

**INFLUENCIA DEL SISTEMA DE FERTIRRIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CAFE
(*Coffea arabica* L.) MUNICIPIO DE BUESACO - NARIÑO**

KAREN ESTEFANÍA CAÑAR GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2023**

**INFLUENCIA DEL SISTEMA DE FERTIRRIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CAFE
(*Coffea arabica* L.) MUNICIPIO DE BUESACO, NARIÑO**

KAREN ESTEFANÍA CAÑAR GONZÁLEZ

**Trabajo de tesis presentado para optar el título de
INGENIERA AGROFORESTAL**

Presidente

IVAN ANDRÉS DELGADO VARGAS I.AF M.Sc

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO**

2023

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado, son de responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Iván Andrés Delgado Vargas. M. Sc.
Presidente de Tesis

Jorge Fernando Navia Estrada. Ph.D.
Jurado de Tesis

Álvaro Castillo Marín (C)Ph.D
Jurado de Tesis

San Juan de Pasto, mayo del 2023.

AGRADECIMIENTOS

Muy orgullosa de poder hacer mención de todos a quienes agradezco el poder llegar al cumplimiento de esta meta tan anhelada que es mi título profesional a través de este trabajo de tesis. En honor a tal orgullo deseo expresar mi agradecimiento con los siguientes:

A Dios por darme la voluntad y fuerza para vencer los obstáculos en todo este camino y seguir adelante en todo este proceso de aprendizaje, autoconocimiento y realización personal.

A los caficultores involucrados en esta investigación, porque muy amablemente abrieron las puertas de sus casas/fincas para que fuera posible la ejecución del proyecto.

A la Universidad de Nariño, la Facultad de Ciencias Agrícolas, al Programa de Ingeniería Agroforestal y a los Laboratorios Especializados, por ser espacios de mucho conocimiento, aprendizaje y compartir.

Al docente y presidente de tesis Iván Andrés Delgado Vargas, por los aportes y orientación en el desarrollo de la presente investigación.

A los docentes y jurados de tesis Jorge Fernando Navia Estrada y Alvaro Castillo Marín, por su disposición, asesoramiento y recomendaciones realizadas para el correcto desarrollo de la presente investigación.

Al Ingeniero y laboratorista de Física de suelos Jimmy Andrés Ortega, por su buena disposición y colaboración en la realización de los análisis de laboratorio.

Al docente Jorge Vélez que con paciencia brindó su apoyo y aportes para el direccionamiento en la realización del documento.

Al proyecto “*Sistema de información integral hacia la estandarización de los procesos de producción de cafés especiales en el municipio de Buesaco*” por permitirme ser parte de él, aprender sobre el trabajo multidisciplinario y de la mano de los caficultores.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico con mucho regocijo y amor a:

A mi madre Claudia Inés González Mesa, que me enseñó a buscar siempre superarme, dar lo mejor de mí, tener confianza en mí misma y mis capacidades, a soñar en grande, porque gracias a su apoyo he podido lograr muchas cosas que hacen de mí lo que hoy soy.

A mi padre Nelson Humberto Cañar Escobar, por su apoyo, motivación y respaldo brindado a lo largo de mi proceso de formación.

A ambos por su dedicación, comprensión para superar dificultades de los caminos de la vida y esfuerzo para que yo pudiera lograr culminar mis estudios para ser una profesional.

A Brayan Cañar, por ser un pilar importante de apoyo incondicional, motivación y amistad a lo largo de todo este proceso. Por tu paciencia, por creer en mí, por tus consejos y aportes que me ayudaron a lograr mis metas y objetivos.

Al profesor Elias de Melo Virginio Filho y Luis Ángel Espinosa Castro, que en mi experiencia en Costa Rica marcaron mi vida, con cariño y ejemplo cambiaron mi perspectiva para buscar seguir superándome, seguir cumpliendo futuros sueños, metas y seguir creciendo como persona.

