



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Trabajo de Tesis

**Evaluación de la precipitación aprovechable
en la programación del riego, usando tres
metodologías en el cultivo del aguacate
(*Persea americana*), en la unidad
experimental y validación El Plantel 2023**

Autor

Br. Yasir Javier Bravo Sandino

Asesor

Ing. Msc. Joel Isaías Angulo Rocha

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

**Managua, Nicaragua
Diciembre, 2023**

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

Ingeniero Agrícola

Miembros del Comité Evaluador

Ing. David Antonio López
Campos
Presidente

Ing. Msc. Raquel Dolores Izabá
Ruiz
Secretario

Ing. Msc. Edmundo Rafael Umaña Gómez
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 5/12/2023

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud, sabiduría para tomar decisiones que sean en pro de mi desarrollo profesional y personal.

A mis padres Roberto Javier Bravo Bravo y Agueda Zulema Sandino Murillo por su apoyo incondicional estar siempre atentos a lo que necesitase porque son los mejores padres que la vida me pudo regalar.

Br. Yasir Javier Bravo Sandino

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que es el dador de todo entendimiento y sabiduría porque sin él no estaría aquí. A mis padres Roberto Bravo y Zulema Sandino por haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria por su apoyo incondicional en estos largos años de aprendizaje y crecimiento continuo.

A mis hermanas Lydia Regina, Zulemita Argentina y Cristian Masielis. Porque fueron parte importante en el desarrollo de mi carrera, por motivarme y siempre aconsejarme y estar siempre a mí lado. A mis tíos Josefa Bravo y Eliezer García por ser mi segunda familia por siempre abrirme las puertas de su casa, aconsejarme y sobre todo su apoyo incondicional.

A mis abuelos paternos Uriel Bravo Chamorro y Lidia Bravo por haberme dado el ejemplo de convivencia, crecimiento personal y por aconsejarme siempre, por haber ofrendado con amor su tiempo y dedicación para que hoy este hasta aquí. A mi profesora Msc. Carmen Margarita Castillo Cerna por su profesionalismo y amistad incondicional, por siempre acompañarme en esta investigación.

Br. Yasir Javier Bravo Sandino

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE 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 Agricultura de regadío	4
3.2 Uso de agua de riego en Nicaragua	5
3.3 Importancia del riego en Nicaragua	6
3.4 Precipitación aprovechable	8
3.5 Ecuación de balance hídrico	9
3.6 Metodologías para determinar la precipitación aprovechable	10
3.6.1 Método USDA (Doorenbos, 1979)	10
3.6.2 Método de Savo	11
3.6.3 Método de la unidad de Conservación de Suelo de Estados Unidos (UCCSC)	11
3.7 Generalidades del aguacate	12
3.7.1 Fenología del aguacate	12
3.7.2 Sistema radicular	13
3.7.3 Fruto	13
3.8 Demanda hídrica	13
3.9 Requerimientos edafoclimáticos en el cultivo	14
3.10 Déficit Hídrico	14
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1 Ubicación de área de estudio	16
4.1.1 Clima	17
4.2 Diseño Metodológico	17
4.2.1 Revisión de informática secundaria	17
4.3 Recolección de datos	17
4.4 Método Savo	17
4.4.1 Textura	18
4.4.2 Pendiente del terreno	18
4.4.3 Profundidad radicular del cultivo	18
4.5 Método USDA	18
4.5.1 Evapotranspiración del cultivo	19
4.5.2 Capacidad de campo	19
4.5.3 Límite productivo	20

4.6	Método de la Unidad de conservación de suelo de Estados Unido (UCCSC)	20
4.6.1	Índice de precipitación	20
4.6.2	Cálculo de la probabilidad de ocurrencia (<i>Pr</i>)	21
4.6.3	Cálculo de la precipitación aprovechable	21
4.7	Cálculo del coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones mediante la metodología propuesta Savo	22
4.8	Norma de riego	22
4.9	Déficit hídrico	23
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
5.1	Precipitación aprovechable	24
5.2	Coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones	26
5.3	Déficit Hídrico	28
VI.	CONCLUSIONES	29
VII.	RECOMENDACIONES	30
VIII.	LITERATURA CITADA	31
IX.	ANEXOS	35

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones mediante las 3 metodologías aplicadas.	24
2.	Deficit hídrico en el cultivo de aguacate.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Mapa de ubicación del área de estudio	16
2. Precipitación aprovechable anual mediante, Savo, USDA y UCCSC y la precipitación total.	24

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Cultivo del aguacate en el área de estudio	36
2.	Recolectando las muestras de suelo para luego procesarlas en el laboratorio	36
3.	Precipitación aprovechable mensual	37
4.	Evapotranspiración del cultivo	37
5.	Precipitación mensual caída en todo el periodo	38
6.	Precipitación anual durante todo el periodo Índice de precipitación y probabilidad de ocurrencia anual calculada por el método de la UCCSC.	39
7.	Tabla para la determinación del coeficiente m1	40
8.	Tabla para la determinación del coeficiente m2	41
9.	Tabla para la determinación aprovechable mediante el método de la USDA	42
10.	Análisis físico de suelo para la determinación de la textura.	43
11.	Base de datos de precipitación caída mensual 1990-2018	44

RESUMEN

El cálculo de la precipitación aprovechable representa una gran relevancia en la planificación del régimen de riego de un cultivo, siendo parte de la ecuación de balance hídrico al cuantificar los ingresos en el sistema suelo-planta. El objetivo de esta investigación es determinar la precipitación aprovechable, el coeficiente de aprovechamiento y el déficit hídrico del cultivo del aguacate en la unidad de experimentación y validación el Plantel propiedad de la Universidad Nacional Agraria. Para determinar las variables de precipitación efectiva, coeficiente de aprovechamiento de la lluvia y el déficit hídrico se utilizaron los métodos: Savo USDA y UCCSC se utilizó una base de datos de 30 años de la estación (1990 – 2019) Augusto César Sandino y los resultados obtenidos sobre la precipitación total de 1,087.81 mm y en tanto la precipitación aprovechable mediante el método de Savo fue de 592.23 mm, de la USDA fue de 520.49 mm y de la UCCSC fue de 585.60 mm generando un déficit hídrico en el método de Savo de 65.67%, el de la USDA 70.08%, y de la UCCSC fue de 66.12%. El coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones con los métodos aplicados en promedio fue de Savo 64.93%, USDA fue de 34.27% y de la UCCSC fue de 58.3%.

Palabras claves: Meteorología, precipitación, déficit, efectividad

ABSTRACT

The calculation of usable precipitation represents great relevance in planning the irrigation regime of a crop, being part of the water balance equation by quantifying the income in the soil-plant system. The objective of this research is to determine the usable precipitation, the utilization coefficient, and the water deficit of the avocado crop in the Plantel experimentation and validation unit owned by the National Agrarian University. To determine the variables of effective precipitation, coefficient of rain use and water deficit, the following methods were used: Savo USDA and UCCSC, a 30-year database of the station (1990 – 2019) Augusto César Sandino and the results were used. obtained on the total precipitation of 1,087.81 mm and while the usable precipitation through the Savo method was 592.23 mm, from the USDA it was 520.49 mm and from the UCCSC it was 585.60 mm, generating a water deficit in the Savo method of 65.67 %, that of the USDA 70.08%, and that of the UCCSC was 66.12%. The precipitation utilization coefficient with the methods applied was Savo 64.93%, USDA was 34.27% and UCCSC was 58.3%.

Keywords: *Meteorology, precipitation, deficit, effectiveness*

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas las lluvias y temperaturas están siendo modificadas como resultado del cambio climático y existen proyecciones que demuestran que estos cambios se acentuarán en los próximos años. (Ramírez, *et al.*, 2010) En Nicaragua es imprescindible aplicar tecnologías que aporten a mitigar las consecuencias del cambio climático, entre ellos está aplicar riego en los cultivos para satisfacer las carencias hídricas. Se tienen que generar distintos cálculos para la determinación del volumen de agua total a aplicar y debe de tomarse en cuenta la precipitación aprovechable. Obteniendo resultado del déficit hídrico en el cultivo para así satisfacerlo bajo riego.

