



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

**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**

Autores

**Br. María de los Ángeles Medrano Rodríguez
Br. Rosa Idalia Reyes Mejía**

Asesores

**Ing. MSc. Joel Isaías Angulo Rocha
Ing. Carmen Margarita Castillo Cerna**

**Managua, Nicaragua
Enero, 2021**



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

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

Autores:

Br. María de los Ángeles Medrano Rodríguez
Br. Rosa Idalia Reyes Mejía

Asesores

Ing. MSc. Joel Isaías Angulo Rocha
Ing. Carmen Margarita Castillo

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

Managua, Nicaragua
Enero, 2021

Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

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

Ingeniero Agrícola para el Desarrollo Sostenible

Miembros del Tribunal Examinador

Presidente (Grado académico y nombre)

Secretario (Grado académico y nombre)

Vocal (Grado académico y nombre)

Lugar y Fecha: _____

DEDICATORIA

El presente trabajo de culminación de estudios primeramente agradezco a Dios por darme la vida, la salud y las fuerzas que me permitieron llegar hasta este punto importante de mi vida.

A mi padre Miguel Ángel Medrano Blanco y a mi madre María Salomé Rodríguez Solórzano, son mi ejemplo a seguir. Por ayudarme durante toda mi vida. Me demostraron que lo más importante para un ser humano es el servicio a los demás y que para vivir una vida sin arrepentimientos los actos se hacen con amor. Además, a mis amigos y personas que he conocido a lo largo de la carrera que han ayudado a definirme en esta vocación y culminar este proceso de mi vida.

María de los Ángeles Medrano Rodríguez.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de culminación de estudio a Dios quien ha sido mi forjador de vida el que siempre me acompaña infinitamente gracias por llevarme hasta esta etapa de mi vida

Infinitamente gracias a mis padres Nelson Antonio Reyes Ramírez y Rosa del Carmen Mejía Orozco por haberme forjado con reglas y libertades, siempre han sido en mi vida un pilar tanto emocional y económicamente, gracias por ayudarme y compartir este logro con ustedes, me llena de gozo, gracias por estar siempre para mí, son mi orgullo e inspiración, quien con mucha dedicación y esmero me ayudaron a llegar a este momento importante de mi vida, que a pesar de la pobreza se sacrificaron y me impulsaron a no caer.

De manera muy en especial a mi pareja Adolfo Fernando Álvarez Ruiz quien con mucho amor, esmero y sacrificio ha estado conmigo incondicionalmente, tu apoyo ha sido fundamental en mi vida y en mi carrera profesional, gracias por estar ahí en los momentos de angustia y de felicidad, el proceso no ha sido fácil pero siempre estás conmigo para motivarme, levantarme cuando ya no puedo, más gracias mi vida por ayudarme y hacer esto posible hasta donde tus alcances los permite, eres tu mi inspiración, orgullo, fortaleza y debilidad, te lo agradezco muchísimo mi amor.

A mis hermanos Rodrigo Reyes, Cristela Reyes, Brisa Reyes, Anielka Soza, Ana Galeano, Paul Vado por ser partícipes de este proceso tan bonito y estresante de mi vida y muy en especial a mi hermano Rodrigo quien desde pequeña estuvo conmigo en las buenas y en las malas gracias por ayudarme en cada momento que necesite de ti.

A cada persona que en mi vida fue protagonista gracias le doy a la familia Álvarez Ruiz, familia Medrano Rodríguez, Lilliam Ríos, Carmen margarita, Elda luz Zelaya, Isabel y Álvaro, David López, Elenita Sánchez.

Rosa Idalia Reyes Mejía

AGRADECIMIENTO

A Dios primeramente por ser nuestro maestro, nuestro guía quien ha estado en cada circunstancia de nuestras vidas es quien nos da aliento para salir adelante y avanzar en este proyecto profesional, a nuestros padres que son nuestros pilares. A nuestros asesores **Ing. MSc Joel Isaías Angulo Rocha**, e **Ing. Carmen Margarita Castillo Cerna** por brindarnos su apoyo incondicional y conocimientos.

La facultad de Agronomía FAGRO, al departamento de ingeniería agrícola (DIA) en especial al Ing. David López, Prof. Dr. Mauricio Alexander Vladimir González Salazar y a Elda luz Zelaya por facilitarnos las herramientas para llevar a cabo el proyecto antes mencionado.

María de los Ángeles Medrano Rodríguez
Rosa Idalia Reyes Mejía

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	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
III. MARCO DE REFERENCIA	3
3.1. Antecedentes del riego por goteo	3
3.1.1. Método de riego	3
Técnica de riego	3
3.2. Aspectos generales del riego por goteo	4
3.2.1. Condiciones que favorecen el riego por goteo	4
3.2.2. Factores que influyen en el riego por goteo	5
3.2.3. Factores que no favorecen el riego por goteo	5
3.3. Componentes del sistema de riego por goteo	5
3.4. Evaluación de sistema de riego por goteo	8
3.5. Variedades de aguacate presentes en Nicaragua	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1. Ubicación del área de estudio	12
4.2. Diseño de la unidad de riego por goteo El Plantel	12
4.4.1. Presión	14
4.4.2. Caudal	14
4.4.3. Coeficiente de uniformidad (CU)	15
4.4.4. Coeficiente de uniformidad de presión (Cuh)	15
4.4.5. Coeficiente de variación de fabricación	16

4.4.6. Coeficiente de variación total de caudales (CVTC)	17
4.4.7. Coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas	17
4.4.8. Coeficiente de variación de caudales debido a baja uniformidad de los emisores	18
4.4.9. Ecuación del emisor	18
4.4.10. Rectas de Regresión por mínimos cuadrados	20
4.5. Parámetros de diseño del régimen de riego del cultivo	20
4.5.1. Cálculo de la precipitación confiable al 75% (Ppt 75%)	21
4.5.2. Cálculo de la precipitación efectiva (Pe)	21
4.5.3. Cálculo de la evapotranspiración referencia mediante la fórmula simplificada Hargreaves	22
4.5.4. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (Etc)	22
4.5.5. Necesidades netas de riego del cultivo	23
4.5.6. Necesidades brutas de riego diario del cultivo del aguacate	23
4.5.7. Caudal aplicado por planta	24
4.5.8. Tiempo de riego	25
4.6. Cálculo de régimen de riego en condiciones de campo	25
4.6.1. Lámina de riego	25
4.7. Recolección de datos	25
4.7.1. Levantamiento Planimétrico	25
4.7.2. Medición de volúmenes	26
4.7.3. Medición de presiones	26
4.7.4. Conteo de número de goteros y árboles por lateral	26
4.7.5. Análisis de datos	26
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5.1. Caudal	27
5.2. Coeficiente de uniformidad de aplicación	27
5.3. Coeficiente de uniformidad de presión	28
5.4. Comparación del comportamiento caudal-presión del modelo MBTECH teórico, en condiciones de explotación	29
5.5. Regresión de mínimos cuadrados	30
5.6. Coeficiente de variación total de caudales (CVTC)	31
5.7. Coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas	31
5.8. Coeficiente de variación de caudales debido a baja uniformidad de los emisores (CVCBUE)	32
5.9. Régimen de riego en condiciones de campo	32

5.10. Régimen de riego teórico	33
VI. CONCLUSIONES	35
VII. RECOMENDACIONES	36
VIII. LITERATURA CITADA	37
IX. ANEXOS	40

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Requerimientos edafoclimaticos óptimos del cultivo del aguacate	11
2. Régimen en condiciones de campo	32
3. Necesidades de riego brutas	34

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Esquema de métodos y técnicas de riego	3
2. Mapa de ubicación del área de estudio de cofradías	12
3. Diseño metodológico de Merriam y Keller	14
4. Curva característica de caudal-presion de emisor modelo MBTECHPC	29
5. Curva característica de caudal-presion de emisor modelo MBTECHPC en condiciones de campo	30
6. Característica de caudal–presión de emisor modelo MBTECHPC corregido	31
7. Correlación de la evapotranspiracion efectiva del cultivo	33

INDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Muestras de caudal y presión en la unidad de riego en el cultivo de aguacate	41
2. Cuadro de precipitación promedio	42
3. Cuadro de temperatura media	43
4. Cuadro de temperatura mínima	44
5. Cuadro de temperatura máxima	45
6. Cuadro del cálculo de las necesidades para el cultivo	46
7. Cuadro de necesidades brutas de riego diario (NRB)	46
8. Cuadro de valores de eficiencia de la aplicación (EA) del riego en los sistemas de riego por goteo, relacionado con la textura (valores en climas áridos)	47
9. Cuadro de diámetro mojado por un emisor 4h^{-1}	47
10. Cuadro de rango de coeficiente de variación de fabricación	47
11. Cuadro de régimen de riego teórico para el cultivo de aguacate	48
12. Cuadro de estimación de valores del índice de precipitaciones (IP) para diferentes probabilidades	50
13. Cuadro de radiación solar extraterrestre	51
14. Reconocimiento del terreno y levantamiento topográfico	52
15. Toma de presión y observación del estado de las cintas de riego	53
16. Cabezal de la unidad de riego y manómetro	54

RESUMEN

Esta investigación en el 2019 fue para evaluar el funcionamiento de la unidad de riego por goteo en el cultivo de aguacate en el área experimental El Plantel, a partir de la metodología de Merriam y Keller (1978), que se basó en seleccionar 16 puntos en la unidad, distribuidos al inicio, 1/3, 2/3 y al final a lo largo y ancho de la unidad, formando una cuadrícula con el fin de evaluar la uniformidad de la distribución de agua en los emisores, en la unidad a partir del caudal y presión presente en el sistema. Se observó caudal encontrado en condiciones de explotación, es muy diferente al caudal nominal, obteniéndose por lo tanto un coeficiente de variación y ecuación del emisor diferentes a los datos teóricos. Con respecto al coeficiente de uniformidad (C_u) fue de 72.2% que se define como regular y el coeficiente de uniformidad de presión (C_{u_h}) fue de 90% que se considera excelente. El cultivo de aguacate demanda altas dosis de agua, la mayor dosis que requirió el cultivo fue para el mes de marzo de 201.09 litros por planta al día. Las dosis actuales en condiciones de campo son 63.3 litros al día.

Palabras claves: caudal, presión, coeficiente de uniformidad, régimen teórico, coeficiente de variación de fabricación.

ABSTRACT

This document was in 2019, about experimental investigation concerning evaluation drip irrigation system in the avocado trees crop with the method Merriam & Keller (1978). This method has to choose sixteen points located at begin, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ and end the hoses and four laterals at begin, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ and end forming a grid with the final purpose, describe the uniformity with flow rates and pressure of the emitter. It was done an analysis of the parameters about irrigation regime and parameters hydraulic regarding know how the drip system work. Discovered the emitter flow rates design for the company are different with the emitter flow rates in the field. The distribution uniformity (DU) was regular with 72.2% and the distribution uniformity due pressure was excellent with 90%. The avocado crop need high amount of water, in march it was the month that needed the most amount of water, the value was 201.09 liters per plant at day. In the field wet with 63.3 liter per plant at day.

Keywords: drip irrigation, flow rates, pressure, distribution uniformity, watering Schedule.

I. INTRODUCCIÓN

El sector Agrícola se ha desarrollado ante situaciones cada vez más hostiles, entre ellos los cambios climáticos siendo la sequía un problema cada vez más frecuente. Los sistemas de riego son una opción cada día más importante en la producción agrícola. Estos sistemas permiten complementar los requerimientos hídricos de los cultivos en condiciones de déficit de precipitaciones en época de lluvia y mantener la producción en época seca. El riego por goteo es un sistema de riego localizado de alta frecuencia que permite economizar las dosis de agua para el cultivo.

El sistema de riego fue instalado en el 2014 en la finca El Plantel. En este sistema existen tres unidades de riego por goteo. Estos sistemas tienen una vida útil de tres a cinco años según sus características constructivas. Por eso es necesario hacer evaluación periódica, antes de cada campaña de riego y cuando haya sospecha del mal funcionamiento del sistema.

En California fueron desarrollados varias técnicas sobre la evaluación de campo de los sistemas de riego por goteo y aspersión, estos fueron desarrollados entre la década de los 70 y a mediados de los 80. Se pueden encontrar varios documentos publicados sobre la teoría de distribución de uniformidad, pero la que es más utilizable internacionalmente para el desarrollo de la evaluación en el campo, es la de Merriam y Keller (1978). Los ingenieros en la historia han confirmado la viabilidad de este procedimiento.

A través de la evaluación de uniformidad se puede encontrar diferentes problemas en el riego por goteo entre ellos: la baja uniformidad de aplicación debido a factores constructivos de los goteros, obturaciones, inadecuado diseño hidráulico. Estos inducen un bajo rendimiento del cultivo en consecuencia una baja rentabilidad.

El propósito del trabajo fue valorar el comportamiento hidráulico de la unidad de riego por goteo en el cultivo del aguacate (*Persea americana mil*) en la finca experimental El plantel a través de las variables de presión y caudal que caracterizan el funcionamiento del sistema.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Valorar el manejo de la unidad de riego por goteo en el cultivo de aguacate (*Persea americana mil*).