Al resto de mis familiares y amistades, que en momentos claves y a sus maneras aportaron amorosamente un granito de arena en todo este camino de formación y me brindaron el apoyo moral necesario para dar cada paso hasta dar el paso final de esta etapa.

1. RESUMEN

El cultivo de café es el segundo producto básico a nivel mundial y Colombia se posiciona como el tercer país productor. Sin embargo, Colombia es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático lo que amenaza directamente a la agricultura del país y al cultivo de café. Para ser frente a los eventos extremos se deben desarrollar estrategias de adaptación, siendo el fertirriego una alternativa viable y sostenible. El objetivo de la presente investigación fue analizar la influencia del sistema de fertirriego sobre algunas propiedades fisiológicas y la producción de café (*Coffea arabica* L.), en la vereda Veracruz del municipio Buesaco, Nariño, Colombia. Se estableció un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) constituido por dos parcelas una con fertirriego y otra con ausencia de éste. Se identificaron sequías meteorológicas para el periodo 2000-2021 para la zona de estudio, se calculó el estado de humedad de los perfiles del suelo en cada finca y se analizó el comportamiento agronómico del café. Se evidenció que el mes de agosto presenta los niveles más bajos de humedad indicando el inicio del año hidrológico para la zona de estudio. Se determinó el porcentaje de agua aprovechable para el cultivo de café y se observó que la finca 1 posee una capacidad de retención de humedad inferior en comparación con la finca 2. No obstante, la finca 2 es más susceptible a la compactación del suelo. Finalmente se evidenció que el mejor tratamiento fue el de fertirriego con influencia en las variables: promedio de área foliar, número de nudos de la rama representativa, yemas florales, flores abiertas y aumento en la productividad de hasta el 58,17%.

Palabras clave: Cambio climático, Producción de café, Fertirriego

2. ABSTRACT

Coffee cultivation is the second basic product worldwide and Colombia is positioned as the third producing country. However, Colombia is highly vulnerable to the effects of climate change, which directly threatens the country's agriculture and coffee cultivation. In order to face extreme events, adaptation strategies must be developed, with fertigation being a viable and sustainable alternative. The objective of the present investigation was to analyze the influence of the fertigation system on some physiological properties and the production of coffee (*Coffea arabica* L.), in the Veracruz village of the Buesaco municipality, Nariño, Colombia. A Randomized Complete Block (BCA) design was established consisting of two plots, one with fertigation and the other without it. Meteorological droughts were identified for the period 2000-2021 for the study area, the moisture status of the soil profiles in each farm was calculated and the agronomic behavior of coffee was analyzed. It was evidenced that the month of August presents the lowest levels of humidity indicating the beginning of the hydrological year for the study area. The percentage of usable water for coffee cultivation was determined and it was observed that farm 1 has a lower moisture retention capacity compared to farm 2. However, farm 2 is more susceptible to soil compaction. Finally, it was evidenced that the best treatment was fertigation with influence on the variables: average leaf area, number of nodes of the representative branch, flower buds, open flowers and increase in productivity of up to 58.17%.

Keywords: Climate change, Coffee production, Fertigation

3. INTRODUCCIÓN

El café es el segundo producto básico más valioso del mundo, según la Organización Internacional del Café – OIC (Cifuentes, 2019). Para el año 2021, Colombia ocupa el tercer país productor a nivel mundial de este grano, después de Brasil y Vietnam, y el mayor productor mundial de café arábigo suave lavado, registrando exportaciones de 12,4 millones de sacos de 60 kilos de café verde (Portafolio, 2022; El tiempo, 2022).

Cigüenza (2019), señala que actualmente en Huila, Cauca y Nariño se concentra el 49% de la producción de café del país. En Nariño, el 63% de los municipios son productores de café con aproximadamente 39.423 fincas productoras, en un área de 38.850 ha que representan el 7,1% de los productores del país (CCN, 2014; Lagos et al., 2019). El Café de Nariño es 100% arábigo, la caficultura de la región es minifundista, donde la tenencia de la tierra equivale a un promedio de 0,97 ha por productor, su ubicación que alcanzan hasta los 2,300 m.s.n.m. permite obtener los denominados café de altura, dotándolos de acidez alta, dulzura y un aroma pronunciado, que lo hacen de gran aprecio en los mercados (Lagos et al., 2019).