La programación del riego es esencial para las zonas activas en la producción agrícola puesto que el recurso hídrico es uno de los fluctuantes en las producciones a nivel mundial, por esto es importante estudiar todas las variables en torno al régimen de riego. El objetivo principal del régimen de riego es satisfacer todas las necesidades hídricas del cultivo con ello potenciando la producción total en los cultivos. (Camejo, 1978)

La precipitación pluvial genera el mayor aporte de agua para la producción agrícola en gran parte del mundo. No obstante, debido a la variabilidad climática cada vez es más difícil calcular el aprovechamiento de las precipitaciones, por tanto, en muchos estudios no es tomada en cuenta ya sea porque es casi nula y no representa un aporte de gran valor para el cultivo. (Dantane, 1975)

La precipitación aprovechable o efectiva ha sido conceptualizada por varios científicos, pero en su concepto más simple es la lluvia que el cultivo aprovecha para sus necesidades hídricas por tanto se evalúan un historial de precipitaciones, así como los coeficientes específicos de cada método. (FAO, 1978)

En la mayoría de los estudios a nivel mundial sobre riego generalmente giran en torno a la cantidad de riego total para cubrir los requerimientos hídricos de la planta sin tomar en cuenta la precipitación. En algunas investigaciones se pasa por alto la precipitación aprovechable y toman la precipitación caída. (Sampaio, *et al.*, 2000)

El estudio de la precipitación aprovechable para la elaboración de un régimen de riego es elemental ya que podríamos determinar la cantidad de agua caída que está aprovechando el cultivo, el agua que está satisfaciendo sus necesidades edáficas para desarrollarse en un ambiente óptimo así también obtendríamos la información de la cantidad de agua que se necesita para terminar de suplir las necesidades del cultivo.

En esta investigación tiene como propósito determinar la precipitación aprovechable, el coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones, así como el déficit hídrico en el cultivo del aguacate en la unidad experimental y validación El Plantel, haciendo un estudio detallado de las tres metodologías para evaluar todas las variables que giran en torno a este estudio.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la precipitación aprovechable en la programación del riego, usando tres metodologías en el cultivo del aguacate (*Persea americana*), en la unidad experimental y validación El Plantel 2023.

2.2 Objetivos específicos

- Calcular la precipitación aprovechable a través de las metodologías de Savo, del Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA) y la Unidad de Conservación de suelo de Estados Unidos (UCCSC) en el cultivo del aguacate.
- Estimar el coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones en el cultivo del aguacate mediante la metodología propuesta por Savo.
- Estimar el déficit hídrico del cultivo del aguacate en la finca el plantel según metodología de Savo, la del Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA) y la Unidad de Conservación de suelo de Estados Unidos (UCCSC).

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Agricultura de regadío

La agricultura de regadío tiene relación directa con la calidad del suministro de agua. El nivel de contaminación en el agua afecta directamente al cultivo, por lo que se ha recomendado una serie de medidas estratégicas para evaluar el agua de regadío, aunque muchas veces se han hecho caso omiso, porque las fuentes de agua son de buena calidad, pero todo ha venido cambiando puesto que la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas es algo existente y cada día toma más fuerza por el descuido del ser humano y agentes regulatorios. (FAO, 1985)

A lo largo de los años, la agricultura bajo riego ha sido una fuente de producción de alimentos esencial, las producciones en estas condiciones tienen como resultado el doble de productividad en los cultivos, utilizando sistemas de riego eficaces. Esto es una ventaja porque la planta absorbe el agua disponible en el medio y disminuye futuros acontecimientos como la marchitez o estrés hídrico afectando la producción del cultivo. Los sistemas de riego, aunque son muy eficaces contribuyen un porcentaje menor que la agricultura tradicional o agricultura en secano. Globalmente la agricultura de secano se practica en el 83 por ciento de las tierras cultivadas y produce más del 60 por ciento de los alimentos del mundo. (FAO, 2002)

En Nicaragua la agricultura de regadío tiene el mayor porcentaje de extracción hídrica a nivel nacional, con un 71%. La superficie irrigada ha tenido un historial de ser limitado y fluctuante, en las últimas 5 décadas en Nicaragua, a principios de los 1960 y 1990 ha llegado a cubrir entre el 1 a 6 entre 1980 y 2011, de la superficie agropecuaria total. En 2011, Nicaragua llegó a tener cerca de 100,000 hectáreas cultivadas bajo riego. En 1990 y 1970 alcanzo un porcentaje similar. (BID, 2016)

3.2 Uso de agua de riego en Nicaragua

Los usos de agua de riego para la producción de alimentos están relacionados de manera inseparable. Un factor limitante en la producción agrícola a lo largo de los años y en la mayor parte del mundo ha sido el agua, en donde no se satisface los requerimientos hídricos del cultivo con solo las precipitaciones, por tanto, hay que buscar alternativas para suplir dicha necesidad. En un mundo donde la competencia por los recursos no renovables es cada vez mayor y la creciente necesidad de los productos agrícolas igual, nunca ha sido más imprescindible mejorar la eficiencia y productividad en el uso de agua para la producción agrícola, para así garantizar y dar seguridad a la demanda alimentaria en un futuro y así disminuir el nivel de incertidumbre que conlleva el cambio climático. (FAO, 2014)

El agua que se utiliza para la agricultura en regadío varía mucho en la calidad según el tipo y el número de sales disueltas. Las sales que se encuentran disueltas en el agua, aunque sean números muy pequeños pueden ser significativos para la planta, porque pueden afectar al cultivo de manera nociva. Estas sales se originan por la disolución y meteorización de las rocas y suelo, incluida la cal diluida, así como yeso y otros minerales del suelo y estos se disuelven de manera lenta. El sistema de riego les sirve de transporte a las sales, porque las aplican por medio del agua que irrigan y estas quedan en la superficie del suelo, a medida que el proceso de evaporación comienza o si es absorbida por el cultivo. (FAO, 1985)

La eficacia del agua para riego se refiere a las características específicas del agua, sus componentes físicos químicos y biológicos teniendo en cuenta las necesidades hídricas del cultivo, para determinar si satisface o no las necesidades de este, es decir si el agua es apta para riego. La importancia de una fuente hídrica de calidad es que de ella depende gran parte de la producción final. (FAO, 1985)

En Nicaragua la mayoría de la población está concentrada en el pacífico con un 57%, en este territorio se concentra las ciudades más importantes del país, así también los suelos de mayor aptitud para producción agrícola. Esta región tiene pocos caudales superficiales en cambio la región atlántica tiene grandes fuentes de agua, aun así, existe cuantiosos recursos hídricos

subterráneos. Esto genera que las necesidades de suministro de agua se suplan a partir del agua subterránea. (FAO, 2018)

El sector agrícola, destacó en la extracción hídrica nacional con 1.185 km³ un equivalente al 76 % de la extracción total, esto demuestra la importancia de agua de riego, y los grandes volúmenes de agua que se necesitan para satisfacer los requerimientos agrícolas nacionales. El sector agrícola está fraccionado en dos secciones: el sector ganadero que ocupa 0.075 km³ y el sector agrícola con 1.110 km³. (FAO, 2018)

A lo largo del ciclo, el cultivo tiene necesidades variables en cuanto a requerimientos hídricos, estas pueden ser cubiertas por la precipitación, pero cuando esta no satisface todos los requerimientos se recurre al riego, aportando la cantidad de agua necesaria para satisfacer los requerimientos de la planta. El riego es esencial para cubrir estas necesidades, pero es un recurso que se puede regular, la lámina de riego, es decir, se puede llegar a un balance, por este caso se estudia las variables que son difíciles de controlar como la precipitación. (Carrazón, 2007)

3.3 Importancia del riego en Nicaragua

Las consecuencias del cambio climático cada día son más visibles en el mundo y en Nicaragua, el corredor seco en Nicaragua es el territorio que tiene más efectos negativos por este fenómeno, distinguido por un ciclo lluvioso muy errático con periodos que presentan demasiada humedad o ciclos prolongados de sequía. Esto tiene como consecuencia: escases de agua para la producción y una disminución considerable del rendimiento final de las cosechas, que afecta el nivel de vida de los pequeños y medianos agricultores. (FAO, 2018)

Nicaragua presenta un importante crecimiento en los sistemas de riego en el sector agropecuario, en las últimas dos décadas ha pasado a ser el país con mayor extensión agrícola, sobrepasando a Guatemala desde 1990. En los últimos años la superficie agrícola se ha consolidado con más de 5 millones de hectáreas. (BID, 2016. Pp 5) Según el ministerio de

agricultura (MAG) en el territorio nacional se irriga cerca del 8% (130, 000.00 Manzanas) de área total, teniendo mayor auge los cultivos de caña de azúcar, arroz y tabaco. En el pacífico de Nicaragua se riega en menores extensiones destacando el tabaco, hortalizas y granos básicos. (FAO, 2018)

