.15	2 081.89	1 000.00	1 081.89	1.08
Riego por surcos	Linf	1 631.50	1.15	1 876.23	1 000.00	876.23	0.88
	Lop	1 727.37	1.15	1 986.47	1 000.00	986.47	0.99
	Lsp	1 672.47	1.15	1 923.34	1 000.00	923.34	0.92

Linf= Lámina inferior. Lop= Lámina óptima. Lsp= Lámina superior.

VI. CONCLUSIONES

Los efectos principales mostraron efectos significativos sobre las variables hojas, altura de la planta y diámetro de planta en el primer y segundo momento presentando los mayores promedios en los sistemas de riego por goteo superficial y riego por surcos. En las variables de rendimiento los sistemas tuvieron influencia sobre los frutos por plantas con las láminas óptimas e inferior, sin embargo, el riego por goteo superficial y subsuperficial afectaron a la longitud y diámetro de fruto, de igual manera ocurrió con el rendimiento total mostrando las mayores medias $1\ 905.62\ \text{kg ha}^{-1}$ a $2\ 041.40\ \text{kg ha}^{-1}$, con los menores rendimiento el riego por surco.

La mayor productividad obtenida fue con el sistema de riego por goteo subterráneo en las tres láminas de riego obteniendo el mayor valor en la lámina inferior de $2.55\ \text{kg m}^3$ en comparación con los dos sistemas de riego que mostraron los menores valores en cada una de sus láminas.

En cuanto al análisis económico de los tratamientos evaluados se obtuvo que el sistema de riego por goteo superficial presentó las mejores utilidades en la lámina óptima y lámina inferior ($\$ 1\ 250.23$ y $\$ 1\ 132.75$) y el sistema de riego por goteo subsuperficial con la lámina inferior y lámina superior ($\$1\ 137.56$ y $\$ 1\ 081.89$) y mayor relación beneficio costo en el riego por goteo superficial en la lámina óptima y lámina inferior ($\$ 1.28$ y $\$ 1.16$), en el sistema de riego por goteo subsuperficial con la lámina inferior y lámina superior ($\$ 1.14$ y $\$ 1.08$), con respecto al sistema de riego por surco.

VII. LITERATURA CITADA

- ARCO (2019, 29 de Agosto). *¿Qué es la pérdida de carga en tuberías?* <https://blog.valvulasarco.com/que-es-la-perdida-de-carga-en-tuberias>
- Bendaña, G. (2012). Agua, agricultura y seguridad alimentaria en las zonas secas de Nicaragua (Primera ed.). Managu, Nicaragua. Obtenido de https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/13/13437461885650/agua_agricultura_y_san_en_las_zonas_secas_-_guillermo_bendaa_garca.pdf
- Breña, E.A y Martínez Valdés, Y. (2019, 30 de septiembre). *Coficiente de Hazen- Willians en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa.* http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000300041
- CATIE (2020). *El sistema de cosecha de agua de escorrentías.* file:///C:/Users/Henry/Downloads/Fasciculo%20%20-%20El%20sistema%20de%20cosecha%20de%20agua%20V_Imprenta%2014_6_2_021.pdf
- Chávez Rivera, N. A. y Mora Martínez, J. R. (2013). *Evaluación del sistema de riego por goteo en el cultivo de Naranja Dulce (Citrus sinensis L.), Limón (Citrus limonum L.), Naranja Agria (Citrus aurantium L.), y Aguacate (Persea americana Miller), en la Finca Bello Amanecer, ubicada en la comunidad Las Mercedes, Municipio de Cárdenas, Departamento de Rivas.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional. <http://ribuni.uni.edu.ni/1450/1/39739.pdf>
- CIMMYT (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica.* Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.
- Cisneros, A.R (2003). *Apuntes de la materia de riego y drenaje.* <http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>
- CONADI (2017). *Como determinar; cuánto y cuándo regar.* http://www.gea.uchile.cl/archivos/Como_determinar_cuando_y_cuanto_regar_Conadi.pdf
- Demin, E. P (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones.* https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf
- Díaz Quiroz, V. S. y Herrera Pérez, M. R. (2019) *Análisis de uniformidad de intensidad de aplicación del agua, del sistema de riego por aspersión, en la finca experimental el Plantel, de la Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua, 2016-2017.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3897/1/tnf06d542.pdf>
- Doorenbos, J y Pruitt, W.O (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements,*
- Duarte-Canales, H., y Benavides González, A. (2020). Riego por goteo en cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum L.*), Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. *La Calera*, 20(34), 35-40. <https://doi.org/10.5377/calera.v20i34.9811>
- FAO (2013). *Agroecología y agricultura familiar.* <http://www.fao.org/familyfarming/themes/agroecology/es/>
- FAO (2013). *Tecnología para el uso eficiente del agua: una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático.*

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/Tecnologias_para_el_uso_sostenible_del_agua.pdf