Colombia, pese a ser un país que contribuye muy bajo porcentaje a las emisiones de GEI, sólo el 0,6 % de las emisiones totales del planeta, es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático. Se espera un aumento en la temperatura media de 1 a 3,5°C entre 2071 - 2100, un porcentaje de reducción de la precipitación del 10 al 40% en el periodo 2011-2100 en la región Caribe y Amazonía, y un aumento de las precipitaciones del 10 al 30% en el centro y norte de la región Andina (Guevara et al., 2016). Gran parte de la población del país vive directamente de la agricultura, de manera que serán ellos los más afectados por el cambio climático (GTZ, 2010).

Con respecto a la productividad de un cafetal, es el resultado de una adecuada combinación de factores genéticos y tecnológicos (manejo) de la plantación y las condiciones edafoclimáticas de la zona (Arcila et al., 2007). Dos importantes procesos fisiológicos en el cultivo de café son la floración y el crecimiento vegetativo; un déficit de agua en estas etapas incide en la disminución de la calidad de la cosecha y de los rendimientos (Cisneros et. al, 2015; Vignola et al., 2018).

En la agricultura, la disponibilidad de agua para riego es un factor potenciador de los

rendimientos de un cultivo (Chaterlán, 2012; Cisneros et al., 2015). Los modelos de cambio climático predicen que en los próximos años el cultivo de café puede perder su adaptabilidad debido a factores relacionados a los eventos extremos que se están generando; por lo anterior, es relevante identificar y desarrollar estrategias de adaptación a nivel local, regional y nacional (PROMECAFE, 2011; Descamps 2017).

La fertirrigación o fertirriego, es la aplicación de fertilizantes disueltos en el agua de riego, de forma continua o intermitente, lo que permite una aplicación integral, uniforme y precisa de los nutrientes, mejorando la producción e incrementando los rendimientos del cultivo (Kafkafi, 2012; FAO, 2015). Según INTAGRI (2017), el fertirriego presenta un sistema de eficiencia entre 90 y 95%, obteniendo efectos significativos sobre tasa fotosintética neta, tasa de transpiración y eficiencia de uso de radiación aparente foliar del café; en comparación con el riego completo, el riego controlado mejoró la eficiencia aparente del uso de radiación en un 7,6% y la calidad nutricional del café en un 10,2% (Liu et al., 2018).

Avances agrícolas y análisis económicos muestran que a largo plazo, el riego por goteo es un sistema sostenible en sistemas productivos, ofrece mayores rendimientos en comparación a un sistema sin riego continuo; con un adecuado diseño agronómico, hidráulico, geométrico, monitoreo y mantenimiento preventivo, generan resultados tangibles dada sus múltiples ventajas en el componente suelo, teniendo una alta probabilidad de alcanzar y superar la calidad y productividad de los cultivos con manejo tradicional (Romo, 2019). Estudios realizados por Cortez y Tercero (2014) demuestran un efecto positivo en el crecimiento vegetativo (floración) del café hasta en un 60.5 % y un aumento en el rendimiento de aproximadamente 260 kg.