A lo largo de los años Nicaragua ha enfrentado cambios en sus estadísticas de riego, entre ellos destaca Chinandega que tuvo la mayor expansión territorial bajo riego, que pasó de 20 mil 30 mil hectáreas, Otro departamento que tuvo una fuerte expansión fue Río San Juan teniendo de casi 0 en 2001 a tener 3 mil hectáreas en 2011. Por otra parte, Managua se enfrentó a una recesión en área bajo riego perdiendo casi 7 mil hectáreas de 2001 a 2011. Otros departamentos que tuvieron caídas importantes fueron Granada, Matagalpa y Boaco. Entre el periodo de 2001 y 2011 sucedieron muchos cambios significativos, del cual se podría atribuir diferentes causas como contextos de rentabilidad diferenciada ante cambios de tecnología, condiciones edafoclimáticas, mercados. (Zegarra & Chirinos, 2016)

El riego más utilizado en Nicaragua es el riego por goteo contando con unas 60 mil hectáreas seguido del riego por aspersión con unas 30 mil hectáreas y en medidas menores el riego por inundación que abarcó unas 5,600 hectáreas en 2011. Las dos regiones que han sufrido cambios abruptos han sido Chinandega y Managua. En Chinandega se distingue por el fuerte aumento de los sistemas de riego por aspersión directamente ligado al cultivo de la caña de azúcar que redujo a la producción de arroz considerablemente. (Zegarra & Chirinos, 2016)

En el departamento Managua ha aumentado los sistemas de riego por gravedad en favor del cultivo del arroz y disminuyó el riego por aspersión en el cultivo de la caña de azúcar. En los departamentos restantes también se refleja diferencias en sus estadísticas: en Granada también mostró un aumento de riego por aspersión, así como caídas en los sistemas de riego por gravedad y riego por goteo, atribuyéndosele a cultivos frutales y hortalizas. En León el riego por aspersión aumentó significativamente por la expansión del cultivo del arroz. En Río San Juan la expansión se debe únicamente al riego por gravedad. (Zegarra & Chirinos, 2016)

3.4 Precipitación aprovechable

La precipitación aprovechable es aquella cantidad de la lluvia que logra llegar a la capa de suelo donde se encuentra el sistema radicular del cultivo y este la utiliza para satisfacer sus requerimientos hídricos; la determinación exacta tiene mucha importancia, pues la precipitación es el elemento que mayor aporta a los requerimientos hídricos y se genera en fuentes naturales, en la ecuación de balance hídrico se establece el cálculo pluviométrico para determinar las necesidades de agua para riego. (Dueñas, 1981)

La precipitación que cae al suelo no toda es aprovechada por el cultivo; en el proceso de la lluvia se pierden cantidades por evaporación, percolación profunda y escorrentía. Hay factores que determinan la precipitación efectiva, por ejemplo: cantidad de precipitación, distribución, intensidad, propiedades físicas del suelo, humedad disponible en el suelo. (Carrazón, 2007)

La evaporación en las precipitaciones es la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo y se vaporiza, este proceso es más común en zonas áridas, donde las precipitaciones son de poca duración y de poca intensidad, otra pérdida presente en las precipitaciones es el fenómeno de escorrentía, cuando la intensidad de la precipitación es alta y la capacidad de infiltración del suelo es lenta da por resultado la formación de pequeños flujos de agua a favor de la pendiente, este volumen de agua termina en ríos y no es aprovechada por el cultivo mientras que la percolación profunda es el agua que se infiltra por debajo de la raíces, se da cuando el suelo no tiene buena capacidad de retención hídrica, por lo que esta cantidad de agua no es aprovechada por el cultivo, pero si aporta agua al manto acuífero. (Carrazón, 2007)

Las precipitaciones y en específico la precipitación aprovechable, aportan los requerimientos hídricos que el cultivo necesita para satisfacer sus necesidades. El suelo es fundamental puesto que actúa como reservorio almacenando el agua de la precipitación y donde el cultivo la absorbe, por eso es importante estudiar el nivel de retención de agua en el suelo. En los climas húmedos, se satisface únicamente con la precipitación que el suelo retiene en cambio

en climas áridos o en épocas y periodos secos el riego es indispensable para solventar el déficit de agua en el cultivo. (FAO, 2012)

3.5 Ecuación de balance hídrico

La humedad tiene variaciones en el suelo y estas se pueden estudiar aplicando una fórmula de balance, en cada uno de los diferentes períodos, estas variables son la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones en el periodo observado, ingreso en la capa activa por capilaridad en los casos de un alto manto friático, ingreso de humedad por el aumento de la profundidad, explorada por el sistema radicular y por último ingreso por suministro artificial. Así como la lámina de suelo tiene recargas también tiene procesos de descarga como la evapotranspiración. (Dueñas, 1981)

Según R. Dueñas “La suma de todos los ingresos:

$$\Sigma W = P_a + M_k + M\Delta H + Mr$$

Donde

ΣW = Variación de la reserva de humedad en el suelo

P_a = Precipitación aprovechable

M_k = Ingreso por capilaridad

$M\Delta H$ = Ingreso por incremento del sistema radicular

Mr = Ingreso por riego

Como en toda ecuación de balance existirá valores o factores que aportarán agua al suelo constituye los ingresos y otros provocarán pérdida dando por resultado a los egresos. Durante un periodo Δt el aumento o disminución la humedad presente en el suelo $\pm\Delta W$ será la diferencia entre los egresos y los ingresos. (Dueñas, 1981)

$$\pm\Delta W = P_a + M_k + M\Delta H + Mr - E_t$$

Donde

$\pm\Delta W$ = diferencia entre los egresos y los ingresos

P_a = Precipitación aprovechable

M_k = Ingreso por capilaridad

$M\Delta H$ = Ingreso por incremento del sistema radicular

Mr = Ingreso por riego

Si al comienzo de este periodo la humedad en suelo es W_f puede escribirse:

$$W_f = W_i \pm \Delta W = W_i + P_a + M\Delta H + M_k - E_t$$

W_f = Humedad del suelo final

W_i = Humedad inicial

ΔW = Suma de ingresos

P_a = Precipitación aprovechable

M_k = Ingreso por capilaridad

$M\Delta H$ = Ingreso por incremento del sistema radicular

E_t = Evapotranspiración del cultivo

3.6 Metodologías para determinar la precipitación aprovechable

3.6.1 Método USDA (Doorenbos, 1979)

Este método es reconocido también como el método de la FAO, este método propone la relación existente entre la lluvia mensual total y la evapotranspiración real del cultivo y se toma en cuenta la capacidad disponible de almacenamiento del suelo entre Límite productivo y capacidad de campo. Existe una tabla que está confeccionada para proveer la información:

capacidad de campo y límite productivo dependiendo de la precipitación caída en milímetros, (Marrero, 2007)

3.6.2 Método de Savo

Entre las características de suelo se encuentran m1 que estudia, tipo de suelo y pendiente y m2 que se trabaja con la capa activa y tipo de suelo. En la primera tabla para la determinación del coeficiente m1 se utiliza información específica: pendiente del terreno, precipitaciones mensuales, teniendo poca variabilidad en tipo de suelo. En la segunda tabla se trabaja con datos relacionados con la tabla m1: lluvia mensual y categoría de suelo a diferencia más notoria es en la profundidad radicular del cultivo a evaluar. (Marrero, 2007)

Savo propuso que a partir de la precipitación mensual buscada en mm por cantidad de lluvia probable nos darán como resultado la precipitación aprovechable. Este método proporciona una tabla con coeficientes en las que se evalúan las condiciones y en base a eso, nos darán datos exactos dependiendo de las características específicas del área a evaluar, después se analiza otra tabla donde únicamente se cambia la pendiente por la profundidad radicular del cultivo. (Marrero, 2007)

3.6.3 Método de la unidad de Conservación de Suelo de Estados Unidos (UCCSC)

Con regularidad se encuentran literaturas referentes a considerar las precipitaciones promedio para el cálculo de las necesidades de riego, pero debido a los climas con alta variabilidad y más en el caso de Centroamérica, es recomendable trabajar con datos de precipitación aprovechable y no promedio, puesto que un valor igual o superior a esta última puede que sólo se dé uno de cada muchos años. (Carrazón, 2007)

El Servicio de Conservación de Suelos del departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica desarrollo un procedimiento para determinar la precipitación efectiva usando el proceso de datos climatológicos y la humedad del suelo a largo plazo. Para realizar el estudio inicial se examinó 50 años históricos de precipitación en más de 20

estaciones experimentales que representaban diferentes condiciones climáticas. Para evitar grados de complejidad altos. Este método no toma en cuantos aspectos como la evapotranspiración y ninguna variable de suelo. (FAO, 1998)