- Fertilization synthetic and organic and effect on the production of maize variety yield
Nutrinta
- Fino, W. (2020). *Presupuesto parcial: uso de la metodología del presupuesto parcial en producción animal, como base para toma de decisiones técnicas-financieras*. https://issuu.com/williamfinogt/docs/revista_zootecnia_2020/s/11373441
- Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria. (2017). Proyecto cultivo biointensivo para familias rurales del corredor seco. Managua. NI. 13 pp.
- Galdiano Hernández, M. (2016). Instalador/mantenedor de riego por goteo. <https://elibro.net/es/ereader/unanicaragua/59556?page=161>.
- Génova, L.J (2018). *Métodos de riego gravitacionales. Descripción, observación, diseño, operación y evaluación de métodos de riego gravitacionales (surco, amelgas y taipas arroceras)*. *Eficiencias de riego*. Ed. MEFCCA, CATIE.
- González kuant, J. D y obregón blandón, A. M. (2007). *Evaluación de alternativas de protección física y química de semilleros de chiltoma (Capsicum annum L.) contra el ataque del complejo mosca blanca (Bemisia tabaci, Gennadius)- Geminivirus*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Archivo digital. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf03g643e.pdf>
- González R, F; Herrera P, J; y López S, T. (2010). *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.
- González Urrutia, O.E y Laguna Laguna, J.L (2004). *Evaluación del comportamiento agronómico de once cultivares de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) bajo el manejo del productor en el valle de Sébaco, Matagalpa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Archivo Digital. <http://repositorio.una.edu.ni/1888/http://cals.arizona.edu/azaqua/aquacultureTIES/publications/spanish%20WHAP/GT3%20Water%20Harvesting.pdf>
- INFORIEGO (2016). *Productividad del agua de riego*. https://www.inforiego.org/opencms/opencms/seguimiento_regadio/anno_2016/prod_actividad_agua/index.html
- INTAGRI (2021). *Sistema de riego por goteo*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>
- JICA. (2015). Guía técnica para cosechar el agua de lluvia. https://www.jica.go.jp/project/ecuador/001/materials/ku57pq000011cym2-att/water_harvest_sp.pdf
- Jiménez, J.L. (sf). *Métodos de riego*. <https://fundacionsuna.org/wp-content/uploads/PDF/Jaime-Lamo/MANUAL-M%C3%89TODOS-DE-SISTEMAS-DE-RIEGO.pdf>
- Jiménez, S. (2016, 12 de julio). *¿Qué es el riego localizado?* <https://www.hidraulicafacil.com/2016/07/que-es-el-riego-localizado.html>
- Laguna, T; Pavon, J.F y Altamirano, K.N (2004). *Guía en el cultivo de la chiltoma*. Managua, Nicaragua. 1ra Edición. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10L181.pdf>
- Liotta, M; Carrión, R; Ciancaglini, N y Olguin, A. (2015). *Riego por goteo*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- MARENA (2017). *Estudios de tecnología de adaptación al cambio climático en sectores priorizados*.

- <https://cambioclimatico.ineter.gob.ni/bibliografia/Publicaciones%20%20nacionales%20Cambio%20Climatico/Informe%20final%20tecnologia.pdf>
- Maya Álvarez, M. Á. (2015). *Operaciones culturales, riego y fertilización. Antequera*. <https://elibro.net/es/ereader/unanicaragua/44527?page=171>
- Medrano Rodríguez, M. A. y Reyes Mejía, R. I. (2021) *Evaluación del manejo de riego por goteo en la unidad del cultivo del aguacate (Persea americana mil) en la finca experimental el Plantel de la UNA*, 2019. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/4273/1/tnf06m492.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2010). *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (scall) en el sector agropecuario de costa rica y recomendaciones para su utilización*. http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/bibliotecavirtual/a00273.pdf
- MOLECOR (2021). *Perdidas de carga*. [https://molecor.com/es/perdidas-carga#:~:text=La%20p%C3%A9rdida%20de%20carga%20en,la%20tuber%C3%A9a%20que%20las%20conduce.&text=%2D%20Los%20par%C3%A1metros%20hidr%C3%A1ulicos%20\(caudal%2C,para%20una%20conducci%C3%B3n%20por%20gravedad](https://molecor.com/es/perdidas-carga#:~:text=La%20p%C3%A9rdida%20de%20carga%20en,la%20tuber%C3%A9a%20que%20las%20conduce.&text=%2D%20Los%20par%C3%A1metros%20hidr%C3%A1ulicos%20(caudal%2C,para%20una%20conducci%C3%B3n%20por%20gravedad).
- Olivas, L y Salgado, L. (2013). *Evaluación de rendimiento y comportamiento agronómico de 7 genotipos de tomate bajo sistemas de casa malla en el centro experimental las Mercedes*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Archivo digital. <https://repositorio.una.edu.ni/4109/1/tnf01c352re.pdf>
- Orellana Benavides, F.E; Escobar Betancourt, J.C; Morales de Borja, A.J; Méndez de Salazar, I.S; Cruz Valencia, R.A y Castellón Hernández, M.E (2004). *Cultivo de chile dulce*. <http://simag.mag.gob.sv/uploads/pdf/201412011299.pdf>
- Ortega Amador, k. A. (2021). *Riego por goteo convencional y automatizado en la producción de tomate (Solanum lycopersicum L.), a campo abierto, UNA, Managua, 2020 – 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/4313/1/tnf06o77.pdf>
- Palacios Rizo, V. S., y Gámez Ortuño, C. J. (2015). Valoración del estado de los recursos hídricos y edáficos en seis fincas cafetaleras del Municipio San Juan del Río Coco, Madriz, Nicaragua 2012- 2013 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Archivo digital. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp10p153.pdf>
- Pascual España, B. y Pascual Seva, N. (2020). *Riegos de gravedad y a presión* (4ª. Ed.). <https://elibro.net/es/lc/unanicaragua/titulos/167009>
- Pérez Estela, D. (2021). *Cálculo de pérdidas de carga en tuberías*. https://www.academia.edu/18699682/Calculo_de_perdidas_de_carga_en_tuberias
- Ríos Flores, J.L; Torres Moreno, M; Ruiz Torres, J. y Torres Moreno, M.A (2016). *Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (Triticum vulgare) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México*. <https://www.redalyc.org/pdf/416/41644470003.pdf>
- Ríos, J.M; Martínez Gómez, J; Aguilar Bolaños, R.E; Matamoros Gutiérrez, C.J (2019). *Fertilización sintética y orgánica y su efecto en la producción de maíz, variedad Nutrinta Amarillo*. <https://www.camjol.info/index.php/CALERA/article/download/8439/9340?inline=1>