La presente investigación hace parte del proyecto macro denominado “*Sistema de información integral hacia la estandarización de los procesos de producción de cafés especiales en el municipio de Buesaco*” convocatoria I+D+i Nariño 818, financiado por la Gobernación de Nariño y el seguimiento de Colciencias. En base a lo anterior, el objetivo de este proyecto es evaluar la influencia del manejo de fertirriego sobre la producción de café (*Coffea arabica* L), en dos fincas distribuidas en la vereda Veracruz, del municipio Buesaco, Nariño, Colombia.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La OIC (2016), manifiesta que debido al cambio climático y la presencia de sequías prolongadas, temperaturas elevadas, cambio en las temporadas de lluvias o una mala distribución de las mismas, afecta considerablemente las fases fenológicas del cultivo de café, manifestándose en la caída y amarillamiento de las hojas, muerte de tejidos y brotes; reducción de los procesos fotosintéticos y aborto de flores, aumento de plagas y enfermedades, por lo que se tienen que desarrollar estrategias de adaptación del cultivo ante las condiciones extremas del clima (Camargo, 2010; Panhuysen y Pierrot, 2014; Canales, 2015).

La variabilidad y el cambio climático es una alteración del clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana (FAO, 2007; Guevara et al., 2016). Evidencia científica menciona que las zonas más vulnerables por efectos del calentamiento global se localizan en regiones tropicales y subtropicales, donde se ubica la mayoría de los países en desarrollo, cuya economía depende directamente de la agricultura y de otras actividades primarias (Isaza y Cornejo, 2014).

La producción del café ésta condicionada por las condiciones climáticas de zona; según Arteaga y Burbano (2018), en el departamento de Nariño, Buesaco es el municipio más afectado por sequías, con 20.270 ha afectadas por déficit hídrico en la zona, generando grandes pérdidas económicas en los sectores productivos, siendo el café el producto más afectado de la zona con 15.254 ha.

Una de las posibles estrategias enfocada a la adaptación de efectos extremos del cambio climático, es el empleo del fertirriego (Silva y Faria, 2006), que permite mantener el estado óptimo de humedad en el cultivo, incrementando la producción, reduciendo el aborto floral y la caída del fruto hasta en un 57 %; también, genera un ahorro de agua, energía, mano de obra, automatización de sistema y posibilidad de adaptar a las condiciones del suelo y topografía, dando sostenibilidad al sistema (Duarte et al., 2016).

Por lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Puede el sistema de fertirriego ser una alternativa viable para incrementar la producción del cultivo de café en la vereda Veracruz, municipio Buesaco, departamento de Nariño, Colombia?

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la influencia del manejo de fertirriego sobre algunas propiedades fisiológicas y la producción de café (*Coffea arabica* L.), en la vereda Veracruz del municipio Buesaco, Nariño, Colombia.

Objetivos específicos

- Identificar las sequías meteorológicas del municipio Buesaco, Nariño para el periodo 2000-2021 en relación a la producción del cultivo de café
- Calcular el estado de humedad de los perfiles del suelo para el manejo del sistema de fertirriego en la producción del cultivo de café.
- Analizar el efecto del fertirriego por goteo en el comportamiento de algunas propiedades fenológicas y producción de café.

5. METODOLOGÍA

5.1. Localización: El presente estudio se realizó en la vereda Veracruz (fincas Loma Gorda y La Mina) del municipio de Buesaco, Nariño-Colombia (Figura 1), con coordenadas geográficas 1° 36' 49" N / 77° 16' 49" O, altitud promedio de 1959 msnm, precipitación anual entre 1700 a 1900 mm, zona de vida según Holdridge Bosque Seco Premontano (bs-P), con una geografía montañosa en la mayoría del territorio. Lo abastecen los ríos Buesaquillo, Juanambú, Ijagui, Pajajoy. La zona de Buesaco presenta un déficit hídrico edáfico en los meses de julio a septiembre, suelos superficiales y con bajo contenido de materia orgánica, siendo susceptibles a erosión (Criollo *et al.*, 2019; Alcaldía de Buesaco, 2020).