3.7 Generalidades del aguacate

El cultivo del aguacate (*persea americana*) es nativa de América tropical, los incas, aztecas y maya se lo mostraron a los conquistadores españoles porque ellos ya lo consumían como alimento, tratamiento para molestias estomacales y para el cuidado del cutis. La palabra aguacate tiene su origen en el vocablo azteca Ahacall, la historia registra la mayor expansión de este cultivo en México, distribuyéndose en sus inicios entre las regiones centro y sur América para luego distribuirse a otros puntos del continente. El cultivo fue exportado a España en el año 1601 posteriormente a las Antillas en 1650, siglos más tarde llegó a Asia en 1833. (ANCG, 2004)

3.7.1 Fenología del aguacate

El aguacate es un cultivo perenne, alcanzando un crecimiento vegetativo grande, llegando a medir de 10 a 12 metros con las condiciones edafoclimáticas adecuadas. Tiene raíces superficiales que absorben nutrientes y agua, en su mayoría en los vértices a través de los tejidos primarios; lo que representa una susceptibilidad del árbol al exceso de humedad, que podría provocar hongos y podriciones vasculares. (ANCG, 2004)

Los árboles de aguacate son muy susceptibles a las carencias hídricas, la inflorescencia es más sensible a las carencias hídricas que las hojas circundantes. En la etapa de cuajado del fruto también muy sensible a las carencias hídricas y se podría producir caídas en el fruto en el momento del cuajo y aproximadamente reducir su tamaño en 50% también puede alterar el fruto en el interior. En el periodo de crecimiento la evapotranspiración es relativamente

baja y variable esto podría ser un riesgo si aplicamos láminas de riego inadecuadas que causen un déficit hídrico. (Steduto et, 2012)

3.7.2 Sistema radicular

Las raíces son regularmente superficiales, la principal raíz es débil y corta, logra profundidades de 1 a 1.5 metros, aunque en suelos sueltos podría ser mayor. Las raíces tienen un patrón de crecimiento horizontal que comienza en los primeros 0.5 metros de profundidad del suelo. Las raíces poseen pocos pelos para absorber los nutrientes y el agua lo realizan por medio de los tejidos primarios de las puntas en las raíces. Esta característica en este cultivo da como resultado susceptibilidad al encharcamiento, porque la planta se podría asfixiar con facilidad y la hace vulnerable al ataque de hongos en sus tejidos radiculares. (Godínez et al., 2,000) Por eso debe de cultivarse en suelos sin problemas de drenaje interno así también en suelos profundos.

3.7.3 Fruto

El fruto es carnosa y dura, de forma ovoide, uniforme, globular o alargada. El color puede variar de verde oscuro a verde claro y de negro a violeta. La estructura, la pulpa y consistencia de la cascara está determinada directamente por la variedad cultivada. Las variedades en donde la cascara son más duras es mejor por la resistencia a la manipulación y transportación. (MAG, 2003)

3.8 Demanda hídrica

En este país existen áreas importantes agrológicamente hablando, que están ubicadas en zonas con climas semiáridos y áridos con periodos prolongados de sequía de entre 6 y 8 meses, generando así una demanda hídrica alta para los cultivos. Si el sistema de riego utilizado tiene una correcta selección y operación reducirá de forma importante las pérdidas de agua y por tanto el requerimiento hídrico de riego será directamente dependiente de la evapotranspiración. (Reckemann, 2009)

La necesidad de agua en el cultivo del aguacate varía entre 1000 mm y 2000 mm anuales, no obstante, el aguacate es un cultivo sensible a los requerimientos hídricos. Cuando un suelo es mal drenado genera un riesgo para la planta puesto que restringe el crecimiento de la raíz por deficiencia de oxígeno. La cantidad de demanda hídrica está directamente ligada a la edad del cultivo. (ANCG, 2004)

Cuando se determina la cantidad de agua disponible en el suelo, es importante evaluar la demanda hídrica del cultivo, representada por la evapotranspiración. De esta forma sabremos la cantidad de agua necesaria que será aportada bajo riego, para suplir la totalidad de los requerimientos hídricos del cultivo en todas sus etapas fenológicas. (MINAG, 2000)

3.9 Requerimientos edafoclimáticos en el cultivo

El aguacate es una planta muy adaptable en bajas temperaturas (comenzando desde -4° en la variedad “Has”), existiendo temperaturas que varían de los 14° y 24°C para algunos tipos de variedades tales como la “antillana”. Con temperaturas arriba de los 36°C podrían presentar problemas relacionados con el cuajado y la fecundación del fruto. (MEFCCA, 2018)

Los tipos de suelos que son aptos para el árbol de aguacate son variados y como textura media: franco, franco arenoso, franco arcilloso y migajón, suelos profundos y con buen drenaje, con pH neutro o ligeramente ácido (5.5 a 7) para la fácil absorción de nutrientes y garantizar el desarrollo radicular. (MEFCCA, 2018)

3.10 Déficit Hídrico

El déficit hídrico en el cultivo del aguacate es una respuesta a la poca disponibilidad de fuentes hídricas en el medio, en donde la toma de agua es menor que la evapotranspiración. El déficit hídrico también ocurre cuando hay bajas temperaturas y por una salinidad elevada. Estas circunstancias son capaces de influir en una disminución de la fuente hídrica disponible del citoplasma de las células, así también se conoce como estrés osmótico. (Levitt, 1980)

El cultivo del aguacate a lo largo de su ciclo de vida puede experimentar algún nivel de estrés por déficit hídrico. En el ecosistema natural, un déficit hídrico puede ser el resultado de bajas en las precipitaciones, baja capacidad de retención hídrica en el suelo, alta salinidad, temperaturas extremas bajas o altas o una combinación de estos factores. (Nilsen y Orcutt, 1996). Una parte de la superficie terrestre es considerada como semi árida o árida, por tanto, la mayor parte del área sobrante está sujeta a espacios temporales de déficit hídrico. Entonces las fuentes hídricas constituyen el factor principal del crecimiento de las plantas en la tierra, influyendo como fuerza que selecciona de primer grado a la evolución y distribución de las especies vegetales. (Hanson y Hitz, 1982)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación de área de estudio

La investigación se realizó en el centro de experimentación y validación de tecnologías El Plantel que es propiedad de la Universidad Nacional Agraria que 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 Guana castillo, al Este con la comunidad Zambrano y al Oeste con la comunidad de Cofradías. (INETER, 2015)

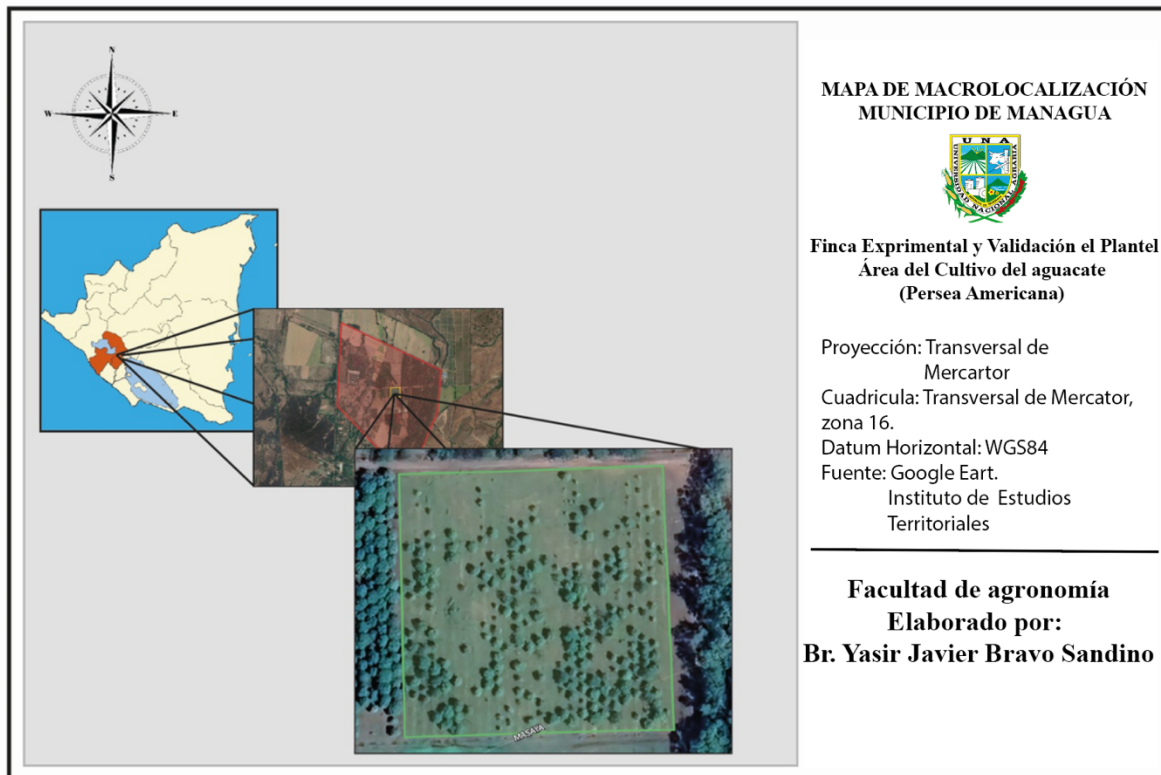


Figura 1.