2.2. Objetivos específicos

- Aplicar la metodología de Merriam y Keller en la evaluación de la uniformidad de riego por goteo.
- Comparar el régimen de riego de explotación con el régimen de riego teórico programado con datos climáticos en el cultivo de aguacate.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Antecedentes del riego por goteo

El riego por goteo se inició en Alemania en 1860, se experimentó la sub-irrigación con tuberías de arcilla para combinar la irrigación con sistema de drenaje. La tecnología moderna surgió a partir de los israelitas Simcha Blass y su hijo Yeshayahu. Este método de riego localizado en vez de liberar el agua por agujeros minúsculos, el agua se liberaba por tuberías más grandes y más largas empleando el frotamiento para ralentizar la velocidad del agua en el interior de un emisor (gotero) de plástico. Años más tarde el primer sistema experimental de este tipo fue establecido en 1959 cuando la familia de Blass en el Kibutz Hatzerim creó la compañía de riegos llamada Netafim (Roblero y Mejía, 2012, p.2).

3.1.1. Método de riego

El método de riego se define en el modo de aplicar el agua a las parcelas regadas. En la actualidad hay tres métodos de riego utilizados para aplicar agua al suelo: riego por gravedad o superficial (riego por inundación), riego aéreo y riego localizado (Santos L, *et al*, 2010, p.112), (Figura 1).

❖ Técnica de riego

Se define como conjunto de equipamientos y técnicas que proporcionan esa aplicación siguiendo un método dado.

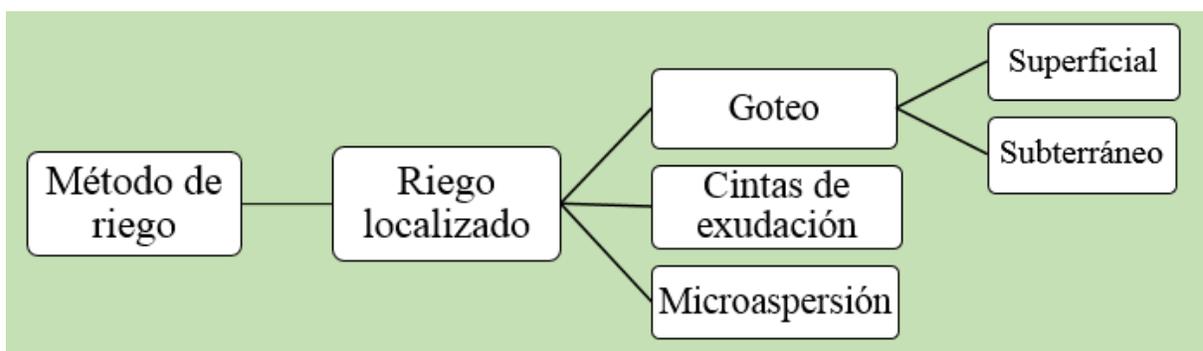


Figura 1. Esquema de método y técnicas de riego

3.2. Aspectos generales del riego por goteo

Los sistemas de riego por goteo permiten conducir el agua mediante una red de mangueras y emisores que entregan pequeños volúmenes de agua en forma periódica. El agua se aplica a través de goteros. Para esto se necesita un sistema presurizado que conduzca y distribuya el agua por conductos cerrados (Liotta, *et al*, 2015, p.5).

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 les denominan de alta frecuencia, lo que permite regar desde una a dos veces por día, con frecuencia diaria o algunos días, dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del cultivo. La posibilidad de efectuar riegos frecuentes permite reducir notoriamente el peligro de estrés hídrico, ya que es posible mantener la humedad del suelo a niveles óptimos durante todo el período de cultivo, mejorando las condiciones para el desarrollo de las plantas (2015, p. 5).

3.2.1. Condiciones que favorecen el riego por goteo

- Se puede utilizar en todos los cultivos en hilera, es apropiado para hortalizas y frutales.
- Se adapta en terrenos con pendientes altas y en terrenos irregulares o rocosos (Espinoza, 2016, p.16).
- En riego por goteo, las cargas para su funcionamiento son menores que en riego por aspersión que lo hace de un fácil manejo, para su operación no necesita mano de obra experimentada (2016, p. 16).
- No es afectado por el viento y la evapotranspiración se hace prácticamente baja hasta casi nula si las cintas están enterradas (2016, p.16).
- Se puede utilizar en zonas donde existen bajos caudales en las fuentes, además si la fuente de abastecimiento está a una mayor altura del área de riego no necesita altas presiones, esta puede suministrar fácilmente el agua sin ninguna bomba (2016, p. 16).

3.2.2. Factores que influyen en el riego por goteo

Según Briones y García (2015) los suelos se deben caracterizar con un buen drenaje que facilite el desplazamiento del agua pueden ser de suelos variables que no sufran de apelmazamiento. Otra condición que lo favorece a comparación de otras técnicas de riego presurizado explica Maldonado (2001) este se adapta a varias condiciones de topografía y pendiente. Así por ejemplo el riego por aspersión se puede implementar en un suelo con pendiente hasta del 20%; en cambio el riego por micro aspersión y goteo en terrenos con pendientes de hasta el 60%. Es decir que el riego por goteo no tiene necesidad de nivelación del terreno en comparación a otros sistemas.

La disponibilidad del agua se calculó con las demandas que presente el cultivo donde se estableció el sistema de riego. Según Alvarado y Serapio (2016) la unidad necesita abastecerse diariamente de 10,512 litros de agua para poder suministrarle la dosis necesaria al cultivo durante el tiempo de riego de dos horas

3.2.3. Factores que no favorecen el riego por goteo

- Necesita una buena supervisión por la facilidad con que los orificios de los goteros se obstruyen, principalmente cuando se utiliza agua de mala calidad y no se hace un filtrado adecuado de la misma (Palomino, 2009, p.29).
- El costo de la mano de obra y el costo de fertilizante es elevado (2009, p.29).

3.3. Componentes del sistema de riego por goteo

El sistema de riego por goteo consiste de un sistema de carga y una red de tubería de distribución este debe constar de los siguientes componentes: fuente de abastecimiento de agua, equipo de bombeo, cabezal principal, filtros, tubería de conducción principal, tubería terciaria, cabezales de campo y laterales de riego con emisores. El abastecimiento para el equipo de riego provino de aguas subterráneas localizada en El Plantel. El pozo fue construido en el 2012 por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (Alvarado y Serapio, 2016, p.5).

1. Equipo de bombeo: está constituido por uno o más bombas cuyo tamaño y potencia depende de la superficie para regar. El dimensionamiento de la bomba debe ser tal que la presión requerida sea la suficiente para vencer las diferencias de cota y las pérdidas de carga de todo el sistema (Palomino, 2009, p.72).

Según (AQUATEC, 2012) el equipo de bombeo usado en área experimental fue una bomba turbina sumergible acoplada al motor Franklin eléctrico. Este suministra el caudal de 1875 a 2250 lpm, la carga nominal total oscila 160.02 mca 185.928 mca y la potencia de 100 HP (Alvarado y Serapio, 2016, p.8).

2. Cabezal de riego: es el conjunto de elementos que dominan a toda la instalación y sirve para: proveer presión y caudal al sistema, filtrar el agua, inyectar fertilizante, medir volumen (Palomino, 2009, p.70).

3. El filtro: debido a las pequeñas aperturas usadas en los goteros, el agua debe estar libre de partículas que pudieran tapanlas. Esta requiere de una filtración extremadamente buena lo que implica el uso de equipos costosos con un servicio apropiado de mantenimiento (Briones y García 2007, p.188).

La unidad de riego de aguacate tiene instalado en el cabezal un filtro de arena. Este es una estructura de metal o plástico, reforzado con arena o grava tamizada que sirve de filtración con un tamaño adecuado para liberar impurezas (Palomino, 2009, p.78).

4. Tuberías laterales: suelen ser normalmente de plástico se encuentran dispuestos en el sistema de riego estos podrían ser de tubería de policloruro de vinilo (PVC) es un material rígido y bastante frágil, suele usarse con diámetros mayores a 50 mm, en cambio la Tubería de polietileno (PE): es flexible y fácilmente manejable, se usa hasta diámetro de 50 mm (2010, p.26). Se instalaron mangueras de 20 mm con un espesor de pared de 1.3 mm de 129 m de largo. (Fernández, 2010, p.26).

5. Emisores: La función de los emisores es la de causar una caída de presión de tal manera que solo un pequeño flujo de agua sea descargado. La pérdida de carga es realizada a través de uso de orificios, vórtices, pasos tortuosos, placas de impacto o combinación de esas. El flujo a través de un emisor en particular depende de la presión en la línea lateral a la cual está conectada el emisor. Básicamente los emisores pueden ser clasificados dentro de dos categorías la forma en que se colocan en los laterales y dependiendo de la curva de gasto del gotero (Briones y García, 2007, p.185).

Según Fernández (2010) la forma en que se colocan los goteros en los laterales se clasifican en pinchados. Estos se colocan en un orificio previamente practicado en la tubería según el marco de plantación establecido. Otra clasificación depende del tipo de curva de gasto del gotero, es decir del caudal que suministre según la presión a la que estén trabajando se dividen en dos tipos de goteros no compensantes y autocompensantes.

Los goteros no compensantes el caudal cambia cuando varía la presión. A mayor presión, el caudal es mayor. En cambio en la unidad de riego, se encuentran los goteros autocompensantes que se caracterizan que bajo límites de presión que deben ser indicados por el fabricante, el caudal que suministra el gotero prácticamente no varía. Los emisores autocompensantes su característica principal, es una pieza móvil o también llamada diafragma. El intervalo de presiones para el que el gotero compensa la presión se llama intervalos de compensación (Fernández, 2010, p.28).

Carmenate *et al* (como se citaron a Vélez *et al*, 2013) presentaron. “Los emisores autocompensantes disponen de una membrana elástica con y sin orificio que se contrae o se dilata de acuerdo con la presión que actúa, para dejar pasar un caudal constante dentro de un rango de presiones de entrada y es por ello que presentan en su funcionamiento el fenómeno de la histéresis” (p.22).

Esta propiedad permite que al aumentar la presión nominal brindada por el fabricante en los emisores, la membrana dentro de ellos al dilatarse cierra el paso parcialmente del caudal generando que los emisores suministren un caudal constante y aun al bajar la presión mantiene su estado dilatado en un corto tiempo. Por el otro lado si ellos trabajan inicialmente con la presión debajo de la presión nominal se comportan como emisores no compensantes, debido que la membrana mantiene su forma original.

3.4. Evaluación de sistema de riego por goteo

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.

Merriam *et, al* (1973) desarrolló la primera técnica de evaluación en campo de los sistemas de irrigación por goteo. Este procedimiento se basó en la recolección de datos sobre tipos de suelo, humedad disponible, programas de riego, el porcentaje de volumen de humedad en el suelo y los materiales de los tubos, simultáneamente se medían los caudales de los emisores de cuatro plantas, localizados a lo largo de cuatro mangueras de un único bloque. Si cada planta tenía cuatro emisores en total fueron tomadas 64 medidas (Burt, 2004. p.3).

La fórmula que Merriam desarrolló inicialmente se llamó uniformidad distribución del cuarto menor (DU_{Iq}), se calculaba usando la media más baja de los 16 caudales ($q_{min Iq}$) y toda la media de los 64 caudales (q_{prom}). Un ajuste fue hecho para cada número de emisores por planta (n). En cada uno de los emisores fueron medidas las presiones pero ellos no lo incorporaron en los cálculos de (DU_{Iq}) (2004, p.3).

$$DU_{Iq} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{n+1}} + \frac{1}{\sqrt{n+1}} * \frac{q_{min Iq}}{q_{prom}}\right) * 100$$

Keller y Karmeli (1974) consideraron dos componentes que afectaban a la no uniformidad en el diseño de goteo que fueron la variación de fabricación y la diferencia de presión. La fórmula fue con la intención de valorar el diseño del sistema, por lo tanto, no logró evaluar la uniformidad del sistema de irrigación en el campo. Su recomendación para una nueva ecuación de la uniformidad de distribución fue la siguiente (2004, p.3).

$$C_u = 1 - \left[\frac{1.27 * C_{vf}}{\sqrt{ep}} \right] * \frac{q_{mind}}{q_{medd}} * 100$$

Escrito de otra manera, la formulación cercana a una combinación de uniformidad de distribución esto podría ser escrito como:

$$DU_{Iq} = \frac{(DU_{Iq} \text{ debido a la variación de fabricación}) * (DU_{Iq} \text{ debido a la diferencia de presión})}{100}$$

Bliesner (1977) aisló las causas de la no uniformidad en todo el campo de evaluación. El reconoció que la presión podría ser ajustada por emitir el exponente de descarga x, la definió como:

$$q = kp^x$$

Con Bliesner tiempo después el exponente x valor fue determinado tomando un número de presión y medida de descarga en todo el campo y desarrollando la ecuación de descarga del emisor:

$$DU_{Iq} \text{ debido a presión} = \left(\frac{\text{Promedio de mediciones bajas de } \frac{1}{4} \text{ de Presión}}{\text{promedio de todas las mediciones de presiones}} \right)^x * 100$$

A partir de esta ecuación Merriam y Keller (1978) revisaron su proceso de 1973 e incorporaron las medidas de presión y el exponente de descarga (x) en el final DU_{Iq} estimado. Este componente de uniformidad de distribución fue usado en una compleja fórmula, que incorporó las medidas de descarga para proporcionar un final estimado de uniformidad de distribución (2004, p.4).

$$DU_{Iq} = (DU_{Iq} \text{ de caudales}) * \left(\frac{\text{mínima presión de la subunidad de riego}}{\text{promedio total de presiones}} \right)^x$$

Solomon y Keller (1978) examinaron los laterales hidráulicos teórico y concluyeron que en el sistema de variación de fabricación fue una consideración de diseño como diferencia de presiones (2004, p.4)

Nakayama *et al* (1979) notó que era necesario tener técnicas de evaluación que son comparablemente provista para los valores de uniformidad de distribución sin importar el método de irrigación. Su trabajo asumió una distribución normal de caudales, examinó el impacto de distribución de uniformidad a través del número de emisores por planta y el coeficiente de variación de fabricación (2004, p.5).