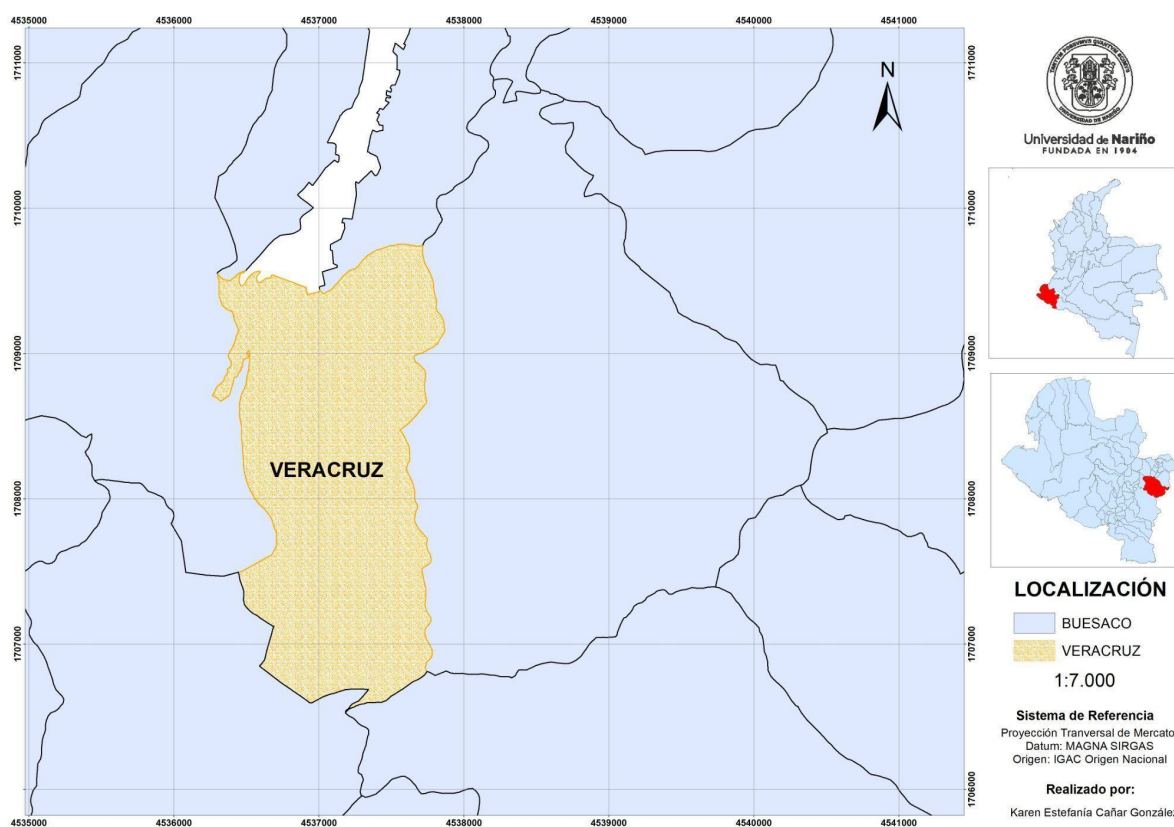


Figura 1. Municipio de Buesaco, Vereda de estudio Veracruz

Fuente: Esta investigación, 2023

5.2. Criterios para la selección de fincas y parcelas de fertirriego: Las fincas fueron seleccionadas junto con el asesoramiento de La Pastoral Social, quienes dieron a conocer el listado de 10 fincas de caficultores líderes en diferentes zonas del municipio. Se seleccionaron dos fincas de la vereda Veracruz mediante criterios de selección como la accesibilidad a la

zona, topografía (pendiente moderada), disponibilidad de agua, tiempo e interés del caficultor en la implementación de la alternativa de producción.

5.3. Descripción del diseño: Se ubicaron cuatro (4) Nodos: dos (2) Nodos Sensores debido a la extensión del terreno, el cual se dividirá en dos zonas, un (1) Nodo Actuador que activará las electroválvulas, siendo en este caso dos (2) y un (1) Nodo Tanque que informará sobre el abastecimiento de agua. Los nodos son autónomos cuya fuente de energía es la Solar. La información del sistema de riego por goteo tiene un monitoreo quincenal en época de verano, mientras que, en época de invierno, según el punto de marchitez de humedad del suelo, no se aplicó riego. Cabe resaltar que, al ser un sistema de riego autónomo sistematizado, no es posible establecer niveles de riego, pues este va en función de los nodos sensores.