- Rizo, E. (2019, 13 de noviembre). *Riego subsuperficial (SDI) para cultivos de campo*. <https://www.hortalizas.com/mundo-agronomo/irrigacion-mundo-agronomo/riego-subsuperficial-sdi-para-cultivos-de-campo/>
- RKD (2021, 30 de agosto). *Coeficiente de uniformidad ¿Qué es y para que se utiliza?* <https://rkd.es/blog/coeficiente-de-uniformidad/>
- Roblero González, R. G., y Mejía Vado, C. J. (2016). *evaluación del sistema de riego por goteo en el cultivo de sandía de exportación (citrullus lanatus (thunb.)) en la finca “el rodeo”, ubicada en la comunidad de san benito, municipio de tipitapa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital.
- Rodriguez Blandon, G.A y Osejo Martinez, W.R (2004). *Evaluacion de cinco tratamientos para el manejo del acaro (Polyphagotarsonemus latus, Banks) en el cultivo de chiltoma (Capsicum annum, L)*. [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Archivo digital. <https://repositorio.una.edu.ni/1886/>
- Romo, M. (2005). *Efecto de la luz en el crecimiento de plántulas de Dipteryx micrantha harms “Shihuahuaco” transplantadas a sotobosque; claros y plantaciones; Vol. 4; No. 1 y 2: 1-8*.
- Solis Valencia, A. (2019, septiembre). *Cosecha de Agua*. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108043/secme-11279_1.pdf?sequence=1
- Suarez Valle, G. J., y Rivera Zeledón, R. E. (2016). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia, mediante el uso de pilas de captación en la Comunidad Santa Julia, El Crucero, Managua, 2016* [Trabajo Especial de Graduación, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3397/1/tnp10s939.pdf>
- Tamara Polo, L.A y Hernández, J.D (2016). *Capacidad de campo y punto de marchitez permanente*. https://www.academia.edu/40050765/Informe_CAPACIDAD_DE_CAMPO_Y_PUNTO_DE_MARCHITEZ_PERMANENTE_fisiolog%C3%ADa_vegetal_the_United_Nations,_Roma,_144_p
- Tinoco Castillo, F.J y Aráuz Lopez, O.I (2014). *Efecto de tres niveles de fertilización sintetica en el comportamiento agronómico y rendimiento productivo del cultivo de chiltoma (Capsicum annumm), El Chile, Matagalpa, II semestre 2013*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Archivo digital. <https://repositorio.unan.edu.ni/6990/1/6524.pdf>
- Tornés Olivera, N. (2016). *Parámetros de diseño y manejo del riego por surcos en el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris l.) en suelos fluvisoles*. <https://elibro.net/es/ereader/unanicaragua/91009?page=28>.
- Villacorta Ríos, P. A. (2017). *Diseño de un sistema de riego por goteo para cultivo de vid y granada para el fundo almudena en el distrito de salas provincia y departamento de ICA*. [Tesis de pregrado, universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3419/villacorta-rios-patricia-angelica.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Zamora Solórzano, M. (Sf). *Manejo de integrado de plagas Chiltoma*. [file:///C:/Users/CHAAC/Downloads/Manejo%20de%20plagas%20chiltoma%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/CHAAC/Downloads/Manejo%20de%20plagas%20chiltoma%20(1).pdf)

VIII. ANEXOS

Anexo1. Cálculo de la curva de infiltración

Tiempo	Intervalo entre lecturas (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia entre lecturas	Velocidad de Infiltración (cm/hr)
1	2	3	4	5	6
08:00	-	-	6	-	-
08:01	1	1	5.6	0.40	24
08:02	1	2	4.7	0.9	54
08:03	1	3	4.6	0.1	6
08:04	-	4	6	-	
08:05	1	5	5.7	0.3	18
08:06	1	6	5.3	0.4	24
08:11	-	7	4.1	-	
08:16	5	12	4	0.1	1.2
08:21	5	17	3.7	0.3	3.6
08:26	5	22	3.3	0.4	4.8
08:27	-	23	3.1	-	
08:32	5	28	2.8	0.3	3.6
08:37	5	33	2.4	0.4	4.8
08:38	-	34	6	-	
08:48	10	44	5.3	0.7	4.2
08:58	10	54	3.5	1.8	10.8
09:08	10	64	2.5	1	6
09:18	10	74	1.3	1.2	7.2
09:28	10	84	0.2	1.1	6.6
					178.8