Nakayama y Bucks (1981) escribieron los procedimientos de evaluación del conteo de emisores obstruidos. Ellos examinaron de manera teórica de como la obstrucción impacta en la uniformidad del sistema, asumiendo una distribución aleatoria de los problemas de obstrucción en todo el campo. Ellos reconocieron que su análisis no contaba para obstrucción parcial de emisores ni contaba el patrón de la no uniformidad en todo el campo (2004, p.5).

Bralts y Kesner (1983) también asumieron una normal distribución de caudales y recomendaron con 18 medidas de caudales en una subunidad un coeficiente de uniformidad estático podría ser precisamente estimado. Además realizaron un diagnóstico de baja uniformidad que consistió en calcular los tres coeficientes de variación para poder definir si las causas son hidráulicas o de baja uniformidad de emisores (constructivos) (2004, p.5).

3.5. Variedades de aguacate presentes en Nicaragua

Las principales variedades de aguacate criollo de Nicaragua según el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) son: Masatepe, Ticomio, Corn Island, Campos Azules, Ramírez y Kukra Hill. Todas pertenecen a la raza Antillana, originaria de tierras bajas centroamericanas, de donde fue llevada a las Antillas después de la conquista. Se caracterizan por tener frutos grandes, de cáscara delgada y lisa, y pulpa de bajo contenido de aceite.

Ticomo: Es un árbol de porte mediano, crece con ramas desarregladas, las hojas son redondeadas, los retoños o brotes tiernos son de color verde amarillo. Su fruto es de tamaño grande, en forma oblonga ovalada, cáscara gruesa, de semilla grande, pulpa color verde amarillento, cáscara morada al madurar, contiene 10% de grasas (INTA, 2017, p.6).

Corn Island: Es un árbol de tamaño mediano, de crecimiento vertical, ramificaciones de tamaños reducidos, hojas alargadas con ondulaciones en los bordes, brotes color rojizo (2017, p.8).

Benik: Árbol de tamaño mediano, con ramas desarregladas, con hojas alargadas color verde con bordes ondulados, brotes rojizos y de producción precoz. Los frutos son de forma aperada, de tamaño mediano a grande, de cáscara áspera, madura de color morado, semilla pequeña, pulpa de buen espesor con sabor y alta calidad (2017, p.15).

Nabal: Árbol grande bien desarrollado, con hojas verde oscuro intenso, lisas y brillantes. Los frutos son medianos a grandes de forma redonda, cáscara lisa y madura de color verde, pulpa de alta calidad, contiene entre 10% y 14% de grasas. Apta en altitudes de 1500-2500 msnm (2017, p.23).

Booth: Los frutos son de buena calidad con 12% de grasa y 430 gramos por fruto. Los árboles son vigorosos y exigentes en nutrición. Ideal como polinizante de otras variedades que se cultiven cerca. Otra ventaja de esta variedad, está relacionada con la cosecha tardía. Apta en alturas de 0-1000 msnm.

Cuadro 1. Requerimientos edafoclimáticos óptimos del cultivo del aguacate

Requerimientos edafoclimáticos	
Temperatura	17-30°C
Precipitaciones	1200 - 2000(mm)
Humedad relativa	70 - 80 (%)
Suelo (Textura)	Franco Franco – arcilloso
Ph	5.5 - 6.5
Pendiente	<30 (%)

Fuente: Instituto Nacional Tecnológico (INATEC) (2017, p.15)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del área de estudio

Según (INETER, 2015), La Finca El Plantel se encuentra ubicada en el kilómetro 30 carretera Tipitapa – Masaya, al Sureste de la Cabecera Municipal de Tipitapa, Departamento de Managua, con las coordenadas 86°05'25" longitud Oeste y 12°07'11" latitud Norte, altitud de 108 msnm, limitando al Norte con la comunidad Zambrano, al Sur con la comunidad Guanacastillo, al Este con la comunidad Zambrano y al Oeste con la comunidad Guanacastillo (Figura 2).

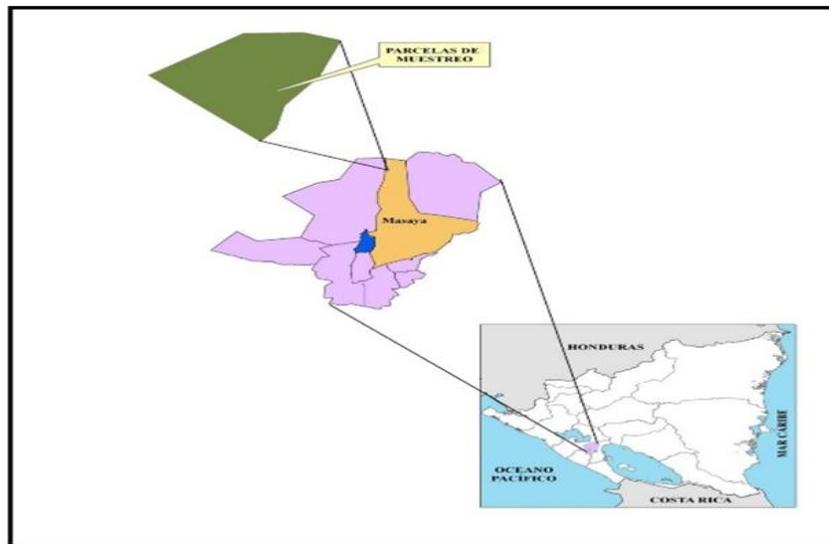


Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio de cofradías.

4.2. Diseño de la unidad de riego por goteo El Plantel

La unidad de riego por goteo según Alvarado y Serapio (2016), fue diseñado en un área de dos hectáreas. Este consta de un cabezal, con 26 laterales con goteros autocompensantes distribuidos en todo el cultivo de aguacate. Cada cinta de riego constaba con 20 plantas por lateral. Con un marco de plantación de 6x6. Se instalaron 640 emisores, cada uno trabajaba con una presión de 15.47 mca emitiendo un caudal promedio de 8.21 lh^{-1} generando un caudal total de 5256 lh^{-1} en la unidad.

4.2.1. Descripción del área de estudio

Las unidades de riego operan en sectores separados con el propósito de equilibrar las presiones y los caudales en función del cultivo. La unidad de riego por goteo está compuesta por 26 laterales que estaban distribuidos en un área de 152 m de ancho por 129 m de largo (19,608 m²), en cada lateral se encontró una irregularidad de números de plantas con diferente número de emisores. (Liotta, *et al* 2015, p.8).

4.3.1. Metodología de Merriam y Keller (1978)

A través de la metodología de humedecimiento de franjas continuas de Merriam y Keller (1978) (Figura 3). Esta prueba consistió en valorar el comportamiento hidráulico de la red a través de las variables de presión y caudal. Esta consistió en la selección de 16 puntos en un sector, considerando cuatro laterales en toda su longitud, ubicando puntos de muestreo al inicio, 1/3, 2/3 y final del ancho y largo del área de riego, de los cuales se tomaron las muestras de la presión y el volumen de los emisores en un tiempo de tres minutos para cada uno con la diferencia, que el diseño original de Merriam y Keller cada planta constaba de cuatro emisores haciendo un total de 64 muestras Burt (como citaron a Merriam y Keller 1978), en el caso de esta investigación se seleccionó tres muestras por planta haciendo un total de 48 muestras. Esta evaluación fue ejecutada cuando la bomba trabajaba a una presión de 30.94 mca y estaban en funcionamiento dos unidades de riego por aspersión.

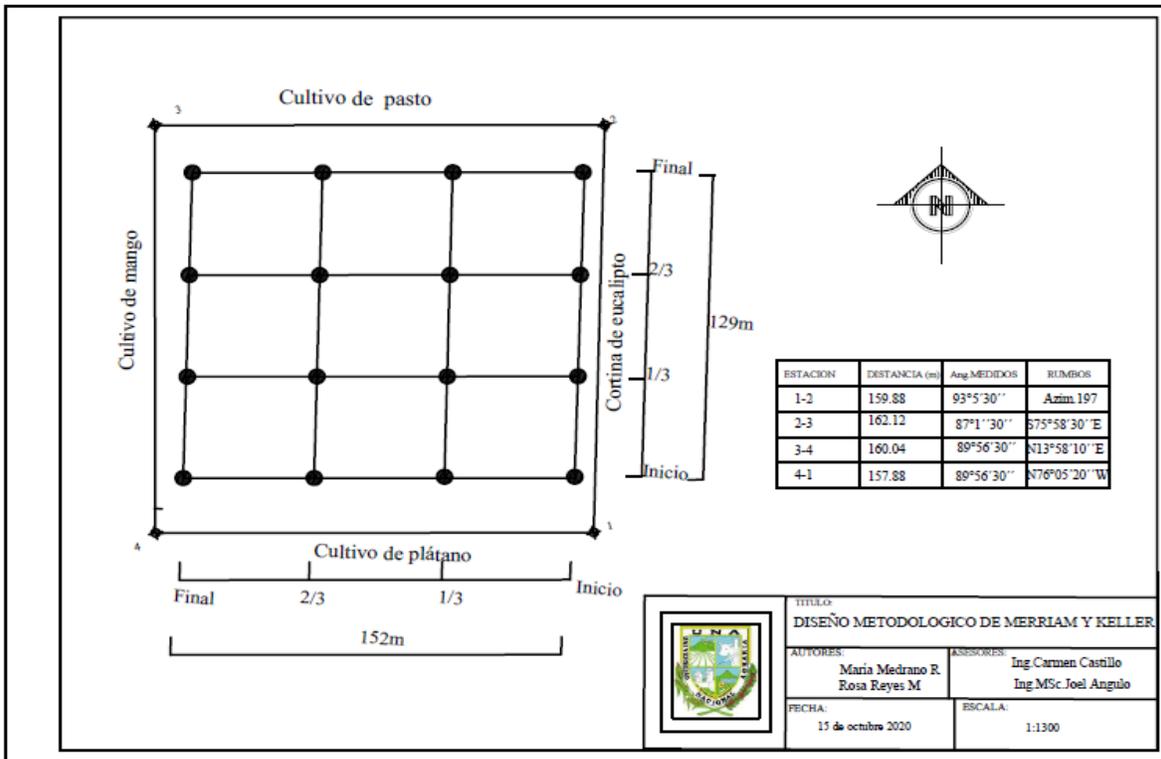


Figura 3. Diseño metodológico de Merriam y Keller (1978)

4.4.1. Presión

Se define como una fuerza que interactúa sobre una pequeña área es decir es la base que proporciona movimiento al caudal, de forma que mayor presión, mayor caudal. Esta se midió en PSI con un manómetro con baño de glicerina, pero se usaron en mca debido que las ecuaciones lo requerían.

4.4.2. Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, río, canal) por unidad de tiempo. El caudal viene en función de la cantidad de agua que pueda proporcionar la fuente de abastecimiento y por otro la necesidad hídrica del cultivo, el caudal se obtuvo con el método volumétrico.

4.4.3. Coeficiente de uniformidad (CU)

Según Pizarro (1996), el coeficiente de uniformidad es una magnitud que caracteriza a todo sistema de riego. Un sistema de riego es uniforme, cuando logra abastecer el volumen de agua adecuado para el cultivo establecido en el régimen de riego y garantizado con el diseño hidráulico.

Se calculó los volúmenes promediados y los caudales de los dieciséis puntos, para encontrar el coeficiente de uniformidad se dividió el promedio de los cuatro caudales más bajos llamado promedio del cuarto menor sobre el caudal promedio de todas las observaciones.

$$Cu = \frac{q_{25\%}}{q_{mt}} \cdot 100$$

Donde:

qm (25 %): Promedio de la cuarta parte de los datos que presentan los valores más pequeños.

Qmt: Promedio de todas las observaciones.

4.4.4. Coeficiente de uniformidad de presión (Cu_h)

Para este cálculo se necesitó el valor promedio de las presiones medidas en dieciséis puntos. El cuarto menor de presión se promedió de las cuatro presiones más bajas.

$$Cu_h = \left(\frac{h_{25\%}}{\text{Prom } h} \right)^x \cdot 100$$

Donde:

h_{25%}: Cuarto menor de presión

Prom h: Promedio de presión.

X: Exponente de descarga

4.4.5. Coeficiente de variación de fabricación

El coeficiente de variación estadística que se considera como un indicativo de la calidad del emisor, la calidad puede variar por el proceso de fabricación, aun los emisores construidos en la misma empresa podrían variar de calidad (2002, P.65).

Se evaluó a través de la categoría de Goldberg (1974) se define de excelente a generalmente inaceptable. Se seleccionó el valor del caudal de 32 emisores de los dieciséis puntos en el campo según la metodología de Merrian y Keller, el valor de coeficiente de variación que se determinó fue en condiciones de explotación. Según la ecuación estadística se define como el cociente entre la desviación típica y el valor medio.

La desviación típica se calculó de restar cada caudal con el caudal promedio (9.83 lh^{-1}), todos estos valores se suman, el total se eleva al cuadrado para dividirse con el número total de emisores al final el dato se eleva al cuadrado.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_a)^2}{n}}$$

Donde:

σ : desviación típica

q_i : Caudal del emisor

n : n° de emisores

q_a : caudal medio $= \frac{\sum q_i}{n}$

Luego se evalúa

$$Cv = \frac{\sigma}{q_a}$$

4.4.6. Coeficiente de variación total de caudales (CVTC)

Según Pizarro (1996), indicó que las causas de la baja uniformidad pueden provenir por dos parámetros, factores hidráulicos y factor por baja uniformidad de los emisores. En la evaluación de esta unidad de riego se obtuvo a través del método de cálculo de tres Bralts y Kesner (1983), sobre causas de baja uniformidad en el riego por goteo.