5.4. Diseño experimental: El diseño se llevó a cabo en las dos fincas seleccionadas. Se distribuyó en un diseño de bloques completos al azar (BCA). Cada uno de los bloques están constituidos por dos parcelas, una con riego y otra con ausencia de éste, cuyas dimensiones son 20 m x 20 m, para un área total de 400 m² por parcela. La parcela útil está conformada por los surcos centrales menos dos plantas de efecto de borde.

5.5. Identificación de sequías meteorológicas del municipio Buesaco, Nariño para el periodo 2000-2021 en la relación a la producción del cultivo de café

5.5.1. Selección de las estaciones pluviométricas y determinación del período de estudio

De acuerdo a la metodología de Harvey et al. (2012), se seleccionaron 2 estaciones pluviométricas que den cobertura al municipio de Buesaco, con 21 años de registros continuos, lo que permite tener mayor confiabilidad en términos de aproximación a la realidad. Las características de las estaciones mínimas para esta investigación fueron: Un mínimo de 20 años de datos hidrológicos, el tiempo de establecida la estación en donde se tomarán los datos y registros de datos de alta precisión.

5.5.2. Recopilación y procesamiento de datos meteorológicos

Se recopiló información meteorológica para el período 2000-2021, suministrados por la base de datos del IDEAM, en el programa de Microsoft Excel se priorizo valores de meses con

niveles de baja precipitación; para conocer las temporadas secas y húmedas anual, para el análisis de las condiciones meteorológicas de sequías en las zonas de estudio. En la tabla 1 se muestran detalles de las estaciones utilizadas en la investigación en donde se seleccionó una serie de precipitaciones mensuales.

Tabla 1. Estaciones ubicadas en la zona de estudio

Nombre estación	Código	Corriente	Tipo de estación	Años de obs.	Mpio	Lat.	Lon.	Altura (msnm)
Rosal del monte	52040060	Pasto	PM	1986 - 2021	Buesaco (N)	0117N	7710W	2568
Buesaco	52040040	Juanambú	PM	1986 - 2021	Buesaco (N)	0124N	7708W	2020

Fuente: Este estudio, 2022.

5.5.3. Determinación del año hidrológico y extremos.

Se utilizó la serie hidrológica mediante un promedio de los valores mensuales del periodo para las dos estaciones. El año hidrológico es el periodo de doce meses que comprende un ciclo completo, partiendo del mes en que se observa el valor mínimo. Permite observar las variaciones en la precipitación, los picos de máxima y mínima (Marquínez y Rivera, 2020).

Para el análisis de la variable hidrológica, los datos diarios se normalizaron y analizó la correlación utilizando el coeficiente de correlación de Mann – Kendall y la determinación de la mediana. Se analizaron las series de precipitación (estaciones). La variable permitió describir los diferentes componentes del régimen hidrológico incluyendo magnitud (cantidad de precipitación), duración (como la duración de valores extremos), el tiempo (como el momento de máxima anual) y la frecuencia (como la cantidad de veces que se presentan de los fenómenos extremos). Dichas variables se calcularon utilizando estadística no paramétrica debido a la forma natural sesgada de muchos registros de datos hidrológicos.

5.6. Cálculo de los perfiles deseados de humedad del cultivo para determinar el manejo de fertirriego en la producción del cultivo de café.

Se determinó la retención de humedad del suelo, mediante la metodología propuesta por Mendoza (2013), adaptada a esta investigación, para determinar el agua aprovechable para el cultivo de café en procesos como el llenado del fruto. Se requirió dos fases: 1) Evaluación de la humedad del suelo y 2) Evaluación de la etapa fenológica del cafeto.