Mapa de ubicación del área de estudio.

4.1.1 Clima

El clima es tropical de sabana según la clasificación de Koppen con transmisión sub-tropical. La precipitación aproximada promedio es de 1082.6 mm anual. Existe una época en la que la precipitación es casi nula con promedios de 3.36 mm, contando de diciembre a marzo. Los meses con un mayor aporte en la precipitación son septiembre y octubre que en promedio cae una precipitación de 223.91 mm. La temperatura máxima en el municipio de Tipitapa en 2021 fue de 35°C, así como un a temperatura mínima de 22°C. Con temperaturas promedio de 28° C. (López, 2011)

4.2 Diseño Metodológico

4.2.1 Revisión de informática secundaria

En la finca experimental y validación El Plantel a lo largo de los años se han hecho muchos estudios en áreas productivas por cuanto se investigó los estudios que se hayan realizado tomando como punto de partida el tema y ubicación del área de estudio.

4.3 Recolección de datos

La estación meteorológica que se utilizó para el estudio fue la del Aeropuerto Internacional Augusto César Sandino, contando con una base de datos de 1990 a 2019. Los datos están promediados mensualmente de todo el periodo comprendido. En el desarrollo de los tres métodos se utilizó la misma estación meteorológica. (Ver anexo 11)

4.4 Método Savo

Para la determinación del coeficiente de aprovechamiento Ka Savo propone su cálculo a través de coeficientes que están en función de varios factores, así para el cálculo Ka se multiplican:

$$Ka = m_1 \times m_2$$

Donde el método propone tablas predeterminadas para la determinación de m_1 , en donde se toma en cuenta: pendiente, precipitación caída y tipo de suelo, para m_2 se necesita profundidad radical, precipitación y tipo de suelo. (Ver anexo 7 y 8)

4.4.1 Textura

Para la determinación de la textura se realizó estudios físicos de suelo en el área estudiada a 0.20 m de profundidad. Por la franja de talpetate que existe en el cultivo. (Rivera, S. Dolmos Y. 2022). Según los datos obtenidos por el Laboratorio de Suelos (LABSA) la textura es arcillosa (anexo 10.). Savo propone clases texturales no tan variables de suelo por tanto se buscó aplicar el tipo de suelo más cercano, a la textura Arcillosa obtenida, concluyendo que la clase textural fue “II.- Lateritas loamosas arcillas de sabanas”.

4.4.2 Pendiente del terreno

En la tabla propuesta por Savo m_1 propone 3 categorías de pendientes, dependiendo de la pendiente obtenida (anexo 7). La aplicada fue mayor 0.01 y menor de 0.05 puesto que la pendiente obtenida fue de 0.02. (Medrano y Reyes, 2021)

4.4.3 Profundidad radicular del cultivo

La profundidad radicular del aguacate es de 1 a 1.2 metros, pero en el área donde se desarrolló la investigación tiene un factor limitante a los 0.2 metros por tanto no permite el desarrollo de las raíces del cultivo. Por tanto, la profundidad radicular utilizada fue de 0.20 m. (Rivera y Dolmos, 2022)

4.5 Método USDA

Este método es el único donde la precipitación aprovechable se lee directamente en una tabla propuesta por la metodología, por tanto, se tiene dos variables (Evapotranspiración del cultivo y la precipitación mensual) en la primera parte del método se lee con respecto al eje

vertical que cuenta con la evapotranspiración del cultivo mensual y el eje vertical en el eje horizontal que representa la precipitación mensual caída, por cada mes. Donde se intercepta ambos resultados esa es la precipitación aprovechable. (Anexo 9)

Después de que se lee la precipitación aprovechable se debe multiplicar por un “Factor F” para corregir los datos. Este factor depende del rango de la capacidad de campo y el límite productivo. (Anexo 9)

$$Cc - Lp \neq 75 \text{ mm}$$

Donde:

Cc = Capacidad de campo

Lp = Límite productivo

4.5.1 Evapotranspiración del cultivo

Los datos de la evapotranspiración del cultivo del aguacate (*persea americana mil*) fueron obtenidos por medio de la fórmula de Doorenbos y Pruitt 1977. La evapotranspiración potencial del cultivo (ETO) se estimó utilizando la ecuación de Hargreaves modificada. (ver anexo 5), (Medrano y Reyes, 2021)

4.5.2 Capacidad de campo

El método utilizado para la determinación de la capacidad de campo fue por medio de la olla de Richard. El valor de la capacidad de campo en el área del cultivo del aguacate utilizada a una profundidad de 0.25 cm es de 45%. (Ramírez y Cruz, 2016)

4.5.3 Límite productivo

El límite productivo puede variar para diferentes tipos de suelo y cultivos. Es un indicador mínimo de humedad para efectuar el riego. En este estudio se usó el límite productivo a partir de 2/3 de la capacidad de campo, basándonos en las propiedades físicas en el sitio. (Cisneros, 2003)

$$L_p = C_c \times \frac{2}{3}$$

Donde

L_p = Límite productivo

C_c = Capacidad de campo

4.6 Método de la Unidad de conservación de suelo de Estados Unidos (UCCSC)

Para la determinación de la precipitación aprovechable en este método toma como punto de partida la precipitación mensual en todo el periodo comprendido (1990 – 2019) y genera diferentes cálculos en los que se tendría como resultado: P_m índice de precipitación I_p probabilidad de ocurrencia P_r y precipitación aprovechable. Se utilizó los 30 datos de precipitación total anual, así como el promedio mensual anual.

4.6.1 Índice de precipitación

Primero se ordenaron los datos meteorológicos de manera descendente, después se utilizó la siguiente fórmula para determinar el índice de precipitación.

$$I_p = \frac{P}{\bar{P}}$$

Donde P es igual a un dato de precipitación

Donde \bar{P} el promedio de la precipitación anual

4.6.2 Cálculo de la probabilidad de ocurrencia (P_r)

Después se calculó la probabilidad de ocurrencia (P_r) de cada valor de la precipitación anual mediante la fórmula de Weibull.

$$P_r = \frac{m}{N + 1}$$

Donde

m es el número de orden de cada valor de precipitación anual

N es el número de años de la serie de datos

Después del cálculo del índice de precipitación se multiplicó los valores de la precipitación mensual. Tenemos por resultado la precipitación confiable y a partir de los resultados de esta precipitación se calculó la precipitación aprovechable.

4.6.3 Cálculo de la precipitación aprovechable

La precipitación aprovechable mediante el método de la unidad de conservación de suelo de Estados Unidos. Se calculó con la siguiente fórmula: Cuando la precipitación promedio mensual es igual o mayor que 250 mm

$$P_a = 0.1 \times P_c + 125$$

Cuando la precipitación sea menor de 250 mm

$$P_a = (125 - 0.2 \times P_c) \times P_c / 125$$

Donde

P_c = Precipitación confiable mensual

P_a = Precipitación aprovechable

4.7 Cálculo del coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones mediante la metodología propuesta Savo

Cuando se tiene ya aplicada las metodologías con sus cálculos respectivos se determinará el coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones mediante la siguiente fórmula:

$$Ka = \frac{Pa}{Pc} * 100$$

En donde

Ka : Es el coeficiente de aprovechamiento.

Pa : Precipitación aprovechable.

Pc : precipitación caída mensual.