El CVTC, es un parámetro que permite determinar si la baja uniformidad es por causas de los emisores. Se utilizó cálculos estadísticos que son la desviación típica de los dieciséis caudales de los emisores evaluados y el promedio del caudal de 16 puntos, se interpretó a través de un cuadro que va de excelente a inaceptable.

La desviación típica se calculó de restar cada caudal (16 caudales) con el caudal promedio (10.55 lh^{-1}), todos estos valores se suman, el total se eleva al cuadrado para dividirse con el número total de emisores al final el dato se eleva al cuadrado.

$$CV_t = \frac{\sigma q}{qa}$$

Donde:

qa: el caudal promedio de los dieciséis puntos.

σq : La desviación típica de los dieciséis caudales

4.4.7. Coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas

Esta es otra variable estadística usada también para otros campos científicos. Permite saber si la baja uniformidad es por causas hidráulicas tomando la variable presión. Se calculó la desviación típica de la presión medida de los 16 puntos entre la presión promedio (19.91 mca).

$$CV_h = \frac{\sigma q}{pa}$$

Donde:

σq : La desviación típica de las dieciséis.

pa: La presión media de las dieciséis plantas.

4.4.8. Coeficiente de variación de caudales debido a baja uniformidad de los emisores

Esta variable va relacionada con las dos anteriores para separar las causas de la baja uniformidad, se calculó como la raíz cuadrada del coeficiente de variación caudal de totales al cuadrado, menos el coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas al cuadrado y multiplicando al cuadrado al exponente de descarga. Se considera que CV_e debe mantenerse debajo de 0.2, mayor a eso los emisores tienen problemas de obturación o son inadecuados (CV alto).

$$CV_e = \sqrt{CV_t^2 - X^2 * CV_h^2}$$

Donde:

CV_t : Coeficiente de variación de caudales

X: exponente de descarga

CV_h : Coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas

4.4.9. Ecuación del emisor

La ecuación de emisor $q = Kdh^x$ fue despejada a partir de la ecuación general de las pérdidas secundarias o también llamadas pérdidas de cargas, para esto se usó un banco de prueba que utilizó la empresa.

$$h_{f=k\frac{v^2}{2g}}$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga localizada

K: coeficiente determinado de forma empírica dependiendo del tipo de accesorio

V: Velocidad media del agua, antes o después del punto singular

El caudal que descarga un emisor está relacionado con la presión hidráulica existente. La ecuación del emisor permite determinar el caudal en cualquier punto de la unidad de riego por goteo solo con conocer la presión y su exponente de descarga. Las variables kd y x y curva presión-caudal suelen ser proporcionados por la empresa que diseña los emisores debido a que son datos característicos de cada tipo de emisor (Gil, *et al*, 2002, p.64).

El gasto de emisor (q) permitió comparar si el emisor trabaja según las indicaciones de la empresa. Para (q) se necesita primero calcular el exponente de descarga (x) y el coeficiente descarga (kd):

$$q = Kdh^x$$

Donde:

q: gasto del emisor, en: lh^{-1}

Kd: Coeficiente de descarga, depende de las características de cada emisor.

h: Presión en la entrada del emisor en m.c.a.

X: exponente de descarga caracterizado por el régimen de flujo.

Para el exponente de descarga (x) se seleccionó la mayor y menor presión encontradas en metro columna de agua (mca) con sus respectivos caudales de los dieciséis puntos.

$$X = \frac{\ln \frac{q_1}{q_2}}{\ln \frac{h_1}{h_2}}$$

El coeficiente de descarga (kd) se encuentra dividiendo el caudal que se encontró con la presión menor de los dieciséis caudales sobre la presión menor elevado con el exponente de descarga x.

$$Kd = \frac{q_1}{h_1^x}$$

4.4.10. Rectas de Regresión por mínimos cuadrados

Es un cálculo estadístico utilizado para corregir la relación de dos variables (X, Y), permitiendo satisfacer una ecuación, aproximándola a una regresión perfecta representada en un diagrama de regresión lineal. Este cálculo se utilizó con el propósito de corregir la ecuación y gráfica del emisor calculado para los emisores en el campo.

Para crear el diagrama de regresión de Y sobre X de la ecuación de emisor se necesitó calcular la ecuación $Y = a_0 + a_1 X$, con este fin se creó una tabla con las variables de presión (X) y caudal (Y) de los 16 puntos tomados de la metodología de Merriam y Keller (1978). La cual se calculó la sumatoria de los valores de X, Y, la sumatoria de las variables elevadas al cuadrado y la sumatoria de X con Y.

$$a_0 = \frac{(\sum X)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a_1 = \frac{N(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

4.5. Parámetros de diseño del régimen de riego del cultivo

Al diseñar un sistema de riego para un cultivo, debe de estimarse la norma de riego. La norma de riego, es el agua necesaria para aplicar al suelo en un tiempo estimado para humedecer un volumen de suelo. Se calculó la norma de riego teórica a partir de los datos climatológicos. Los datos de clima se obtuvieron de la estación climática Augusto C. Sandino con un periodo registrado 31 años.

Para facilitar el uso según la metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) encontrado en el documento de Food and Agricultural Organization (FAO, 2013), se reordenó promediando el valor por día a mes de los últimos 31 años cada uno de los factores climatológicos en diferentes hojas de Excel para obtener el valor promedio mensual (Carrazón, 2007).

4.5.1. Cálculo de la precipitación confiable al 75% (Ppt 75%)

Se estimó la precipitación confiable al 75% como probabilidad de lluvia para el cultivo del aguacate. Si fuera para cultivos de alto valor se tomaría del 90%. Para poder encontrar la probabilidad al 75% de cada mes se necesitó el índice de precipitación (IP) y la precipitación promedio (Ppt promedio). Para encontrar la precipitación promedió se usó del cuadro de precipitaciones, se tomó el valor promedio de precipitación de cada mes de los 31 años (Ver anexo 2).

El índice de precipitación primeramente se ordenó la precipitación mensual de los 31 años, con el valor promedio anual de los 31 años se buscó en el cuadro de estimación de valores del índice de precipitación, para diferentes probabilidades. Se tomó el dato tabulado aproximado de precipitación, el cual se interceptó con la columna de la probabilidad al 75% (ver anexo11).

Donde:

$$\text{Ppt (75\%)} = \text{Ip} \times \text{Ppt promedio} = \text{mm}$$

Ip: es el coeficiente tomado a partir de la precipitación total aproximada de los 31 años de la tabla de USDA, 1997.

Ppt. promedio: es el valor promediado por cada mes durante los años reiterados.

4.5.2. Cálculo de la precipitación efectiva (Pe)

El cultivo necesita de la precipitación para su desarrollo fenológico. Se denomina precipitación efectiva a la lluvia que es útil por quedar el agua almacenada en el suelo, dentro de la zona radicular de las plantas, en niveles de energía de retención que las raíces puedan absorberla, el restante se pierde por escorrentía o evaporación (FAO, 2013, p.44).

Se proponen las ecuaciones utilizadas por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS). La fórmula dependió del volumen de la precipitación (la probable Ppt 75%, no la promedio) registrada por mes en la estación meteorológica, para un año. Estos datos fueron tomados a partir de la media de precipitación de cada mes para un periodo de 31 años comprendidos entre (1989-2019).

Para una precipitación mensual (Pm) menor de 250 mm:

$$Pe = (125 - 0.2 \times Pm) \times Pm / 125$$

4.5.3. Cálculo de la evapotranspiración referencia mediante la fórmula simplificada Hargreaves

La Evapotranspiración es la suma de la evaporación del suelo acompañada con la transpiración de la planta. La estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) se considera a través de los factores climáticos.

Para esto se utilizó los datos promediados de 31 años de temperatura mínima, temperatura media y temperatura máxima en grado Celsius y radiación solar extraterrestre. Para la radiación solar extraterrestre se utilizó el cuadro de (Allen *et al.*, 1998). Que contiene datos de Radiación solar extraterrestre en mm/día para diferentes latitudes, según la metodología el valor de la radiación solar se seleccionó a partir de la ubicación. Este fue Hemisferio Norte, latitud 12°. El valor final se multiplica por el número aproximado de días de los meses del año (ver anexo 3, 4, 5,12).

$$ETO=0.0023(tmed+17.78) Ro*(tmax - tmin)^{0.5}$$

Donde:

Ro: radiación solar extraterrestre (mm/día)

tmed: temperatura media (°C)

tmin: temperatura mínima en (°C)

tmax: temperatura máxima (°C)

ETo: evapotranspiración de referencia (mm/día)

4.5.4. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (Etc)

La evapotranspiración del cultivo se calculó a partir de los valores de la evapotranspiración referencia (ETo) y del coeficiente de cultivo (Kc). Para su determinación utilizaremos el método de Doorenbos y Pruitt (1977), El Kc es un dato que se tomó de la información de la FAO, varía principalmente por las características de crecimiento de un cultivo y también puede variar por

los factores que afectan la evaporación en el suelo (FAO). Se seleccionó el k_c medio debido que representa ajustes promedios para las etapas de mediados y al final del desarrollo del cultivo.

$$E_t = K_c \times E_{T_o}$$

Donde:

E_{T_o} : Evapotranspiración de referencia en mm/m

K_c : Coeficiente del cultivo del aguacate

4.5.5. Necesidades netas de riego del cultivo

La necesidad de riego se definió como la diferencia de la evapotranspiración del cultivo menos la precipitación efectiva. El valor de la norma se calculó para las tres decenas de cada mes.

$$N_n = E_{t_c} - P_e = \text{mm/día}$$

Donde:

E_{t_c} : Evapotranspiración máxima

P_e : Precipitación efectiva

4.5.6. Necesidades brutas de riego diario del cultivo del aguacate

La necesidad bruta de riego permite saber cuántos litros debe ser entregados diariamente a cada planta, para esto es necesario tener el marco de plantación del cultivo es de 36 m^2 . La evapotranspiración de cultivo y la precipitación efectiva se calcularon con los datos diarios climáticos dados por INETER en mm/día. La eficiencia de aplicación fue de 0.95 para suelos medios con profundidad menor de 0.75 m esto se tomó el cuadro de valores de eficiencia de aplicación de riego por goteo, relacionado con la textura de climas áridos (ver anexo 8).

La ventaja es que, al mantener la humedad, las plantas pueden absorber con facilidad los nutrientes, además al delimitar la zona húmeda las sales se acumulan en la periferia del bulbo por lo tanto se evita que las sales entren al bulbo húmedo por capilaridad por un periodo (Pizarro, 1996, p.178)

$$NRD = \frac{(E_{T_c} - P_{ef}) * AU}{E_a} = (\text{l/planta/día})$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

P_{ef} : Precipitación efectiva (mm/día)

AU: Marco de plantación (m^2)

E_a : Eficiencia de aplicación

4.5.7. Caudal aplicado por planta

El caudal aplicado por planta se calculó con el producto del caudal promedio de emisores de 10.55 lh^{-1} . El número de emisores fue de tres por planta además el coeficiente de uniformidad fue de 0.722.

$$Q_{pl} = q_a * N_e * CU$$

Donde:

q_a : Caudal del emisor promedio

N_e : Número de emisores

CU: Coeficiente de uniformidad

Se encontró el espaciamiento de emisores, esto se calculó con el cuadro de diámetro de mojado para un emisor de 4 lh^{-1} Ticona (como citaron Keller y Karmelli 1974). A partir de una regla de tres se estimó el diámetro de mojado para un caudal promedio de 10.55 lh^{-1} , de un suelo franco arcilloso estratificado (Zelaya, 1990, p.30) con una profundidad de capa activa promedio de tabla de 0.80 m. Se encontró la separación entre emisores que es el producto del diámetro de mojado por el espaciamiento permitido (60%) (Ver anexo 9).

$$\text{Separación entre emisores} = \varphi_{\text{mojado}} * 0.60$$

Para definir el número de goteros se necesitó la distancia entre planta y la separación entre emisores.

$$\text{Número de goteros} = \frac{\text{Distancia entre plantas}}{\text{Separación entre emisores}}$$

4.5.8. Tiempo de riego

Para programar el tiempo de riego se calculó a partir de los valores estimados de las necesidades brutas de riego diario y el caudal de agua aplicado por planta.

$$\text{Tiempo de riego} = \frac{\text{NRD}}{\text{Qpl}}$$

Donde:

NRD: Necesidades brutas de riego diario (l/planta/día)

Qpl: Caudal de agua aplicado por planta (lh^{-1})

4.6. Cálculo de régimen de riego en condiciones de campo

4.6.1. Lámina de riego

A partir de los datos tomados de campo, se calculó la lámina de riego en milímetros con el volumen de agua y el área de la unidad. Para el volumen de agua se calculó con el caudal promedio 10.55 lh^{-1} y con el total de emisores contados que fue de 279.

$$\text{LR} = \frac{\text{vol} (\text{lh}^{-1})}{\text{Área} (\text{m}^2)} = \text{mm}$$

Para saber la dosis de agua que se suministra por planta al día, se calculó al multiplicar el caudal promedio 10.55 lh^{-1} por el promedio de tres emisores por planta durante las dos horas estipuladas que riegan en la unidad experimental El plantel para el cultivo de aguacate.

4.7. Recolección de datos

4.7.1. Levantamiento Planimétrico

Para determinar el área de la unidad de riego se realizó el levantamiento planímetro con teodolito (error angular de cinco minutos) y cinta métrica. El recorrido del levantamiento se realizó en sentido antihorario, para iniciar con el punto de partida (1-2) se midió el azimut a partir del norte magnético de una brújula. Los ángulos internos fueron derechos.