Log t_{x_i}	Log I Y_i	X_i²	Y_i²	X_i Y_i
7	8	9	10	11
0.00	1.38	0.00	1.90	0.00
0.30	1.73	0.09	3.00	0.52
0.48	0.78	0.23	0.61	0.37
0.70	1.26	0.49	1.58	0.88
0.78	1.38	0.61	1.90	1.07
1.08	0.08	1.16	0.01	0.09
1.23	0.56	1.51	0.31	0.68
1.34	0.68	1.80	0.46	0.91
1.45	0.56	2.09	0.31	0.81
1.52	0.68	2.31	0.46	1.03
1.64	0.62	2.70	0.39	1.02
1.73	1.03	3.00	1.07	1.79
1.81	0.78	3.26	0.61	1.41
1.87	0.86	3.49	0.74	1.60
1.92	0.82	3.70	0.67	1.58
17.85	13.19	26.45	14.01	13.77

Ecuación de infiltración $I = Kt^n$ (Kostiakov- Lewis)

Método de regresión lineal simple Necesitamos linealizar la ecuación aplicando logaritmos a ambos términos, de esta forma se obtiene:

$$\mathbf{\log I = \log k + n \log t}$$

Que correspondería a una ecuación del tipo de una recta:

$$\mathbf{Y = b_0 + b_1 X}$$

Donde:

$$Y = \log I$$

$$b_0 = \log k$$

$$b_1 = n$$

$$X = \log t$$

Además:

Y = velocidad de infiltración.

X = tiempo.

b1 se calcula como:

$$b_1 = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

Aplicación: Se tiene la ecuación:

$$Y = b_0 + b_1 X$$

Despejando:

$$b_0 = Y - b_1 X$$

Podemos encontrar la media como:

$$Y = \frac{\sum Y_i}{n} = \frac{13.19}{15} = 0.88$$

$$X = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{17.85}{15} = 1.19$$

Además, si sabemos que:

$$b_1 = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

Sustituyendo:

$$b_1 = \frac{13.77 - \frac{(17.85)(13.19)}{15}}{26.45 - \frac{(17.85)^2}{15}} = -0.37$$

Sustituyendo para b0:

$$b_0 = Y - b_1 X = (0.88) - (-0.37)(1.19)$$

$$b_0 = 1.32$$

Ahora bien, si se considera la ecuación linealizada:

$$\mathbf{\log I = \log k + n \log t}$$

y como ya sabemos:

$$b_0 = \log k$$

Por lo tanto:

$$K = \text{antlog } b_0 = \text{antlog } 1.32$$

$$K = 20.88$$

Y además:

$$b_1 = n$$

Por tanto:

$$n = -0.37$$

Finalmente, el modelo de Kostiakov-Lewis será:

$$I = (20.88)t^{-0.37}$$

Infiltración acumulada

Si la ecuación tiene la forma de:

$$Z = \frac{k}{(n+1)} t^{n+1}$$
$$Z = 0.55 t^{0.63}$$

Tiempo (minutos)	Infiltración ajustada (cm. hora ⁻¹)	Infiltración Acumulada (cm. hora-1)
2	16.15	0.85
3	13.90	1.10
4	12.50	1.32
6	10.76	1.70
12	8.33	2.63
17	7.32	3.28
22	6.65	3.86
28	6.09	4.49
33	5.73	4.98
44	5.15	5.97
54	4.77	6.79
64	4.48	7.56
74	4.25	8.28
84	4.05	8.97

Anexo 2. Cálculos de láminas de riego

1. Cálculos de riego para el cultivo de chiltoma (*capsicum annuum l.*) Para la etapa inicial

Datos generales

Da: 1.27 g cm⁻³

CC: 37.50 %

PMP: 20.52 %

ΔH: 10 cm = 0.10 m

Eto: 4.8 mm día⁻¹

El: 1 m

Ee: 30 cm = 0.30 m

Lp: 60 % CC ⇔ Lp: 22.50 %

Eo: 90 %

qe: 1 litros. hora⁻¹

Kc: 0.35

• Sistema de riego por goteo Superficial

Lámina neta (Ln)

$$\begin{aligned}Ln &= 100 \times \Delta H \times Da \times (CC - Lp) \\Ln &= 100 \times 0.10 \text{ m} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times (37.5 \% - 22.5 \%) \\Ln &= 190.5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \div 10 \\Ln &= 19.05 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lámina bruta (Lb)

$$\begin{aligned}Lb &= \frac{Ln}{Eo} \\Lb &= \frac{19.05 \text{ mm}}{0.90} \\Lb &= 21.17 \text{ mm}\end{aligned}$$

Intensidad de aplicación (Ia)

$$\begin{aligned}Ia &= \frac{Qe}{Es \times Ee} \\Ia &= \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{horas}}{1 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}} \\Ia &= 0.00333 \text{ m/horas} \times 1000 \\Ia &= 3.33 \text{ mm/horas}\end{aligned}$$

Tiempo de riego (Tr)

$$\begin{aligned}Tr &= \frac{Lb}{Ia} \\Tr &= \frac{21.17 \text{ mm}}{3.33 \text{ mm/horas}} \\Tr &= 6.36 \text{ horas}\end{aligned}$$

Intervalo de riego (Ir)

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

$$Ir = \frac{21.17 \text{ mm}}{4.8 \text{ mm/día} \times 0.35}$$

$$Ir = 12.60 \approx 13 \text{ dias}$$

- **Sistema de riego por goteo subsuperficial**

Lámina neta (Ln)

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

$$Ln = 100 \times 0.07 \text{ m} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times (37.5 \% - 22.5 \%)$$

$$Ln = 133.34 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \div 10$$

$$Ln = 13.34 \text{ mm}$$

Lámina bruta (Lb)

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

$$Lb = \frac{13.34 \text{ mm}}{0.90}$$

$$Lb = 14.82 \text{ mm}$$

Intensidad de aplicación (Ia)