4.8 Norma de riego

La lamina de riego se obtuvo de la evapotranspiración del cultivo y la precipitación aprovechable esto se hizo mediante los resultados de cada método de la determinación de la pa . (Levitt, 1980) La norma de riego fue dada mensualmente. Mediante:

$$L_r = Pa - Etc$$

Donde

L_r = Lámina de riego

Pa = Precipitación aprovechable

Etc = Evapotranspiración del cultivo

4.9 Déficit hídrico

A partir de los resultados de las precipitaciones aprovechables mediante cada uno de los métodos se calculó el déficit hídrico restandose la precipitación aprovechable de la evapotranspiración real del cultivo obteniendo el porcentaje que no está cubriendo la precipitación de aprovecha. (Levitt, 1980)

Donde

$$D_h = \frac{L_r}{Etc} \times 100$$

Donde

D_h = Déficit hídrico

Pa = Precipitación aprovechable

Etc = Evapotranspiración del cultivo

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Precipitación aprovechable

El aporte total de la precipitación aprovechable en promedio de las tres metodologías es de 566.10 mm

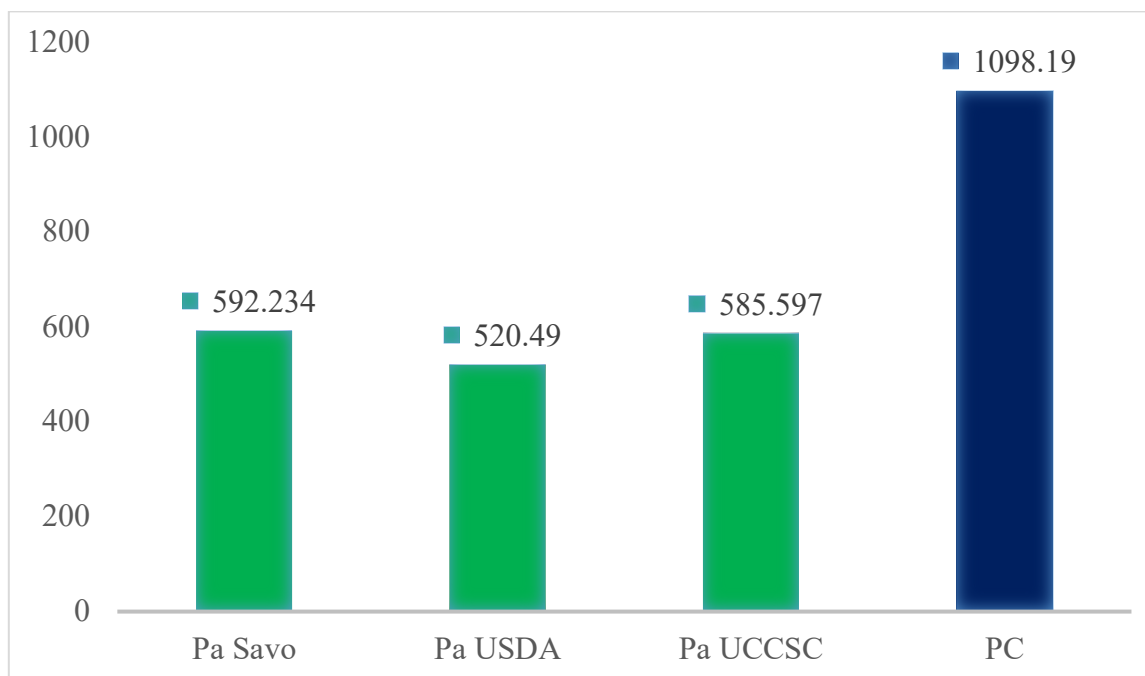


Figura 2

Precipitación aprovechable anual mediante, Savo, USDA y UCCSC y la precipitación total en mm.

La precipitación aprovechable que utiliza el método de Savo es de 592.23 mm anual que representa el 53.93% de la lluvia caída. Para el método de la USDA representa el 47.39% y la unidad de conservación de suelo de Estados Unidos representó el 53.32%. En la programación del riego debido a la variabilidad climática que podría provocar sequía meteorológica, puede usarse los resultados de la precipitación aprovechable mediante el método de la USDA lo que significaría aumentar la lámina de riego y los costos de producción del cultivo. (ver anexo 3)

El método de la USDA en la tabla donde se lee la precipitación aprovechable comienza con valores mínimos de 12.5 mm. Danstane (1975) enfatizó que para un diseño de riego con una precipitación mensual caída de 12.5 mm no son significativos en los programas de riego y deben ser tratados como ineficaces, también Aguilar en 1980, aseguró que las precipitaciones bajas son pocas efectivas puesto que se desaprovechan por la evaporación y el consumo de la cobertura vegetal exterior por lo que no alcanza a llegar a las raíces del cultivo.

Los resultados obtenidos por el método de Savo pudieran utilizarse al considerar un panorama positivo de las precipitaciones disminuyendo de esta manera los costos de producción del cultivo y aumentar la rentabilidad de éste asumiendo un porcentaje de riesgo que pudiera darse por un déficit de las precipitaciones.

5.2 Coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones

El coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones aumenta su valor en meses de la época seca puesto que el suelo tiene menor cantidad de humedad por tanto aprovecha en un mayor porcentaje la precipitación caída mientras que los meses de época lluviosa baja, al tener un suelo húmedo.

Cuadro 1. Coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones mediante las 3 metodologías aplicadas.

Meses	%Ka savo	%Ka USDA	%Ka UCCSC
Ene	80.00%	0.00%	64.25%
Febr	80.00%	0.00%	64.21%
Mar	80.00%	0.00%	64.29%
Abr	80.00%	70.16%	62.81%
May	53.20%	53.77%	54.31%
Jun	53.20%	53.84%	53.78%
Jul	53.20%	49.51%	56.47%
Ago	53.20%	50.71%	55.90%
Sep	53.20%	45.02%	50.09%
Oct	53.20%	37.73%	48.99%
Nov	60.00%	50.47%	60.85%
Dic	80.00%	0.00%	63.97%
Total	64.93%	34.27%	58.33%

El coeficiente de aprovechamiento fue determinado a partir de los resultados de la precipitación aprovechable por ello, depende directamente de ella, si el resultado fue de cero en la precipitación aprovechable automáticamente el coeficiente de aprovechamiento será igual. Los resultados del método de Savo y USSCS son similares puesto que aumentan en los periodos secos (noviembre – abril) con 84.9% y 63.9% disminuyendo en el periodo lluvioso con 54.1% y 54.9%.

En el caso de los resultados de la USDA es más fluctuante puesto que se está estableciendo este coeficiente con una precipitación aprovechable igual a 0 en algunos meses, por ende, el porcentaje de aprovechamiento será 0, pero manteniendo igual un aprovechamiento a partir de abril parecido a los otros métodos aumentando en abril con un 85.6% disminuyendo en la temporada lluviosa con 58.2%.

Según Medina, 2002 en su investigación realizada en Ceballos, Cuba con una cantidad de precipitación total de 1313 mm determinó el coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones con diferentes métodos de la USDA, Braney y Criddle, Ogrosky y Mockus, Savo y concluyo que el coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones mediante Savo según el periodo seco (enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre) es del 80% y el periodo lluvioso con 62%. El método de la USDA con un 60% en el periodo seco y en el periodo lluvioso es del 47%. El método de Braney y Criddle fue 95% en el periodo seco y 78% en el periodo lluvioso.

5.3 Déficit Hídrico

El porcentaje del déficit hídrico se calcula a partir de la evapotranspiración del cultivo y la lámina de riego dada por la resta de la evapotranspiración del cultivo y la precipitación aprovechable.

Cuadro 2. Déficit hídrico en el cultivo del aguacate

Meses	% Deficit Hídrico Savo	%Deficit Hídrico USDA	%Deficit Hídrico UCCSC
Ene	98.60%	100.00%	98.88%
Febr	98.36%	100.00%	98.68%
Mar	99.23%	100.00%	99.36%
Abr	89.18%	90.17%	91.20%
May	52.36%	50.25%	49.75%
Jun	40.81%	39.72%	39.78%
Jul	57.23%	60.18%	54.58%
Ago	55.86%	57.42%	53.07%
Sep	18.16%	31.83%	24.16%
Oct	8.01%	33.05%	13.07%
Nov	74.36%	78.39%	73.95%
Dic	95.94%	100.00%	97.00%
Total	65.67%	70.08%	66.12%

El déficit hídrico en el cultivo del aguacate en promedio es del 67.29%. La metodología de la USDA presenta el mayor déficit hídrico. El método de la UCCSC y Savo poseen valores similares con diferencias de 4%. Si este déficit hídrico no se abastece bajo un régimen de riego las consecuencias para el cultivo del aguacate será muy marcadas por el estrés hídrico afectando directamente la producción final.

VI. CONCLUSIONES

La precipitación aprovechable en la unidad Experimental y Validación el Plantel es alrededor de 32%, lo que implica que el 32% de la demanda hídrica será cubierta por el agua de lluvia.

El coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones es mayor en época seca por el bajo nivel de humedad presente en el suelo debiéndose programar el riego en las condiciones más críticas obtenidas por el método de la USDA.

El déficit hídrico en las condiciones de la Unidad Experimental y Validación El Plantel es alrededor del 70%, lo que implica que 70% de la demanda hídrica del cultivo deberá abastecerse mediante el riego.

VII. RECOMENDACIONES

Utilizar la estación meteorológica que fue inaugurada en el año 2020, ubicada en el Plantel para futuros cálculos de la precipitación aprovechable cuando se tenga una base al menos 5 años de datos de precipitación en dependencia de la metodología a aplicar.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aguilar, M. (1980) Relaciones agua, Suelo, Planta, Atmosfera. *Precipitación efectiva* Universidad Autónoma Chapingo, México. (pp. 229 – 232)
- Aguilera, M., & Elizondo, R. (1996). *Relaciones Agua Suelo Planta y Atmosfera*. Texcoco, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Asociación nacional del café en Guatemala. (2004). Programa de diversificación de Ingresos en la empresa cafetalera. Cultivo de aguacate, 23.
- Banco Interamericano de Desarrollo (2016). *Diagnóstico sobre la situación y potencial del sector riego en Nicaragua*. Banco interamericano de desarrollo.
- Brouwer, C. (1999) Riego y drenaje *Manejo de agua para riego Manual de campo número 3* México SEIT, 1978. 92p. Manuales para la Educación. México
- Camejo BLE (1987). *Dirección, pronóstico y optimización del régimen de riego*. Universidad de Ciego de Ávila. Cuba. 42 pp
- Carrow, R. N and R.R Duncan (1998). *Salt-affected Turfgrass sites: Assessment and Management*, Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan. E.U.
- Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. En J. Carrazón, (págs. 66-68). Programa Especial para la Seguridad Alimentaria.
- Cisneros, R. A. (2003) *Apuntes de la materia de riego y drenaje*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Centro de investigación y estudios de posgrado y área agro geodésica. Obtenido de <https://www.udocz.com/apuntes/8916/apuntes-de-riego-y-drenaje-v-2-pdf-1>
- Dastane, N. (1975). *Effective rainfall in irrigated agricultura.2 da edición*. FAO. Roma, Italia. *Irrigation and Drenaje Paper* N° 25: 62 p.

- Dueñas, G. R. (1982) El riego. *Otros elementos de la ecuación de balance: precipitación efectiva*. (pp 62-64) Pueblo y educación La Habana.
- Doorenbos, J y W. O. Pruitt (1976). *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Roma, Italia.
- Godínez, M., Martínez, M., Melgar, N., & Méndez, W. (2000). *El cultivo de aguacate en Guatemala*. Guatemala: PROFRUTA.
- Hanson, A.D. y Hitz, W.D. (1982). *Metabolic responses of mesophytes to water deficits*. *Plant Physiol*
<https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pp.33.060182.001115>
- Instituto de Estudios Territoriales. INETER (2015). *Dirección general de meteorología, datos de parámetros climatológicos, precipitación máxima, evaporación y temperaturas máximas de la estación del aeropuerto internacional de Managua*, Managua Nicaragua. P 12
- Levitt, J. (1980) *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Press, New York, NY.
- López, G. A. (2011) *Evaluación inicial del crecimiento y producción de Tempate (Jatropha Curcas L.) En la finca El Plantel, Nindirí, Masaya*. (Tesis de grado) Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/1156/1/tmf011864c.pdf>
- Marrero, E. (2007). Riego y drenaje, *Régimen de riego* (pág. 175). Managua: Universidad Nacional Agraria.
- Medrano R. M. Reyes M. R (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 grado) Universidad Nacional Agraria.
- Ministerio de agricultura (MINAG) (2000) *Estimación de la demanda de agua en los cultivos*. Coquimbo, Chile. Disponible en <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/9851/CNR-0244.pdf?sequence=1&isAllowed=>

- Ministerio de agricultura y ganadería. Baíza V. (2003). *Guía técnica del cultivo de aguacate*. Nueva San Salvador, El Salvador.
<http://repiica.iica.int/docs/B0218e/B0218e.pdf>
- Ministerio de Economía Familiar Comunitaria Cooperativa y Asociativa. MEFCCA. 2018. *Cartilla del cultivo del aguacate*. Managua, Nicaragua.
<https://www.economiafamiliar.gob.ni/backend/vistas/doc/cartilla/documento2395398.pdf>
- Nilsen, E.T. y D.M. Orcutt. (1996) *Physiology of plants under stress. Abiotic factors*. John Wiley and Sons, New York, NY.
https://books.google.com.ni/books/about/The_physiology_of_plants_under_stress_A_b.html?id=s6OwtQEACAAJ&redir_esc=y
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002) *Agua y Cultivos* Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/y3918s/y3918s00.htm#TopOfPage>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1985) Italia Roma, *Water quality for agriculture* <https://www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm>
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Roma, Italia (2018) *FAO en Nicaragua*. <https://www.fao.org/nicaragua/noticias/detail-events/es/c/1139220/>
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (1978) *Effective rainfall* Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/x5560e/x5560e00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1998). *Effective rainfall in irrigated agriculture*.
<https://www.fao.org/3/X5560E/x5560e00.htm#Contents>
- Reckmann A, O. (2009) *Demanda de agua por parte de los cultivos San Fernando*: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 190. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7278>

Ramírez, D, A, Cruz H, J, (2018) *Evaluación del patrón de humedecimiento de agua en el sistema de riego por micro aspersión en la finca experimental el Plantel. (UNA), 2016.* Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria.

Rivera. G. S, Dolmos R. Y. (2022) *Efecto de las propiedades físicas de suelo en la infiltración del agua en la Finca El Platel, UNA. 2020-2022.* Universidad Nacional Agraria. Tesis de grado. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/4542/1/tnp33r621.pdf>

Sampaio, S, Corrêa, M Vilas, M, Oliveira, F, (2000). *estudo da precipitação efetiva para o município de lavras, mg* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (pp 211)

Steduto, P., C. Hsiao, T., & Fereres. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua.* Obtenido de Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura: <https://www.fao.org/documents/card/es/c/e1976ecb-fb63-4ba1-b533-261bab1fde40/>

Zegarra, E., & Chirinos, O. (2016). *Diagnóstico sobre la situación y potencial del sector riego en Nicaragua.* Banco Interamericano de Desarrollo.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Cultivo del aguacate en el área de estudio



Anexo 2. Recolectando las muestras de suelo para luego procesarlas en el laboratorio



Anexo 3. Precipitación aprovechable mensual

Meses	Pa mensual Savo(mm)	Pa mensual (mm) USDA	Pa mensual (mm) UCCSC
Ene	1.84	0.00	1.478
Febr	2.24	0.00	1.798
Mar	1.32	0.00	1.061
Abr	19.14	16.79	15.031
May	80.89	81.76	82.579
Jun	85.12	86.14	86.052
Jul	63.54	59.13	67.453
Ago	68.17	64.97	71.622
Sep	114.73	97.09	108.023
Oct	123.51	87.60	113.745
Nov	32.11	27.01	32.566
Dic	5.24	0.00	4.190
Total	592.234	520.490	585.597

Anexo 5. Evapotranspiración del cultivo

Meses	Etcmensal (mm)
Ene	131.84
Febr	136.17
Mar	165.75
Abr	170.85
May	164.33
Jun	142.89
Jul	148.50
Ago	152.60
Sep	142.43
Oct	130.84
Nov	125.00
Dic	139.77
Total	1750.97

Anexo 5. Precipitación caída en todo el periodo. 1990 .2019

Meses	Prec. Caída
Enero	2.3
Febrero	2.8
Marzo	1.65
Abril	23.93
Mayo	152.05
Junio	160
Julio	119.44
Agosto	128.13
Septiembre	215.66
Octubre	232.16
Noviembre	53.52
Diciembre	6.55

Anexo 6. Precipitación anual durante todo el periodo Índice de precipitación y probabilidad de ocurrencia anual.