4.7.2. Medición de volúmenes

Durante la prueba de humedecimiento de franjas continuas se aforaron los goteros de los dieciséis puntos establecidos con envases de plásticos, se midió el volumen con una probeta graduada. En esta medición se realizaron tres repeticiones cada uno en un lapso de tres minutos.

4.7.3. Medición de presiones

Para medir la presión, en cada uno de los 16 puntos establecidos se utilizó un manómetro en baño de glicerina este llevaba un tubo de pitot recto, procurando que la aguja del mismo se mantuviera en un valor constante, el manómetro se modificó en la punta insertando un gotero para evitar que saliera agua de las perforaciones y no se perdiera presión.

4.7.4. Conteo de número de goteros y árboles por lateral

Se realizó el conteo del número de árboles por lateral de toda la unidad del sistema de riego. Se contó el número de goteros que había por cada planta para conocer el volumen de agua promedio por lateral y de cada planta.

4.7.5. Análisis de datos

Se digitalizo en Excel la toma de campos relacionado con el conteo de emisores y plantas por lateral, se ordenaron los datos climatológicos brindados por INETER de días a meses de los últimos 31 años y se diseñaron las gráficas de comportamiento caudal-presión del modelo MBTECH teórico, en condiciones y de explotación.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caudal

A través de la metodología de Merriam y Keller, se encontró que el caudal promedio de los dieciséis puntos fue de 10.55 lh^{-1} . En el lateral uno, los emisores tienen una descarga en su mayoría decreciente en comparación a los otros caudales que no se observa este comportamiento. En el lateral tres, se encontraron los goteros que emitieron mayor caudal seguido del lateral cuatro (Anexo1).

Según Chamba *et al* (2020) hizo una investigación sobre la uniformidad de emisores autocompensantes y no compensantes de los cuales evaluó cuatro modelos de emisores autocompensantes que aun en condiciones controladas en un banco de longitud de 100 metros, tres de los modelos de emisores presentaban caudales mayores que el caudal nominal indicado por el fabricante de hasta un 18 % de incremento.

5.2. Coeficiente de uniformidad de aplicación

El dato que se encontró en la evaluación de uniformidad de caudal de los puntos evaluados en la unidad de riego del cultivo de aguacate fue de 72.2%. Según el rango propuesto por Merriam y Keller (1978) se definió como uniformidad regular. El porcentaje del coeficiente de uniformidad está en dependencia del promedio de los cuatro caudales menores calculados, que mientras más bajos son, comparados al caudal promedio, menor será el coeficiente de uniformidad.

Entre las causas de este valor de la uniformidad, se debió al resultado del coeficiente de variación fabricación de los emisores, este fue de 0.24, este valor según Gil *et al* (como citaron a Goldberg, 1974), se definió como generalmente inaceptable. Esto se debió por el deterioro de la membrana de los emisores autocompensantes. Al no limitar el paso de agua en la salida provocó la irregularidad entre los caudales causando alteraciones en la uniformidad (Anexo 10).

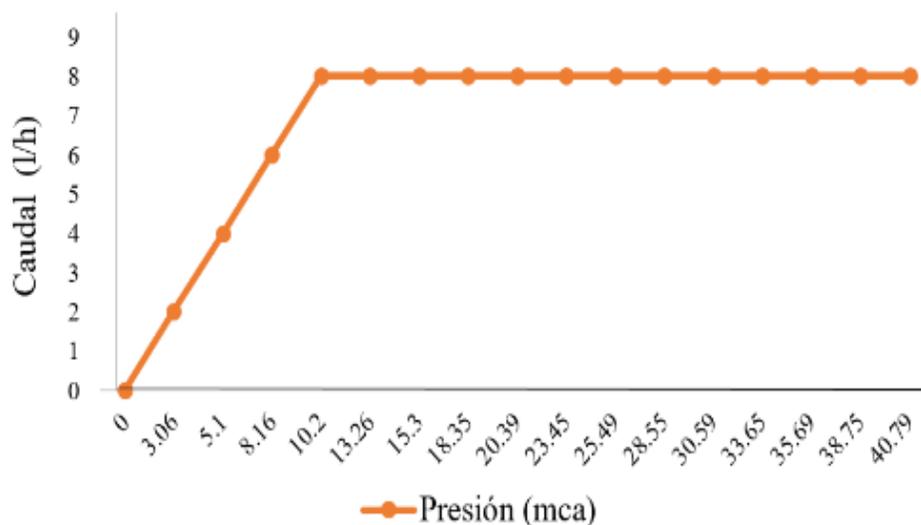
5.3. Coeficiente de uniformidad de presión

Según Mataix (1986), al evaluar la presión se debe tener en cuenta los diferentes tipos de pérdidas de carga que podrían causar el descenso en la uniformidad. Las pérdidas por fricción que se genera por el rozamiento de la superficie del agua con la tubería (pérdidas primarias) y las pérdidas locales (pérdidas secundarias) que tienen lugar en los cambios de sección y dirección de la corriente, en los ensanchamientos de los codos, diafragmas, válvulas de diferentes tipos. En general los accesorios de tuberías producen perturbaciones en la corriente que origina remolinos y desprendimientos que intensifican las pérdidas de carga. Las partes que se insertan de los emisores pinchados en la manguera genera pérdidas locales, si no se tiene en cuenta puede generar irregularidades en la presión destacables.

En la unidad de riego por goteo en cultivo de aguacate al calcular el coeficiente de uniformidad de presión de los dieciséis puntos se obtuvo un valor del 90.14% Merriam y Keller (1978). Esto se debe a que el porcentaje va en dependencia del promedio de los cuatro presiones menores que mientras más cercano es el promedio del cuarto menor al promedio de las 16 presiones, más alto es el porcentaje de uniformidad.

El coeficiente de uniformidad de presión y el coeficiente de variación están relacionado para evaluar la presión en que trabaja la unidad. El coeficiente de variación para la presión de los dieciséis puntos fue de 0.04, el cual es un valor muy bueno esto indica que los emisores trabajan bajo una presión aceptable para la unidad.

5.4. Comparación del comportamiento caudal-presión del modelo MBTECH teórico, en condiciones de explotación



$$q=7.56h^{0.04}$$

Figura 4. Curva característica de caudal-presión de emisor modelo MBTECHPC.

Según el modelo teórico del emisor autocompensantes MBTECHPC la ecuación de diseño fue $q=7.56h^{0.04}$. Con esta ecuación indica que al ingresar cualquier presión (h) a partir de 10.2 mca en adelante el caudal nominal se mantendrá cercano a 8 lh^{-1} . Esto se debe a su exponente ($x=0.04$) está en función del régimen hidráulico de cada emisor. Al haber pequeñas variaciones de presión alteran el valor de x generando también cambios visibles en el caudal. Los autocompensantes utilizan un exponente menor de 0.3 indica que es un flujo completamente turbulento. El flujo turbulento se usa para no ser afectado por las presiones. Además, se utiliza para evitar obturaciones en los emisores (Uniersitat Jaume I, 2013, P.24).

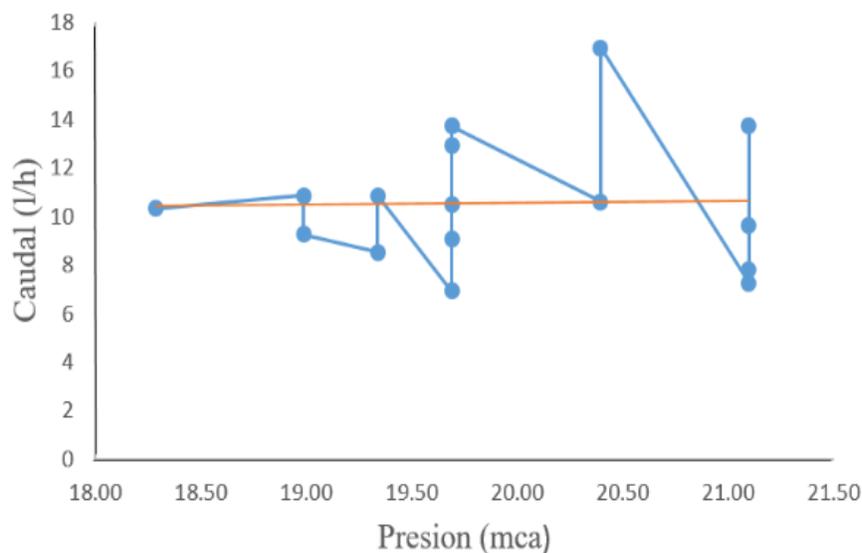


Figura 5. Curva característica de caudal-presión del emisor modelo MBTECHPC en condiciones de campo.

En los datos de campo se observó que los emisores utilizados en el campo en su mayoría emiten un caudal superior al caudal teórico. Se encontró que en la curva presión-caudal de los emisores en explotación, trabajan de presión 18.28 a 21.10 mca que se encuentra en rangos normales para que el gotero emita 8 l h^{-1} pero el caudal osciló entre 6.93 a 16.93 l h^{-1} prácticamente hasta un incremento de hasta un 111 %.

5.5. Regresión de mínimos cuadrados

La ecuación del emisor en condiciones de campo su exponente de descarga no cumple los rangos establecidos que son de 0-1, que indican valores cercanos a 0 se clasifican como emisores de flujo turbulentos (autocompensantes) y valores cercanos a 1 se clasifican como emisores de flujo laminar (no compensantes). Esto se debe que hay emisores trabajando con la misma presión, pero emitiendo caudales diferentes y otros a pesar de ser modelos autocompensantes se comportan como emisores no compensantes.

Según los datos corregidos con la fórmulas de rectas de regresión de mínimos cuadrados, se recalculó la ecuación del emisor aproximándose a la ecuación teórica y con un nuevo exponente del emisor $x = 0.112$, esto permitió saber cómo debería estar la uniformidad en la unidad de riego emitiendo caudales que deberían oscilar de 10.45 a 10.62 l/h^{-1} manteniendo las mismas presiones.

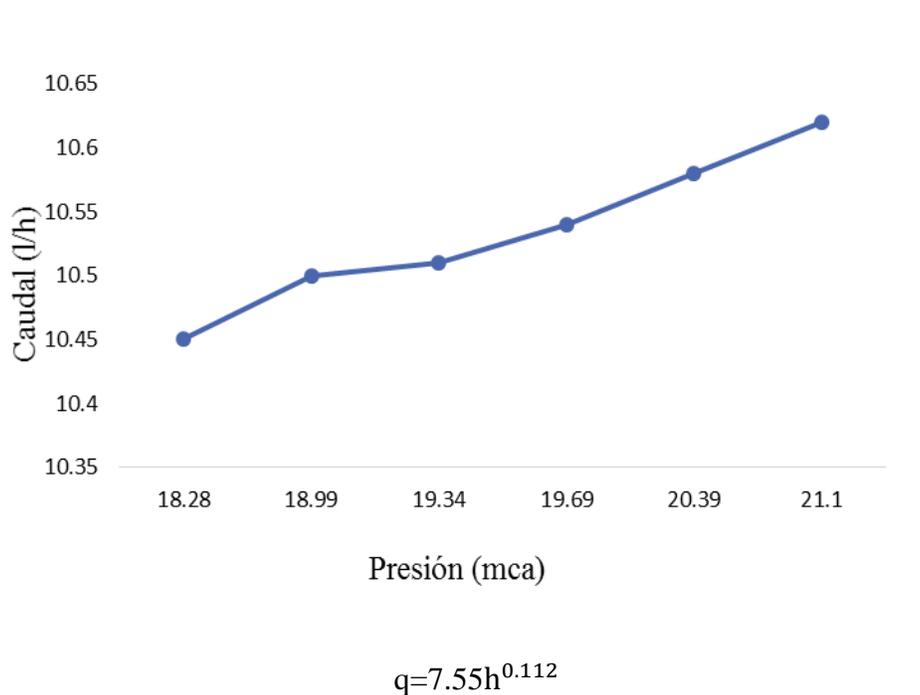


Figura 6. Característica de caudal-presión de emisor modelo MBTECHPC corregido

5.6. Coeficiente de variación total de caudales (CVTC)

Es un parámetro que permite determinar si la baja uniformidad del sistema es por baja uniformidad de aplicación de los emisores. A pesar de que se encontraron irregularidades en el caudal suministrado por los emisores y que trabajan con un caudal promedio superior al caudal teórico. El valor de CVTC fue de 0.24 que según Bralts y Kesner (1983) se consideró aceptable.

5.7. Coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas

Este coeficiente permitió saber si la baja uniformidad es por causas hidráulicas. Se evaluó a través de la presión medida de los 16 puntos. El coeficiente fue de 0.04 (4%) en los rangos de variación, se consideró como variabilidad baja de presión. Da a entender que el suministro de

presión dada por la bomba no genera problemas en la unidad. Además, la topografía del terreno es prácticamente plana con una ligera pendiente menor del 2% del cabezal al último emisor. (Ver anexo1).

5.8. Coeficiente de variación de caudales debido a baja uniformidad de los emisores (CVCBUE)

Esta variable está relacionada con las dos anteriores para separar las causas de la baja uniformidad. El valor fue de 0.23 según Pizarro (1996) esto reafirma que la unidad de riego trabaja de manera eficiente con la presión suministrada por la bomba, en cambio el CVCBUE al ser mayor de 0.2 indica que los emisores son inadecuados (CV alto).

Según Fernández (2010) la uniformidad de fabricación suele ser menor debido al funcionamiento de la membrana elástica, esta suele verse afectada por la temperatura y el paso del tiempo e ir perdiendo su carácter autocompensantes.