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

$$Ia = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{horas}}{1 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}}$$

$$Ia = 0.00333 \text{ m/horas} \times 1000$$

$$Ia = 3.33 \text{ mm/horas}$$

Tiempo de riego (Tr)

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

$$Tr = \frac{14.82 \text{ mm}}{3.33 \text{ mm/horas}}$$

$$Tr = 4 \text{ horas}$$

Intervalo de riego (Ir)

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

$$Ir = \frac{14.82}{4.8 \times 0.35}$$

$$Ir = 9 \text{ dias}$$

- **Sistema de riego por surcos**

C: 0.55
 b: 0.63
 Eo: 60 %
 Kc: 0.35

Cálculo de la lámina bruta

- **Calcular la capacidad de estanque para el suelo arcilloso (Ce)**

$$Ce = \frac{(CC-PMP)}{100} \times Da \times Ps = \frac{(37.5\% - 20.52\%)}{100} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times 10 \text{ cm}$$

$$Ce = 2.16 \text{ cm}$$

Entonces,

$$Lb = \frac{Ce}{Eo} = \frac{2.16 \text{ cm}}{0.60} = 3.6 \text{ cm} = 36 \text{ mm}$$

Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc)

$$ETc = ETo \times Kc = 4.8 \times 0.35 = 1.68 \text{ mm/dia}$$

Cálculo del intervalo de riego (Ir)

$$Ir = \frac{Lb}{ETc} = \frac{36}{1.68} = 21.42 \approx 21 \text{ dias}$$

Cálculo del tiempo de riego (Tr)

Tomando en cuenta la ecuación anterior tenemos que,

$$Tr = \left(\frac{Lb}{C} \right)^{1/b}$$

En donde,

Tr = tiempo de riego (minutos)

Lb = Lámina bruta (cm)

C = constante que representa la infiltración en el primer minuto

b = pendiente de la curva de infiltración acumulada

Al sustituir se obtiene,

$$Tr = \left(\frac{3.6}{0.55} \right)^{1/0.63}$$

$$t = 19.73 \text{ minutos}$$

Cálculo del tiempo de avance (Ta)

$$Ta = \frac{1}{4} Tr$$
$$Ta = \frac{1}{4} * 19.73$$
$$Ta = 4.93 \text{ minuto}$$

Cálculo del tiempo total de riego (Tt)

$$Tt = Tr + Ta = 19.73 + 4.93$$
$$Tt = 24.66 \text{ minutos}$$

2. Cálculos de riego para el cultivo de chiltoma (*capsicum annuum l.*) Para la etapa media

Datos generales

Da: 1.27 g.cm⁻³

CC: 37.50 %

PMP: 20.52 %

ΔH: 15 cm = 0.15 m

Eto: 4.8 mm. día⁻¹

El: 1 m

Ee: 30 cm = 0.30 m

Lp: 60 % CC ⇔ Lp: 22.50 %

Eo: 90 %

qe: 1 litros. hora⁻¹

Kc: 1.05

- Sistema de riego por goteo superficial

Lámina neta (Ln)

$$Ln = 100 \times \Delta H \times Da \times (CC - Lp)$$
$$Ln = 100 \times 0.15 \text{ m} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times (37.5 \% - 22.5 \%)$$
$$Ln = 285.75 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \div 10$$
$$Ln = 28.58 \text{ mm}$$

Lámina bruta (Lb)

$$Lb = \frac{Ln}{Eo}$$
$$Lb = \frac{28.58 \text{ mm}}{0.90}$$
$$Lb = 31.76 \text{ mm}$$

Intensidad de aplicación (Ia)

$$Ia = \frac{Qe}{Es \times Ee}$$
$$Ia = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{horas}}{1 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}}$$

$$Ia = 0.00333 \text{ m/horas} \times 1000$$

$$Ia = 3.33 \text{ mm/horas}$$

Tiempo de riego (Tr)

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

$$Tr = \frac{31.76 \text{ mm}}{3.33 \text{ mm/horas}}$$

$$Tr = 9.54 \text{ horas}$$

Intervalo de riego (Ir)

$$Ir = \frac{Lb}{\frac{Eto \times Kc}{31.76 \text{ mm}}}$$

$$Ir = \frac{31.76 \text{ mm}}{4.8 \text{ mm/día} \times 1.05}$$

$$Ir = 6.30 \approx 6 \text{ dias}$$

- **Sistema de riego por goteo subsuperficial**

Lámina neta (Ln)

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

$$Ln = 100 \times 0.12 \text{ m} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times (37.5 \% - 22.5 \%)$$

$$Ln = 228.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \div 10$$

$$Ln = 22.86 \text{ mm}$$

Lámina bruta (Lb)

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

$$Lb = \frac{22.86 \text{ mm}}{0.90}$$

$$Lb = 25.4 \text{ mm}$$

Intensidad de aplicación (Ia)

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

$$Ia = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{horas}}{1 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}}$$

$$Ia = 0.00333 \text{ m/horas} \times 1000$$

$$Ia = 3.33 \text{ mm/horas}$$

Tiempo de riego (Tr)