Numero de Orden	Precipitación Anual	Indice de precipitación	Probabilidad de ocurrencia
1	1775.9	1.61	3.23%
2	1608.6	1.45	6.45%
3	1569.7	1.42	9.68%
4	1565.7	1.42	12.90%
5	1439.5	1.30	16.13%
6	1415.3	1.28	19.35%
7	1411.9	1.28	22.58%
8	1395.1	1.26	25.81%
9	1360.2	1.23	29.03%
10	1309	1.18	32.26%
11	1253.9	1.13	35.48%
12	1229.6	1.11	38.71%
13	1224.7	1.11	41.94%
14	1136.2	1.03	45.16%
15	1126	1.02	48.39%
16	1070.4	0.97	51.61%
17	1022.9	0.93	54.84%
18	986.9	0.89	58.06%
19	986	0.89	61.29%
20	979.5	0.89	64.52%
21	957.1	0.87	67.74%
22	862.4	0.78	70.97%
23	862	0.78	74.19%
24	836.7	0.76	77.42%
25	825.6	0.75	80.65%
26	796.1	0.72	83.87%
27	755.5	0.68	87.10%
28	705.4	0.64	90.32%
29	683.3	0.62	93.55%
30	20.8	0.02	96.77%
Promedio	1105.73		

Anexo 7. Tabla para la determinación del coeficiente m_1

Características de los suelos	Pendiente del terreno								
	< 0.01			0.01 – 0.05			> 0.05		
	Precipitaciones Mensuales “mm”								
	< 40	40 -100	> 100	< 40	40 - 100	> 100	< 40	40 - 100	> 100
I.-Amarillo podsolizado gravillo– arenoso.	0.90	0.85	0.80	0.85	0.80	0.75	0.80	0.75	0.70
II.- Lateritas loamosas arcillas de sabanas.	0.85	0.80	0.75	0.80	0.75	0.76	0.75	0.70	0.60
III.- Tonalidades rojas lixiviadas.	0.80	0.75	0.70	0.75	0.65	0.55	0.65	0.55	0.40
IV.- Pardos húmicos carbonatados.	0.77	0.72	0.67	0.72	0.62	0.52	0.62	0.52	0.37
V.-Cenagosos, turbosos, y margosos.,	0.77	0.72	0.67	0.72	0.62	0.52	0.62	0.52	0.37
VI.-Amarillos, podsolizados arcillosos sobre arcilla.	0.77	0.72	0.67	0.72	0.62	0.52	0.62	0.52	0.37
VII.-Negros grises compactos de gley.	0.77	0.70	0.60	0.70	0.60	0.40	0.50	0.50	0.25

Anexo 8. Tabla para la determinación del coeficiente m_2 .

Categoría de los suelos según tabla anterior		I			II			III			IV y V			VI			VII		
		< 40	40 - 100	> 100	< 40	40 - 100	> 100	< 40	40 - 100	> 100	< 40	40 - 100	> 100	< 40	40 - 100	> 100	< 40	40 - 100	> 100
Profundidad Radical, "m"	0.2	1	0.8	0.7	1	0.8	0.7	1	0	0.8	1	0.8	0.7	1	1	0.8	1	0.8	0.7
	0.4	1	0.9	0.8	1	0.9	0.8	1	0.9	0.8	1	0.9	0.8	1	1	0.9	1	0.9	0.8
	0.6	1	1	0.9	1	1	0.9	1	1	0.9	1	1	0.8	1	1	0.9	1	1	0.8
	0.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	1	1	1	1	1	0.9
	1.2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
										1				1					1

Anexo 9. Tabla para la determinación aprovechable mediante el método de la USDA.

Lluvia caída Mensual “mm”	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125	137.5	150	162.5	175	187.5	200
Precipitación aprob.	Pa															
ETR mensual “mm”	25	8	16	24	32	39	46	56	62	69	80	87	94	100	111	120
	50	8	17	25	32	39	46	56	62	69	80	87	94	100	111	120
	75	9	18	27	34	41	48	56	62	69	80	87	94	100	111	120
	100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100	111	120
	125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	127
	150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	134
	175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	127	142
	200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	150
	225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	123	132	142	158
	250	13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	129	140	150	167
	275												12			15
	300												14			15
	325												13			16
	350												2			7
Cc – Lp “mm”	20	25	27.5	50	62.5	75	100	125	150	175	200					
Factor “f”	0.73	0.77	0.86	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.08					

Anexo 11. Base de datos de precipitación caída mensual 1990-2019

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES														
DIRECCION GENERAL DE METEOROLOGIA														
RESUMEN METEOROLOGICO DIARIO														
Estación: - AEROPUERTO INTERNACIONAL MANAGUA / MANAGUA														
Año: 1990 2019.0					Latitud: 12° 08' 36" N									
Parámetro: precipitación (mm)					Longitud: 86° 09' 49" W									
					Elevación: 56 msnm									
	MES AÑO	Ener o	Febrer o	Marz o	Abri l	Mayo	Junio	Julio	Agost o	Septiemb re	Octubr e	Noviemb re	Diciemb re	Totale s
1	1990	1.2	0.9	0.0	3.7	89.7	114.1	103.9	114.9	85.3	100.9	132.3	8.6	755.5
2	1991	1.8	2.3	0.0	0.5	203.2	152.4	75.2	106.6	187.4	221.1	26.1	2.9	979.5
3	1992	0.3	0.0	0.0	0.0	86.7	159.0	119.4	62.2	143.3	114.4	4.1	16.0	705.4
4	1993	1.3	0.0	0.0	29.2	347.3	101.1	104.7	287.2	345.3	112.6	85.2	1.4	1415.3
5	1994	2.9	0.6	2.7	129.1	83.2	49.3	95.2	79.9	167.7	222.0	143.2	10.2	986.0
6	1995	0.0	0.0	16.0	115.6	20.6	212.3	112.3	326.1	297.4	202.6	43.9	13.4	1360.2

7	1996	21.3	0.0	5.3	0.0	240.8	221.6	282.3	116.6	275.9	315.6	127.1	2.1	1608.6
8	1997	5.8	0.5	0.4	1.3	14.1	291.7	57.5	82.3	99.3	246.2	63.3	0.0	862.4
9	1998	0.0	0.0	0.0	0.0	50.6	117.9	100.5	119.2	229.8	836.4	91.6	19.7	1565.7
10	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
11	2000	2.7	0.2	0.1	4.3	72.8	118.1	103.0	63.5	452.7	121.8	12.7	5.2	957.1
12	2001	0.6	1.7	0.0	0.0	122.7	79.4	103.5	173.4	256.4	102.8	21.2	0.3	862.0
13	2002	2.3	1.4	0.0	0.5	473.7	98.4	106.3	154.9	237.0	130.8	18.6	0.8	1224.7
14	2003	1.1	0.0	9.1	113.7	211.4	260.7	100.0	100.6	151.6	176.6	99.0	5.8	1229.6
15	2004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	13.4	0.0	0.0	7.3	0.0	0.0	20.8
16	2005	0.1	0.0	0.0	31.1	289.2	220.1	105.3	196.2	238.7	243.2	70.8	0.4	1395.1
17	2006	8.1	0.2	2.7	0.1	40.2	138.2	136.4	74.6	130.9	105.0	44.2	2.7	683.3
18	2007	0.0	0.0	0.8	25.8	251.9	108.7	140.3	292.0	219.6	300.0	61.3	11.5	1411.9
19	2008	2.0	0.7	2.4	3.4	226.1	126.3	276.8	125.7	213.0	455.6	7.2	0.3	1439.5
20	2009	0.0	0.0	0.0	0.0	91.3	171.1	106.6	75.3	107.4	163.2	63.4	17.8	796.1
21	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

22	2011	3.6	0.0	0.2	0.0	200.9	177.5	341.0	70.9	372.9	340.1	43.2	19.4	1569.7
23	2012	3.0	1.9	0.0	35.4	349.2	133.5	108.9	169.2	125.7	193.2	2.5	3.5	1126.0
24	2013	1.1	0.9	0.0	0.0	60.0	285.3	156.1	85.9	330.2	93.8	49.2	7.9	1070.4
25	2014	3.1	0.7	0.0	0.0	31.1	73.2	57.0	196.0	216.5	193.8	54.0	0.2	825.6
26	2015	0.3	0.1	0.6	76.3	59.4	335.3	35.3	46.2	128.9	105.8	48.5	0.0	836.7
27	2016	0.0	0.0	0.5	22.2	123.8	237.8	34.6	78.3	159.6	275.1	41.5	13.5	986.9
28	2017	1.4	0.0	0.3	10.9	292.8	136.4	148.9	172.8	156.1	303.6	66.0	19.8	1309.0
29	2018	0.4	12.3	0.0	29.8	128.6	121.4	61.1	96.2	126.8	433.0	8.7	4.6	1022.9
30	2019	0.0	0.0	0.0	0.0	202.8	97.8	82.3	80.4	234.3	423.9	13.0	1.7	1136.2
	promedio	2.36	2.89	1.66	23.93	152.05	160.00	119.44	128.13	215.66	232.16	53.52	6.55	1082.6