5.9. Régimen de riego en condiciones de campo

Calcular el régimen de riego permite suministrar dosis adecuada. Actualmente el cultivo consta de 279 árboles. Se contaron 823 emisores, esto se debe que algunas cintas de riegos tenían diferentes números de emisores, obteniendo un promedio de tres emisores por planta. La frecuencia de riego es diaria, a cada árbol se le aplica una lámina de 0.89 mm durante dos horas. Esto es equivalente a suministrar 63.3 litros por planta al día, dando un volumen total 17,365.3litros. El régimen de riego no se aplica en el periodo de época de lluvia (Ver cuadro 2).

Cuadro 2. Régimen en condiciones de campo

Marco de plantación (m)	Num.de goteros por planta	Caudal por planta (l/h)	Tiempo de riego(h)	Frecuencia	Dosis (litro)	Vol./diaria (litro)
6x6	3	10.55	2	Diaria	63	17,365

Fuente: Propia

5.10. Régimen de riego teórico

Para los cálculos de las necesidades hídricas a través de la evapotranspiración del cultivo se obtuvo que la precipitación promedio de los últimos 31 años fue de 1072.56 mm/año, en cambio la evapotranspiración del cultivo fue de 1750 mm/año. Además, los meses de marzo y abril son los meses de mayor exigencia para el uso del riego, a causa que la evapotranspiración supera a la precipitación efectiva. En el caso de septiembre y octubre debido a las altas precipitaciones y acumulación de agua superan la evapotranspiración del cultivo por lo tanto en el suelo no es necesario regar hasta en noviembre

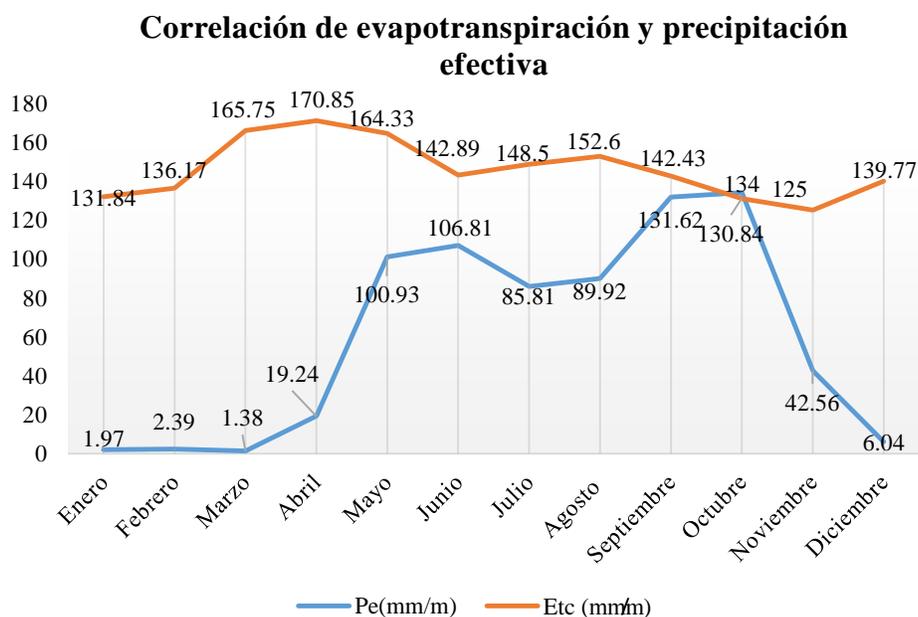


Figura 7. Correlación de la evapotranspiración efectiva del cultivo

Para calcular el régimen de riego o necesidades de riego brutas (NRD) de un cultivo de seis años, es necesario calcular para diferentes tiempos que se dividen para cada mes a causa que las necesidades del cultivo varían según los cambios de evapotranspiración y las precipitaciones (Ver el cuadro 3).

Cuadro 3. Necesidades de riego brutas

Mes	Etc (mm/d)	P75% ef. (mm/d)	NRD (l/platnta/d)	QPL (l/h)	Tiempo de riego (h/día)	Vol/día
Enero	4.25	0.06	158.78	22.85	6.95	482,689.00
Febrero	4.69	0.08	174.77	22.85	7.65	53,130.00
Marzo	5.35	0.04	201.09	22.85	8.80	61,131.00
Abril	5.70	0.66	190.80	22.85	8.35	58,003.00
Mayo	5.30	4.08	46.38	22.85	2.03	14,099.52
Junio	4.76	4.56	7.58	22.85	0.33	2,304.00
Julio	4.79	3.31	56.24	22.85	2.46	17,096.96
Agosto	4.93	3.51	53.81	22.85	2.35	16,358.00
Septiembre	4.75	6.3	-	-	-	-
Octubre	4.22	6.28	-	-	-	-
Noviembre	4.17	1.53	99.85	22.85	4.37	30,354.00
Diciembre	4.01	0.2	144.45	22.85	6.32	43,912.80

Fuente: Propia

Dónde:

mm/d: milímetros por día

l/planta/d: Litros por planta al día

El cultivo de aguacate requiere altas dosis de agua para poder producir eficientemente el fruto, los meses con mayor necesidad hídrica por planta están entre marzo con 201.09 litros para un tiempo de riego de nueve horas y abril con 190.80 litros para un tiempo de riego de ocho horas. Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura IICA, (2003). Indica que en El Salvador la precipitación promedio es de 1781 mm/anual con temperatura promedio 25.2°C, un árbol de aguacate de seis años necesita 120 litros al día. Estos datos climatológicos son semejantes al área de estudio que presenta una precipitación promedio de 1072.56 mm/año con temperatura promedio de 27.22°C.

VI. CONCLUSIONES

En la evaluación de riego por goteo a partir de la metodología de Merriam y Keller (1978) se encontró que la uniformidad de la unidad de riego trabaja con una muy buena presión dando su coeficiente de presión de 90.14 %, en cambio la uniformidad de distribución de los emisores fue de 72.2 %. Esto se debe porque no están emitiendo el caudal nominal, en algunos emisores trabajaban como emisores no compensantes, esto se observó, en la diferencia evidente entre la ecuación de descarga brindada por el catálogo que trabaja con flujo turbulento y la ecuación calculada a partir de los emisores en explotación que trabaja con flujo laminar. Otra variable que confirma la situación de los emisores es el coeficiente de variación de fabricación al ser un valor alto (0.24) indica mala calidad en los emisores. Este comportamiento se generó por el mal uso de la unidad y el periodo de vida de los emisores expiró.

En la unidad de riego del cultivo de aguacate se encontró que la dosis de riego suministrados para un cultivo son de una fase inicial de crecimiento con dosis de 63 lh^{-1} que se suministra diariamente durante dos horas pero los árboles frutales en especial el árbol de aguacate necesita altas dosis de agua para poder desarrollarse y producir frutos de excelente calidad. Según los datos el cultivo estará bajo un régimen de riego casi todo el año, debido a los altos niveles de evapotranspiraciones siendo marzo el mes más crítico que se debe suministrar la dosis diaria de 201.09 litros de agua a cada planta exceptuando los meses de septiembre y octubre donde se dan las mayores precipitaciones.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar la uniformidad de distribución y uniformidad de presión con la metodología de Merriam y Keller antes y después de cada campaña o cuando haya sospecha del mal funcionamiento. A manera de estimación, incluir medir el caudal abriendo el final del lateral, así conocer cuánto entra de agua para cada lateral y dar mejores observaciones con respecto a la uniformidad del sistema.

Para otras investigaciones se sugiere retomar diferentes metodologías, para evaluar la uniformidad en la unidad de riego por goteo, que comparen diferentes estimaciones con el propósito de un mejor mantenimiento en el sistema.

Se deben cambiar los laterales y emisores de riego según el periodo de vida de estos materiales, procurando que cada planta tenga un número regular de emisores según la necesidad de riego. Además, se recomienda que en cada unidad de riego tener caudalímetros para conocer con exactitud cuanta es la entrada del agua en cada unidad.

Se requiere que al cultivo de aguacate se debe estimar periódicamente las dosis de riego en general dependiendo su fase de desarrollo. Se recomienda suministrar las dosis de riego calculadas en la investigación.

VIII. LITERATURA CITADA

- Alvarado Byron, Serapio Cruz.(2016). Diseño e instalación de sistemas de riego localizado y aspersión en 15 hectáreas en la finca de la UNA El Plantel, Masaya.Tesis. Ing. Universidad Nacional Agraria.Facultad de Agronomía.p.5,8,33
- Baiza Vladimir (2003).Guía técnica del cultivo de aguacate. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA) El Salvador.p42.
<http://repiica.iica.int/docs/B0218e/B0218e.pdf>
- Berlijn Johan, Ing. Brouwer Cor. (1990). *Riego y drenaje. Manual para educación agropecuaria*. 2ª ed. Trillas, Mexico.p.35
- Briones, G y García I. (2007). *Sistema de riego por aspersión y goteo*.2ª ed. México. Trillas UAAAN. p.182, 185,188
- Burt Charles. (2004).*Evaluación de campo de la uniformidad de distribución en riego por goteo y aspersión*.ResearchGate.p.3, 4,5
- Chamba, D., Zobelzu, S., Juana, L. (2020). Hydraulic characterization of field drip irrigation. *Ingeniería del agua*, 24(1), p.15.<https://doi.org/10.4995/Ia.2020.12205>
- Espinosa María. (2016).Guía Agropecuaria. Hagamos del campo un negocio rentable. Situación del riego en Nicaragua. 17ª ed.p.16
- Fernández Rafael. (2010). Manual de riego para agricultor .Modulo 4: Riego localizado. Junta de Andalucía .Consejería y Pesca. España Sevilla.p.28,30
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf
- Food and Agricultural Organization (FAO), (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia* .Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.Chile.Santiago.p.44.
- Gil, José; Hernández Luis. (2002). Evaluación del comportamiento hidráulico de varios emisores importados para riego por goteo. *Revista científica UDO Agrícola*. 2.p.64, 65
- Instituto Nacional Tecnológico (INATEC). (2017). Manual del protagonista. *Cultivo. De frutales*.Recuperadohttps://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Cultivo_de_Frutales.pdf .p.15
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) - (2017). Cartilla variedad de aguacate<http://www.inta.gob.ni/wp-content/uploads/2019/10/Cartilla-Varietades-de-Aguacate-2017-con-observaciones.pdf>.

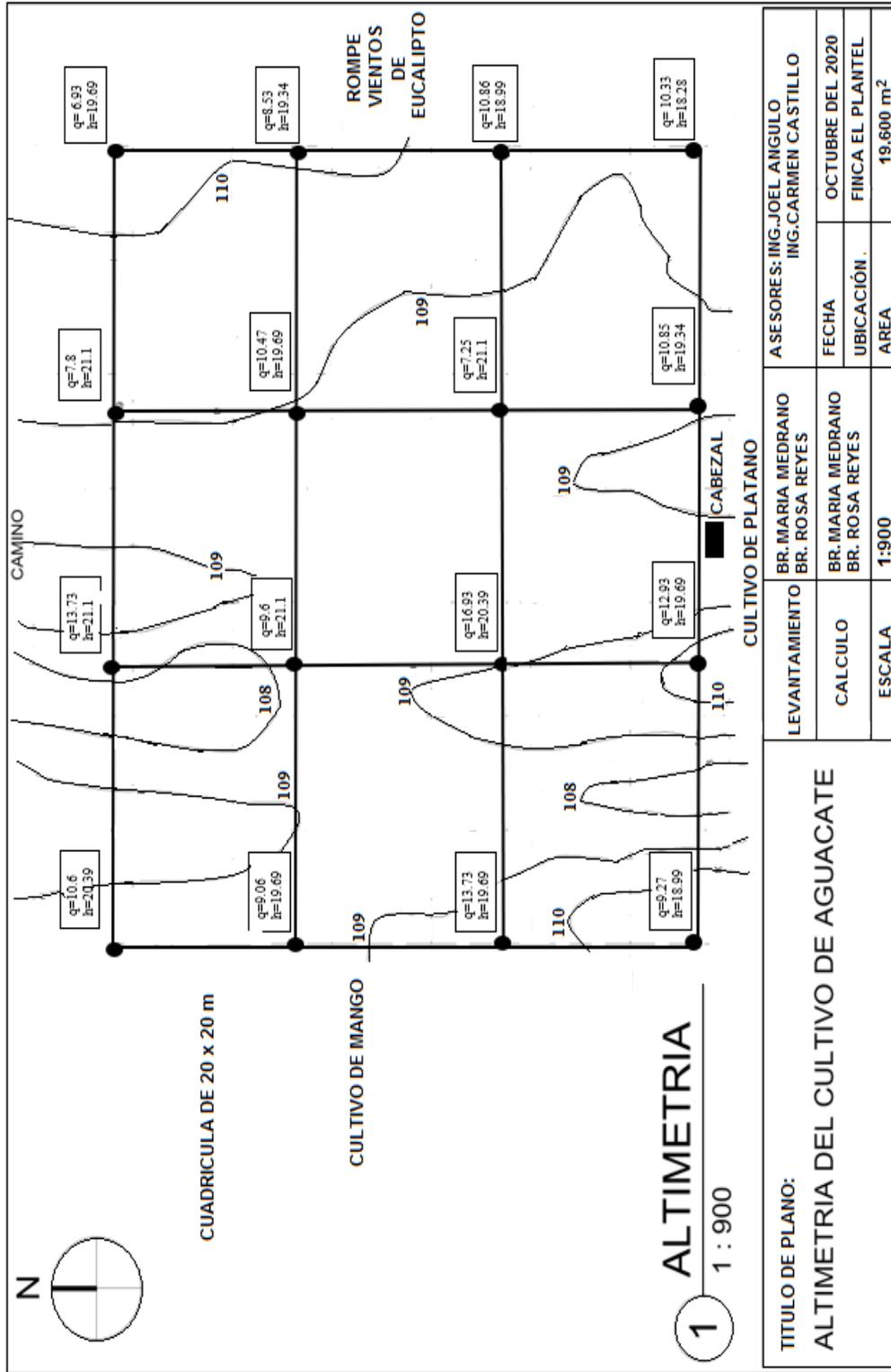
- Liotta *et al.* (2015). Manual de capacitación Riego por goteo. 1^{er} ed. Argentina. p.8,10,19.https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Maldonado, Temístocles, (2001). Manual de riego parcelario. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recnat/pdf/MR_cap2.PDF
- Mataix, Claudio. (1986). *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*. 2^a ed. Ediciones del Castillo, S.A. Madrid. p.236. <https://conver2.files.wordpress.com/2012/11/ingenieria-claudio-mataix-mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas1.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2003). Guía técnica del cultivo de aguacate. 1^{er} ed. El Salvador .p.42
- Palomino K. (2009). *Riego por goteo*. Starbook. Editorial. España. Madrid. p.68, 70, 72, 74, 76, 78.
- Pizarro. (1996). *Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF)*. 3.^a ed. España. Mundi-Prensa. p.178,397.
- Roblero, R & Mejía C. (2012). 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 Ing. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de tecnología de la construcción, NI. p.2.
- Sandoval, k & Somarriba, B. (2015). Diseño de un sistema de fertirriego automatizado en la Plantación de musaceas de la finca ojo de agua ubicada en la isla de Ometepe (Rivas). Tesis Ing. Electrónica Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de ciencias e ingeniería, NI. p.11.
- Santos Luis, Valero José, Picornell María, Martín-Benito. (2010). *El riego y sus tecnologías*. Europa-América. p.112.
- Ticona Y. (2013). Determinación del bulbo húmedo con goteros de diferente caudal en dos suelos, la molina -lima y viru-trujillo. Tesis ing. agrícola Universidad Nacional Agraria la Molina. Facultad de ingeniería agrícola, Pe. p.20.