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

$$Tr = \frac{25.4 \text{ mm}}{3.33 \text{ mm/horas}}$$

$$Tr = 7.62 \text{ horas}$$

Intervalo de riego (Ir)

$$Ir = \frac{Lb}{\frac{Eto \times Kc}{25.4 \text{ mm}}}$$

$$Ir = \frac{25.4 \text{ mm}}{4.8 \text{ mm/día} \times 1.05}$$

$$I_r = 5 \text{ dias}$$

- **Sistema de riego por surcos**

Otros datos

$$C: 0.55$$

$$b: 0.63$$

$$E_o: 60 \%$$

$$K_c: 1.05$$

Cálculo de la lámina bruta

- **Calcular la capacidad de estanque para el suelo arcilloso (C_e)**

$$C_e = \frac{(CC - PMP)}{100} \times Da \times \Delta H = \frac{(37.5\% - 20.52\%)}{100} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times 15 \text{ cm}$$

$$C_e = 3.23 \text{ cm}$$

Entonces,

$$L_b = \frac{C_e}{E_o} = \frac{3.23}{0.60} = 5.38 \text{ cm} = 53.8 \text{ mm}$$

Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c)

$$ET_c = ET_o \times K_c = 4.8 \times 1.05 = 5.04 \text{ mm/dia}$$

Cálculo del intervalo de riego (I_r)

$$I_r = \frac{L_b}{ET_c} = \frac{53.8}{5.04} = 10.67 \approx 11 \text{ dias}$$

Cálculo del tiempo de riego (Tr)

Tomando en cuenta la ecuación anterior tenemos que,

$$Tr = \left(\frac{L_b}{C} \right)^{1/b}$$

En donde,

Tr = tiempo de riego (minutos)

L_b = Lámina bruta (cm)

C = constante que representa la infiltración en el primer minuto

b = pendiente de la curva de infiltración acumulada

Al sustituir se obtiene,

$$Tr = \left(\frac{5.38}{0.55} \right)^{1/0.63}$$

$$t = 37.33 \text{ minutos}$$

Cálculo del tiempo de avance (Ta)

$$Ta = \frac{1}{4} Tr$$

$$Ta = \frac{1}{4} * 37.33$$

$$Ta = 9.33 \text{ minutos}$$

Cálculo del tiempo total de riego (Tt)

$$Tt = Tr + Ta = 37.33 + 9.33$$

$$Tt = 46.66 \text{ minutos}$$

3. Cálculos de riego para el cultivo de chiltoma (*capsicum annuum L.*) Para la etapa final

Datos generales

Da: 1.27 g.cm⁻³

CC: 37.50 %

PMP: 20.52 %

ΔH: 15 cm = 0.15 m

Eto: 4.8 mm. día⁻¹

El: 1 m

Ee: 30 cm = 0.30 m

Lp: 60 % CC ⇔ Lp: 22.50 %, Doorenbos et al; (1997)

Eo: 90 %

qe: 1 litros. hora⁻¹

Kc: 0.90

• Sistema de riego por goteo superficial

Lámina neta (Ln)

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

$$Ln = 100 \times 0.15 \text{ m} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times (37.5 \% - 22.5 \%)$$

$$Ln = 285.75 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \div 10$$

$$Ln = 28.58 \text{ mm}$$

Lámina bruta (Lb)

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

$$Lb = \frac{28.58 \text{ mm}}{0.90}$$

$$Lb = 31.76 \text{ mm}$$

Intensidad de aplicación (Ia)

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

$$Ia = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{horas}}{1 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}}$$

$$Ia = 0.00333 \text{ m/horas} \times 1000$$

$$Ia = 3.33 \text{ mm/horas}$$

Tiempo de riego (Tr)

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

$$Tr = \frac{31.76 \text{ mm}}{3.33 \text{ mm/horas}}$$

$$Tr = 9.54 \text{ horas}$$

Intervalo de riego (Ir)

$$Ir = \frac{Lb}{\frac{Eto \times Kc}{31.76 \text{ mm}}}$$

$$Ir = \frac{31.76 \text{ mm}}{4.8 \text{ mm/día} \times 1.05}$$

$$Ir = 6.30 \approx 6 \text{ dias}$$

- **Sistema de riego por subsuperficial**

Lámina neta (Ln)

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

$$Ln = 100 \times 0.12 \text{ m} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times (37.5 \% - 22.5 \%)$$

$$Ln = 228.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \div 10$$

$$Ln = 22.86 \text{ mm}$$

Lámina bruta (Lb)

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

$$Lb = \frac{22.86 \text{ mm}}{0.90}$$

$$Lb = 25.4 \text{ mm}$$

Intensidad de aplicación (Ia)

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

$$Ia = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{horas}}{1 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}}$$

$$Ia = 0.00333 \text{ m/horas} \times 1000$$

$$Ia = 3.33 \text{ mm/horas}$$

Tiempo de riego (Tr)

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

$$Tr = \frac{25.4 \text{ mm}}{3.33 \text{ mm/horas}}$$

$$Tr = 7.62 \text{ horas}$$

Intervalo de riego (Ir)

$$Ir = \frac{Lb}{\frac{Eto \times Kc}{25.4 \text{ mm}}}$$
$$Ir = \frac{4.8 \text{ mm/día} \times 0.9}{Ir = 6 \text{ dias}}$$

- **Sistema de riego por surcos**

Otros datos

C: 0.55

b: 0.63

Eo: 60 %

Kc: 0.90

Cálculo de la lámina bruta

- **Calcular la capacidad de estanque para el suelo arcilloso (Ce)**

$$Ce = \frac{(CC-PMP)}{100} \times Da \times \Delta H = \frac{(37.5\% - 20.52\%)}{100} \times 1.27 \text{ g/cm}^3 \times 15 \text{ cm}$$

$$Ce = 3.23 \text{ cm}$$

Entonces,

$$Lb = \frac{Ce}{Eo} = \frac{3.23}{0.60} = 5.38 \text{ cm} = 53.8 \text{ mm}$$

Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc)

$$ETc = ETo \times Kc = 4.8 \times 0.90 = 4.32 \text{ mm/día}$$

Cálculo del intervalo de riego (Ir)

$$Ir = \frac{Lb}{ETc} = \frac{53.8}{4.32} = 12.45 \approx 12 \text{ días}$$

Cálculo del tiempo de riego (Tr)

Tomando en cuenta la ecuación anterior tenemos que,

$$Tr = \left(\frac{Lb}{C}\right)^{1/b}$$

En donde,

Tr = tiempo de riego (minutos)

Lb = Lámina bruta (cm)

C = constante que representa la infiltración en el primer minuto

b = pendiente de la curva de infiltración acumulada

Al sustituir se obtiene,

$$Tr = \left(\frac{5.38}{0.55} \right)^{1/0.63}$$

$t = 37.33$ minutos

Cálculo del tiempo de avance (Ta)

$$Ta = \frac{1}{4} Tr$$

$$Ta = \frac{1}{4} * 37.33$$

$Ta = 9.33$ minutos

Cálculo del tiempo total de riego (Tt)

$$Tt = Tr + Ta = 37.33 + 9.33$$

$Tt = 46.66$ minutos

Anexo 3. Cálculos de pérdidas de carga en el sistema

Tubería de conducción

Datos

$D_{\text{interno}}: 1 \frac{1}{2}'' = 45.22 \text{ mm} = 0.04522 \text{ m}$

C: 150

L: 60 m

V: 12 litros = 0.012 m³

t: 8 s

- **Caudal**

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0.012 \text{ m}^3}{8 \text{ s}}$$
$$Q = 0.0015 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow 5.4 \text{ m}^3 \cdot \text{horas}^{-1}$$

- **Pérdidas de carga**

$$H_f = 10.67 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \cdot \frac{L}{D^{4.87}}$$
$$H_f = 10.67 \left(\frac{0.0015 \text{ m}^3/\text{s}}{150} \right)^{1.852} \cdot \frac{60 \text{ m}}{(0.04522 \text{ m})^{4.87}}$$
$$H_f = 1.24 \text{ m}$$

- **Velocidad en función del caudal**

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(0.04522 \text{ m})^2/4}$$
$$V = 0.93 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Tubería Lateral

Datos

$D_{\text{interno}}: 1 \frac{1}{2}'' = 45.22 \text{ mm} = 0.04522 \text{ m}$

C: 150

L: 33 m

V: 12 litros = 0.012 m³

t: 8 s

- **Caudal**

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0.012 \text{ m}^3}{8 \text{ s}}$$
$$Q = 0.0015 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow 5.4 \text{ m}^3 \cdot \text{horas}^{-1}$$

- **Pérdidas de carga**

$$H_f = 10.67 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \cdot \frac{L}{D^{4.87}}$$
$$H_f = 10.67 \left(\frac{0.0015 \text{ m}^3/\text{s}}{150} \right)^{1.852} \cdot \frac{33 \text{ m}}{(0.04522 \text{ m})^{4.87}}$$

$$H_f = 0.68 \text{ m}$$

- **Velocidad en función del caudal**

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(0.04522 \text{ m})^2/4}$$

$$V = 0.93 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Perdidas corregidas con factor de Christiansen

- **Aplicar factor de salida de Christiansen**

$$N^\circ SL = \frac{LTS}{E_{surco}}$$

Datos

LTS: 33 m

E_{surco}: 1 m

$$N^\circ SL = \frac{33 \text{ m}}{1 \text{ m}}$$

$$N^\circ SL = 33 \text{ salidas}$$

- **Encontrando el factor**

Respecto al cuadro el factor que corresponde al número de 33 salidas no se encuentra por tal razón se tomara en cuenta el número de salidas de 35 que corresponde al factor siguiente:

$$Factor = 0.365$$

- **Pérdidas por fricción corregidas con Christiansen.**

$$H_{fc} = H_f \times Factor$$

$$H_{fc} = 0.68 \text{ m} \times 0.365$$

$$H_{fc} = 0.25 \text{ m}$$

Goteo

Datos

D: 0.63" = 16 mm = 0.016 m

C: 140

L: 41 m

V: 10 litros = 0.01 m³

t: 50 s

Nº de salidas	d = 1	Nº de salidas	d = 1/2
1	1.000	1	1.000
2	0.639	2	0.518
3	0.535	3	0.441
4	0.486	4	0.412
5	0.457	5	0.397
6	0.435	6	0.387
7	0.425	7	0.381
8	0.415	8	0.377
9	0.409	9	0.374
10	0.402	10	0.371
11	0.397	11	0.369
12	0.394	12	0.367
13	0.391	13	0.366
14	0.387	14	0.365
15	0.384	15	0.364
16	0.382	16	0.363
17	0.380	17	0.362
18	0.379	18	0.361
19	0.377	19	0.361
20	0.376	20	0.360
22	0.374	22	0.359
24	0.372	24	0.359
26	0.370	26	0.358
28	0.369	28	0.357
30	0.368	30	0.357
35	0.365	35	0.356
40	0.364	40	0.355
50	0.361	50	0.354
60	0.359	100	0.353
80	0.357	200	0.352
100	0.356		
150	0.354		
300	0.353		

Valores para el número de salidas de lateral por Christiansen.