Vélez, S.J.E.; Camacho, T.J.H.; Álvarez, H.J.G.(2013). “Evaluación de goteros utilizados en microirrigación en Colombia”, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícola*, 29,p.22

Zelaya C. (1990).Los suelos y sus aptitudes agrícolas de la finca El plantel. Tesis. Instituto Superior de Ciencias Agropecuaria. Departamento de suelos y aguas. p.30

IX. ANEXOS

Anexo 1. Muestras de datos de caudal y presión en la unidad de riego por goteo del cultivo de aguacate



Anexo 2. Cuadro de precipitación promedio

MES AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
1989	0.4	0	0	0	5.4	130	118.3	82.9	315.7	54.7	50.6	22.7	780.7
1990	1.2	0.9	0	3.7	89.7	114.1	103.9	114.9	85.3	100.9	132.3	8.6	755.5
1991	1.8	2.3	0	0.5	203.2	152.4	75.2	106.6	187.4	221.1	26.1	2.9	979.5
1992	0.3	0	0	0	86.7	159	119.4	62.2	143.3	114.4	4.1	16	705.4
1993	1.3	0	0	29.2	347.3	101.1	104.7	287.2	345.3	112.6	85.2	1.4	1415.3
1994	2.9	0.6	2.7	129.1	83.2	49.3	95.2	79.9	167.7	222	143.2	10.2	986
1995	0	0	16	115.6	20.6	212.3	112.3	326.1	297.4	202.6	43.9	13.4	1360.2
1996	21.3	0	5.3	0	240.8	221.6	282.3	116.6	275.9	315.6	127.1	2.1	1608.6
1997	5.8	0.5	0.4	1.3	14.1	291.7	57.5	82.3	99.3	246.2	63.3	0	862.4
1998	0	0	0	0	50.6	117.9	100.5	119.2	229.8	836.4	91.6	19.7	1565.7
1999	4.1	56.5	6.9	37.2	45.2	141.5	195.9	168.6	348.9	192.1	56.7	0.3	1253.9
2000	2.7	0.2	0.1	4.3	72.8	118.1	103	63.5	452.7	121.8	12.7	5.2	957.1
2001	0.6	1.7	0	0	122.7	79.4	103.5	173.4	256.4	102.8	21.2	0.3	862
2002	2.3	1.4	0	0.5	473.7	98.4	106.3	154.9	237	130.8	18.6	0.8	1224.7
2003	1.1	0	9.1	113.7	211.4	260.7	100	100.6	151.6	176.6	99	5.8	1229.6
2004	0 -		0 -		0.1 -		13.4	0 -		7.3 -		0	20.8
2005	0.1	0	0	31.1	289.2	220.1	105.3	196.2	238.7	243.2	70.8	0.4	1395.1
2006	8.1	0.2	2.7	0.1	40.2	138.2	136.4	74.6	130.9	105	44.2	2.7	683.3
2007	0	0	0.8	25.8	251.9	108.7	140.3	292	219.6	300	61.3	11.5	1411.9
2008	2	0.7	2.4	3.4	226.1	126.3	276.8	125.7	213	455.6	7.2	0.3	1439.5
2009	0	0	0	0	91.3	171.1	106.6	75.3	107.4	163.2	63.4	17.8	796.1
2010	0.0	0.0	0.0	103.7	293.2	229.7	253.4	331.7	379.2	103.9	80.9	0.2	1775.9
2011	3.6	0	0.2	0	200.9	177.5	341	70.9	372.9	340.1	43.2	19.4	1569.7
2012	3	1.9	0	35.4	349.2	133.5	108.9	169.2	125.7	193.2	2.5	3.5	1126
2013	1.1	0.9	0	0	60	285.3	156.1	85.9	330.2	93.8	49.2	7.9	1070.4
2014	3.1	0.7	0	0	31.1	73.2	57	196	216.5	193.8	54	0.2	825.6
2015	0.3	0.1	0.6	76.3	59.4	335.3	35.3	46.2	128.9	105.8	48.5	0	836.7
2016	0	0	0.5	22.2	123.8	237.8	34.6	78.3	159.6	275.1	41.5	13.5	986.9
2017	1.4	0	0.3	10.9	292.8	136.4	148.9	172.8	156.1	303.6	66	19.8	1309
2018	0.4	12.3	0	29.8	128.6	121.4	61.1	96.2	126.8	433	8.7	4.6	1022.9
2019	0	0	0	0	202.8	97.8	82.3	80.4	234.3	423.9	13	1.7	1136.2
promedio	2.30	2.79	1.6	23.11	147.16	158.97	119.40	126.62	219.11	226.24	53.42	7.09	1072.56

Anexo 3. Cuadro de temperatura media

Mes														
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales	
1989	-		25.9	26.8	28.5	28.8	27.1	26.7	26.7	26.1	26.5	26.6	25.5	26.8
1990	26.1	26.3	27.7	29.1	28.3	27.3	26.9	27.2	27	26.8	26.3	25.9	27.1	
1991	26.3	27	28.4	29.4	28.6	27.8	27.2	27	27.4	26.5	26.3	26.1	27.3	
1992	26.2	27.3	28.3	29.8	29.5	28.1	26.3	26.8	26.8	26.7	26.9	26.6	27.4	
1993	26.5	27.3	28.3	29.5	28	27.3	26.9	26.4	25.9	26.7	26.4	26.1	27.1	
1994	25.8	26.8	27.9	28.7	28.4	27.4	27.2	27.2	26.8	26.8	26.1	26.2	27.1	
1995	26.3	27.1	28.3	29	29	27.4	27.1	27.1	26.5	26.6	26.4	26.2	27.3	
1996	25.7	26.8	27.5	29.4	27.8	27.2	26.7	26.7	26.6	26.4	25.9	25.7	26.9	
1997	25.7	26.8	27.6	28.7	29.9	26.7	27.7	27.7	27.7	27	26.8	26.5	27.4	
1998	27.5	27.9	29.5	30.3	30	28.2	27.5	27.7	27	26.1	26.2	26.2	27.8	
1999	26.2	26.3	27	28.7	28	27.4	26.6	26.8	26.2	25.9	25.8	25.6	26.7	
2000	25.5	26.5	27.3	28.7	28.3	27.4	27	27.5	26.4	26.3	26.6	26.4	27	
2001	26.2	26.6	27.7	29.2	29.2	27.3	26.9	27.5	26.6	27	26.4	27.2	27.3	
2002	26.9	27.1	28.3	29.1	28.5	27.5	27	27.4	27.1	26.7	26.3	26.7	27.4	
2003	26.9	28	28.5	29.6	28.8	26.8	26.9	27	27.3	26.9	26.8	26.3	27.5	
2004	26.3	27.1	28.3	29.4	28.3	27.2	26.7	27.3	27.1	27	26.5	26.5	27.3	
2005	26.6	27	29.5	30.1	28.5	27	27.4	27.1	26.7	26	26.3	26.4	27.4	
2006	26.4	26.7	27.9	29.4	29.2	27.6	27.5	28	27.7	26.6	26.4	27.2	27.6	
2007	27.1	27.8	29.1	29.6	28.8	27.8	27.1	27	26.6	26.2	26.4	26.2	27.5	
2008	26.4	27	28.1	29.3	28.6	26.9	26.7	27	26.9	26.3	26.4	26.4	27	
2009	26.6	27	27.8	29.3	29	27.5	27.3	27.4	28.1	27.4	26.8	27.1	27.6	
2010	27.0	28.5	29.0	29.7	28.0	27.3	26.9	26.9	26.6	27.2	26.0	25.1	27.3	
2011	26.5	27.5	28.0	29.3	28.8	27.3	26.7	27.5	27.1	26.3	26.4	26.1	27.3	
2012	25.8	26.8	28.0	29.1	28.4	27.7	27.0	27.4	27.0	26.8	26.7	27.1	27.3	
2013	27.2	27.6	28.6	30.1	29.4	27.6	26.9	27.3	26.8	27.0	26.8	26.6	27.7	
2014	26.6	27.3	28.8	30.0	30.0	28.8	28.8	27.8	27.2	26.7	27.0	26.9	28.0	
2015	27.2	27.7	28.4	30.0	29.2	28.4	28.0	28.8	28.4	28.0	27.7	28.4	28.4	
2016	27.7	28.2	29.6	30.5	30.0	27.4	27.6	28.3	27.5	27.1	27.0	26.7	28.1	
2017	21.6	21.8	23.1	24.6	24.6	24.2	23.7	23.8	24.0	23.8	22.6	21.9	20.7	
2018	26.7	26.6	28.3	29.1	28.0	27.2	27.8	27.4	27.6	26.2	27.4	26.4	27.4	
2019	27.1	27.8	28.6	29.8	28.4	28.4	27.7	28.2	27.7	26.7	27.3	27.2	27.9	
promedio	26.30	26.86	27.99	29.19	28.61	27.33	27.00	27.19	26.91	26.55	26.41	26.29	27.22	

Anexo 4. Cuadro de temperatura mínima

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
1989	19	16	15	20	23	22	20	22	21	21	20	15	15
1990	18	19	20	21	21	22	22	21	22	20	21	18	18
1991	20	18	18	22	22	23	23	22	22	21	18	18	18
1992	18	19	18	21	22	22	21	21	20	21	20	17	17
1993	17	18	20	21	23	23	22	22	21	22	19	18	17
1994	17	19	19	21	23	21	21	21	21	21	20	18	17
1995	18	19	20	21	22	22	22	22	21	20	20	19	18
1996	16	15	16	21	22	22	21	21	21	21	18	19	15
1997	17	19	19	20	22	22	22	22	22	21	21	18	17
1998	20	17	20	21	24	22	22	22	21	22	20	19	17
1999	18	19	17	20	22	22	21	22	22	20	18	15	15
2000	17	19	18	20	22	22	21	22	21	20	19	16	16
2001	17	19	18	21	23	22	21	23	22	21	20	17	17
2002	19	18	19	22	22	22	22	22	22	22	19	19	18
2003	18	20	20	22	23	23	22	21	22	21	21	18	18
2004	16	18	21	17	23	22	21	23	22	21	19	20	16
2005	18	17	21	22	22	23	22	22	22	20	18	19	17
2006	18	19	19	22	23	23	22	23	23	23	14	20	14
2007	20	18	21	23	23	22	22	22	22	21	18	18	18
2008	19	18	19	22	21	22	22	22	22	22	18	19	18
2009	19	19	19	20	23	22	23	23	22	22	21	19	19
2010	19	20	18	23	23	23	22	21	22	22	18	17	17
2011	17	20	20	21	22	23	22	22	22	22	19	19	17
2012	17	19	20	22	22	23	22	22	21	22	17	19	17
2013	21	20	20	22	23	22	21	22	22	22	20	20	20
2014	19	19	21	20	23	23	23	23	22	22	21	19	19
2015	20	20	20	22	23	23	23	23	23	23	21	21	20
2016	19	21	22	23	24	23	22	22	22	23	19	21	19
2017	18	20	21	22	23	23	22	23	23	22	19	19	18
2018	18	20	19	22	23	23	22	23	23	21	22	18	18
2019	20	21	21	21	23	22	22	22	23	22	21	20	20
promedio	19.03	20.10	20.58	21.63	22.94	22.76	22.13	22.50	22.53	22.15	20.18	19.69	