- **Caudal**

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0.01 \text{ m}^3}{50 \text{ s}}$$

$$Q = 0.0002 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow 0.72 \text{ m}^3 \cdot \text{horas}^{-1}$$

- **Pérdidas de carga**

$$Hf = 10.67 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \cdot \frac{L}{D^{4.87}}$$

$$Hf = 10.67 \left(\frac{0.0002 \text{ m}^3/\text{s}}{140} \right)^{1.852} \cdot \frac{41 \text{ m}}{(0.016 \text{ m})^{4.87}}$$

$$Hf = 3.65 \text{ m}$$

- **Velocidad en función del caudal**

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.00056 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(0.016 \text{ m})^2/4}$$

$$V = 0.99 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Perdidas corregidas con factor de Christiansen

- **Aplicar factor de salida de Christiansen**

$$N^{\circ}SL = \frac{LTS}{E_{gotero}}$$

Datos

LLC: 41 m

E_{gotero}: 0.30 m

$$N^{\circ}SL = \frac{41 \text{ m}}{0.30 \text{ m}}$$

$$N^{\circ}SL = 137 \text{ salidas}$$

- **Encontrando el factor**

Respecto al cuadro el factor que corresponde al número de 137 salidas no se encuentra por tal razón se tomara en cuenta el número de salidas de 150 que corresponde al factor siguiente:

$$Factor = 0.354$$

- **Pérdidas por fricción corregidas con Christiansen.**

$$Hfc = Hf \times Factor$$

$$Hfc = 3.65 \text{ m} \times 0.354$$

$$Hfc = 1.29 \text{ m}$$

Nº de salidas	d = 1	Nº de salidas	d = 1/2
1	1.000	1	1.000
2	0.639	2	0.518
3	0.535	3	0.441
4	0.486	4	0.412
5	0.457	5	0.397
6	0.435	6	0.387
7	0.425	7	0.381
8	0.415	8	0.377
9	0.409	9	0.374
10	0.402	10	0.371
11	0.397	11	0.369
12	0.394	12	0.367
13	0.391	13	0.366
14	0.387	14	0.365
15	0.384	15	0.364
16	0.382	16	0.363
17	0.380	17	0.362
18	0.379	18	0.361
19	0.377	19	0.361
20	0.376	20	0.360
22	0.374	22	0.359
24	0.372	24	0.359
26	0.370	26	0.358
28	0.369	28	0.357
30	0.368	30	0.357
35	0.365	35	0.356
40	0.364	40	0.355
50	0.361	50	0.354
60	0.359	100	0.353
80	0.357	200	0.352
100	0.356		
150	0.354		
300	0.353		

Valores para el número de salidas de lateral por Christiansen.

Anexo 4. Cálculos de cosecha de agua

Datos de cosecha de agua

$$D = 30.5 \text{ m}$$

$$h = 1.35 \text{ m}$$

Solución

$$V = A \cdot h \quad \rightarrow \quad V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h$$
$$V = \frac{\pi \cdot (30.5 \text{ m})^2}{4} \cdot 1.35 \text{ m}$$

$$V = 986.33 \text{ m}^3$$

Anexo 5. Cálculos de pérdidas de agua por evapotranspiración

1. Evapotranspiración

$$Evap. = 10 * S * E$$

Donde:

S: área de espejo de agua, en ha.

E: evaporación, en mm/mes.

Datos

$$D = 30.5 \text{ m}$$

$$E = 4.8 \text{ mm/día}$$

Encontrar el Área de espejo de agua para la cosecha de agua

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$
$$S = \frac{\pi \cdot (30.5 \text{ m})^2}{4}$$

$$S = 730.62 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad S = 0.073 \text{ ha}$$

Conversión de la evapotranspiración de mm/día a mm/mes

$$E = 4.8 \text{ mm/día} * 30 \text{ días} = 144 \text{ mm/mes}$$

Por tanto

$$Evap. = 10 * S * E = 10 * 0.073 * 144$$

$$Evap = 105.12 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} * 3 = 315.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

Ahora convertir los $315.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ tomando en cuenta el area total en estudio que son 432 m^2

$$315.6 \text{ m}^3 = 10000 \text{ m}^2$$

$$X = 432 \text{ m}^2$$

$$X = 13.63 \text{ m}^3$$

Anexo 6. Cálculos de análisis de productividad del agua (kg m^3)

Factores	Tratamientos	Lb total (m^3)	Lb total ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Rendimiento (kg ha^{-1})	Wp (kg m^3)
Riego por goteo superficial	Linf	86.30	1997.60	1933.87	0.97
	Lop	95.43	2209.10	2041.4	0.92
	Lsp	122.88	2844.40	1801.64	0.63
Riego por goteo subsuperficial	Linf	33.21	768.80	1956.58	2.54
	Lop	32.30	747.80	1718.12	2.30
	Lsp	37.78	874.60	1905.62	2.18
Riego por surco	Linf	70.33	1628	1717.37	1.05
	Lop	101.35	2346	1818.28	0.78
	Lsp	136.21	3153	1760.49	0.56

Anexo 7. Pruebas de infiltración y muestreo de suelo



Anexo 8. Limpieza de maleza dentro de las parcelas experimentales



Anexo 9. Sistemas de riego evaluados en las parcelas experimentales



Anexo 10. Medición de variables agronómicas



Anexo 11. Cosecha de chiltoma obtenida de las parcelas experimentales