Anexo 5. Cuadro de temperatura máxima

Mes													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
1989	33	34	35	36	37	36	34	34	34	34	35	34	37
1990	34	35	36	36	36	35	35	34	34	34	34	33	36
1991	34	36	37	37	37	35	34	35	36	35	34	34	37
1992	35	36	36	37	38	36	33	35	35	34	34	34	38
1993	35	36	38	37	37	35	34	34	34	34	34	34	38
1994	34	35	37	36	36	35	35	35	35	34	33	34	37
1995	35	35	36	37	37	35	35	35	34	34	35	33	37
1996	33	35	37	38	37	35	35	34	34	33	34	33	38
1997	34	35	36	37	38	36	35	36	37	34	33	34	38
1998	35	37	37	38	39	36	35	36	34	34	33	34	39
1999	33	34	36	37	36	36	34	34	34	33	32	33	37
2000	33	34	36	37	37	36	35	35	34	34	34	35	37
2001	34	34	36	37	37	34	35	36	34	34	33	34	37
2002	35	35	37	37	38	34	34	35	35	34	34	34	38
2003	34	36	36	37	37	34	34	34	35	33	34	34	37
2004	34	36	36	37	37	34	34	36	35	34	34	34	37
2005	34	35	37	38	38	34	34	34	35	33	34	34	38
2006	34	35	36	38	37	36	35	36	36	35	34	35	38
2007	35	36	37	38	38	35	35	34	33	33	33	34	38
2008	34	35	36	37	37	35	34	34	34	33	33	34	37
2009	34	35	36	37	37	35	34	35	35	35	34	35	37
2010	36	36	38	38	36	35	34	34	34	34	33	33	38
2011	34	35	37	37	37	35	34	35	34	34	33	33	37
2012	34	35	37	37	37	35	35	35	34	34	34	35	37
2013	35	36	37	38	38	35	34	34	34	34	34	34	38
2014	33	35	37	37	37	37	36	36	35	34	34	34	37
2015	34.2	35.5	36.7	37.5	36.7	36.5	34.9	36.5	36.6	35.9	34	35.5	37.5
2016	34.8	35.7	37	38.1	37.7	34.7	35.3	36.4	35.3	34.3	34.4	33.6	38.1
2017	34.3	35.4	36.5	37.6	37	35	34.4	34.9	35	33.6	33.6	33.5	37.6
2018	34	34.4	36.5	37.8	36	34.4	35	35.2	35	33	34.2	34	37.8
2019	34.4	35.5	36.6	37.6	38.4	35.5	35	35.6	35.5	33.6	34.6	34.8	38.4
promedio	34.34	35.3	36.66	37.72	37.16	35.22	34.92	35.72	35.48	34.08	34.16	34.28	

Anexo 6. Cuadro del cálculo de las necesidades para el cultivo

Cálculos de necesidades para cultivos						
Mes	Prec.prom	Ppt 75%	mnEto(mm/m)	Etc (mm/m)	Pe(mm/m)	N_n (mm/m)
Enero	2.3	1.98	155.11	131.84	1.97	129.87
Febrero	2.79	2.4	160.2	136.17	2.39	133.78
Marzo	1.6	1.38	195	165.75	1.38	164.37
Abril	23.11	19.87	201	170.85	19.24	151.61
Mayo	147.16	126.56	193.33	164.33	100.93	63.4
Junio	158.97	136.71	168.1	142.89	106.81	36.08
Julio	119.4	102.68	174.7	148.5	85.81	62.69
Agosto	126.62	108.89	179.53	152.6	89.92	62.68
Septiembre	219.11	188.43	167.56	142.43	131.62	10.81
Octubre	226.24	194.57	153.93	130.84	134	-3.16
Noviembre	53.42	45.94	147.07	125	42.56	82.44
Diciembre	7.09	6.1	164.43	139.77	6.04	133.73

Anexo 7. Cuadro de necesidades brutas de riego diario (NBR)

Mes	Etc (mm/d)	P75% ef. (mm/d)	NRD (l/platnta/d)	QPL (l/h)	Tiempo de riego (h/día)	Vol/día
Enero	4.25	0.06	158.78	22.85	6.95	482,689.00
Febrero	4.69	0.08	174.77	22.85	7.65	53,130.00
Marzo	5.35	0.04	201.09	22.85	8.80	61,131.00
Abril	5.70	0.66	190.80	22.85	8.35	58,003.00
Mayo	5.30	4.08	46.38	22.85	2.03	14,099.52
Junio	4.76	4.56	7.58	22.85	0.33	2,304.00
Julio	4.79	3.31	56.24	22.85	2.46	17,096.96
Agosto	4.93	3.51	53.81	22.85	2.35	16,358.00
Septiembre	4.75	6.3	-	-	-	-
Octubre	4.22	6.28	-	-	-	-
Noviembre	4.17	1.53	99.85	22.85	4.37	30,354.00
Diciembre	4.01	0.2	144.45	22.85	6.32	43,912.80

Anexo 8. Cuadro de valores de eficiencia de la aplicación (EA) del riego en los sistemas de riego por goteo, relacionado con la textura (valores en climas áridos)

Profundidad de las raíces (m)	Textura			
	Muy porosa (grava)	Arenosa	Media	Fina
<0.75	0.85	0.90	0.95	0.95
0.75-1.50	0.90	0.90	0.95	1.00
>1.50	0.95	0.95	1.00	1.00

Anexo 9. Cuadro de diámetro mojado por un emisor de $4lh^{-1}$

Profundidad de raíces textura del suelo	Grado de estratificación del suelo		
	Homogéneo	Estratificado	En capas diámetro mojado(m)
Profundidad 0,8m			
Ligera	0,50	0,80	1,10
Media	1,00	1,25	1,70
Pesada	1,10	1,70	2,00
Profundidad 1,7m			
Ligera	0,80	1,50	2,00
Media	1,25	2,25	3,00
Pesada	1,70	2,00	2,50

Fuente: Citado por Ticona 2013, Keller y Karmelli (1974)

Anexo 10. Cuadro de rangos de coeficiente de variación de fabricación

Rango	Clasificación
$CV \leq 0.04$	Excelente
$0.04 < CV \leq 0.07$	Medios
$0.07 < CV \leq 0.1$	Marginales
$0.11 < CV \leq 0.15$	Deficientes
$CV \leq 0.15$	Generalmente inaceptables

Fuente: Citado por Gil *et al* 2002, Goldberg (1974)

Anexo 11. Cuadro de régimen de riego teórico para el cultivo de aguacate

Mes	Enero			Febrero			Marzo			Abril		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
ETo (mm/mes)	155.1	155.11	155.1	160	160.2	160.2	195	195	195	201	201	201
ETo (mm/d)	5	5	5	5.52	5.52	5.52	6.29	6.29	6.29	6.7	6.7	6.7
Kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
ETc	4.25	4.25	4.25	4.69	4.69	4.69	5.35	5.35	5.35	5.70	5.70	5.70
P75% eft. (mm/mes)	1.98	1.98	1.98	2.4	2.4	2.4	1.38	1.38	1.38	19.9	19.87	19.87
P75% ef. (mm/d)	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.08	0.04	0.04	0.04	0.66	0.66	0.66
Pe (mm/d)	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.08	0.04	0.04	0.04	0.64	0.64	0.64
Nn (mm/d)	4.19	4.19	4.19	4.61	4.61	4.61	5.31	5.31	5.31	5.06	5.06	5.06
Lbt (mm/día)	4.66	4.66	4.66	5.12	5.12	5.12	5.9	5.9	5.9	5.62	5.62	5.62

Continuación del anexo 11

Mes	Mayo			Junio			Julio			Agosto		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
ETo (mm/mes)	193.3	193.33	193.33	168.1	168.1	168.1	174.7	174.7	174.7	179.5	179.53	179.5
ETo (mm/d)	6.24	6.24	6.24	5.6	5.6	5.6	5.64	5.64	5.64	5.8	5.8	5.8
Kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
ETc	5.30	5.30	5.30	4.76	4.76	4.76	4.79	4.79	4.79	4.93	4.93	4.93
P75% eft. (mm/mes)	126.6	126.56	126.56	136.71	136.7	136.7	102.7	102.7	102.7	108.9	108.89	108.9
P75% ef. (mm/d)	4.08	4.08	4.08	4.56	4.56	4.56	3.31	3.31	3.31	3.51	3.51	3.51
Pe (mm/d)	3.26	3.26	3.26	3.56	3.56	3.56	2.77	2.77	2.77	2.9	2.9	2.9
Nn (mm/d)	2.04	2.04	2.04	1.2	1.2	1.2	2.02	2.02	2.02	2.03	2.03	2.03
Lbt (mm/día)	2.27	2.27	2.27	1.33	1.33	1.33	2.24	2.24	2.24	2.26	2.26	2.26

Continuación del anexo 11

Mes	Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
ETo (mm/mes)	167.6	167.56	167.6	153.9	153.9	153.9	147.07	147.07	147.07	164.43	164.4	164.4
ETo (mm/d)	5.59	5.59	5.59	4.97	4.97	4.97	4.9	4.9	4.9	4.72	4.72	4.72
Kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
ETc	4.75	4.75	4.75	4.22	4.22	4.22	4.17	4.17	4.17	4.01	4.01	4.01
P75% eft. (mm/mes)	188.4	188.43	188.4	194.6	194.6	194.6	45.94	45.94	45.94	6.1	6.1	6.1
P75% ef. (mm/d)	6.3	6.3	6.3	6.28	6.28	6.28	1.53	1.53	1.53	0.2	0.2	0.2
Pe (mm/d)	4.39	4.39	4.39	4.32	4.32	4.32	1.42	1.42	1.42	0.19	0.19	0.19
Nn (mm/d)	0.36	0.36	0.36	-0.1	-0.1	-0.1	2.75	2.75	2.75	3.82	3.82	3.82
Lbt (mm/día)	0.4	0.4	0.4	-0.11	-0.11	-0.11	3.06	3.06	3.06	4.24	4.24	4.24

Anexo 12. Cuadro de estimación de valores del índice de precipitaciones (IP) para diferentes probabilidades

Estimación de valores del Índice de Precipitaciones (IP) para diferentes probabilidades						
Ppt anual	%					
	50	60	70	75	80	90
75	0.80	0.68	0.56	0.51	0.45	0.33
100	0.84	0.72	0.61	0.56	0.50	0.38
125	0.87	0.76	0.65	0.60	0.54	0.42
150	0.88	0.78	0.68	0.63	0.57	0.45
175	0.89	0.79	0.69	0.65	0.60	0.48
200	0.90	0.81	0.71	0.67	0.62	0.51
225	0.91	0.82	0.73	0.68	0.63	0.53
250	0.92	0.83	0.75	0.70	0.65	0.55
300	0.93	0.85	0.78	0.74	0.69	0.58
350	0.94	0.86	0.79	0.75	0.71	0.61
400	0.95	0.88	0.81	0.77	0.73	0.63
450	0.95	0.89	0.82	0.78	0.74	0.65
500	0.96	0.90	0.83	0.79	0.75	0.67
550	0.96	0.90	0.84	0.81	0.77	0.69
600	0.97	0.91	0.84	0.81	0.78	0.70
650	0.97	0.92	0.85	0.82	0.79	0.71
700	0.97	0.92	0.86	0.83	0.80	0.72
750	0.97	0.93	0.87	0.84	0.81	0.73
900	0.98	0.93	0.88	0.85	0.82	0.75
1000	0.98	0.94	0.89	0.86	0.83	0.77
1150	0.98	0.94	0.90	0.87	0.84	0.78
1250	0.98	0.95	0.91	0.88	0.85	0.79
1400	0.99	0.95	0.91	0.89	0.86	0.80
1500	0.99	0.95	0.91	0.89	0.87	0.81
1800	0.99	0.95	0.92	0.90	0.88	0.83
2000	0.99	0.95	0.92	0.91	0.89	0.85
2500	0.99	0.96	0.93	0.92	0.90	0.86

Fuente USDA (1997)

Anexo 13. Cuadro de radiación solar extraterrestre

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2	0	0
68	0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0
66	0.2	2	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12	7.1	2.9	0.6	0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1	0.2
62	0.9	2.9	6.3	10.9	1.8	16.8	15.9	12.5	8	4	1.4	0.5
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17	16.4	13.8	9.7	6.4	3.7	2.6
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17	16.4	14	10.1	6.9	4.2	3.1
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.5	7.4	4.7	3.6
46	46.1	6.9	9.9	13.4	16	17.1	16.6	14.4	10.9	7.8	5.1	4
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16	17.1	16.6	14.7	11.2	8.3	5.7	4.5
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.6	8.7	6.2	5.1
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15	11.9	9.2	6.7	5.6
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.2	9.6	7.1	6
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17	16.7	15.3	12.5	10	7.6	6.6
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17	16.7	15.3	12.9	10.4	8.1	7.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.1	10.9	8.6	7.6
30	8.6	10.5	12.8	15	16.3	16	16.6	15.5	13.4	11.3	9.1	8.1
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.6	11.6	9.5	8.6
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	13.8	12	10	9.1
24	10	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.1	12.3	10.4	9.5
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.2	12.7	10.9	10
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16	16.1	16	15.6	14.4	13	11.3	10.4
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16	15.9	15.6	14.6	13.3	11.7	10.9
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.7	13.6	12.1	11.4
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	14.9	13.8	12.5	11.8
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15	14.1	12.9	12.2
10	13	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2
0	14.8	15.3	15.5	15	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Fuente: Allen et al, (1998)

Unidad: mm/día

Anexo 14. Reconocimiento del terreno y levantamiento topográfico



Anexo 15.Toma de presión y observación del estado de las cintas de riego



Anexo16.Cabzal de la unidad de riego y manómetro