5.6.1. Análisis de la humedad del suelo: Mediante curvas de retención de humedad, se conoció el porcentaje de humedad aprovechable para el cultivo, mediante la metodología de membranas de presión (Ortega, 2018), lo que permitió conocer el agua aprovechable por la planta, siendo esta la que se encuentra entre capacidad de campo (CC) (0,3 atm) y punto de marchitez permanente (PMP) (15 atm).

5.6.2. Evapotranspiración del cultivo o rendimiento hídrico del cultivo: Para el cultivo de café se requiere una mayor humedad en la época de floración y llenado del fruto, por tanto, la humedad de suelo en estas etapas fenológicas debe encontrarse por encima del rango de capacidad de campo, por lo cual, mediante la metodología de Rojas (2001) se calculó la humedad de riego, para la cual primero se conoce la evapotranspiración de la zona de estudio:

$$ETc = Kc * ETo$$

Donde:

ETc: Evapotranspiración del cultivo o rendimiento hídrico del cultivo.

Kc: Coeficiente del cultivo.

ETo: Evapotranspiración de referencia, para el caso del cultivo de café

De acuerdo a Ramírez et al. (2013), los valores del Kc varían de acuerdo al estado fenológico del cultivo (Tabla 2), en etapas iniciales de crecimiento, se presenta tasas de $ETc < ETo$, por tanto, el $Kc < 1,0$. En la etapa productiva tiene tasas de $ETc \geq ETo$, el Kc es ≥ 1 . En la etapa senescente o de baja productividad, presenta tasas de $ETc < ETo$ y los valores de $Kc < 1,0$

Tabla 2. Factores del cultivo de café

Edad (años)	Coeficiente de cultivo (Kc)	Profundidad de raíces (cm)
1	0,80	20
2	0,95	30
>3	1,05	40

Fuente: Adaptado de Ramírez et al., (2013).

La Etc se expresa como una lámina en unidades de mm/día, al igual que la Eto, lo que permite establecer el balance hídrico del sistema, al tener el resultado en mm/día y su diferencia con precipitación mm/día da como resultado la cantidad de déficit de agua, que permite dar las bases para el diseño del riego, expresado día a día.

5.6.3. Toma de muestras de suelo para la determinación de las curvas de retención de humedad: Mediante la metodología propuesta por INATEC (2018), se llevó a cabo un muestreo de tipo compuesto, resultado de una serie de submuestras tomadas al azar en diferentes sitios del área de estudio, a una profundidad determinada de 20 cm y una distancia entre perforaciones de al menos 3m de distancia. Se extrajo aproximadamente 500 g de tierra por sitio; se depositó en el balde (libre de impurezas), se homogeneizó, y se obtuvo la muestra representativa del terreno (1 kg), se etiquetó debidamente y se depositó en una bolsa plástica. Finalmente, la muestra de suelo fue llevada al laboratorio.

5.6.4. Determinación del agua aprovechable por la planta de café para el óptimo desarrollo del fruto: Según la metodología de Ortega (2018), para realizar las curvas de retención de humedad (CRH) es necesario obtener los valores de potencial matricial (pF) y valores de humedad volumétrica (%Hv). Para obtener el potencial matricial (pF) se debió utilizar la membrana de presión, como se explica a continuación:

-Membranas de presión: Permite conocer la prueba de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. La primera variable se mide con un barómetro, presentando las unidades de 0 a 1 bar. La segunda presenta unidades de 0 a 25 bares. Se utilizan dos anillos delgados de pvc, ubicados en las membranas en forma de círculo, con el fin de no taponar el anillo de tensión de la membrana. Se agrega el suelo muestra debidamente tamizado con ayuda de un Tamiz No 10 con 2 mm de apertura. Se debe esperar hasta su punto de saturación y una vez logrado el anterior proceso, se ingresan a las máquinas y se ajustan las tapas hasta que queden bien asegurados. Una vez adentro, se debe graduar la presión de interés en cada una de las membranas y permanecen allí por 24 horas.

Para obtener la humedad volumétrica (%Hv), se obtuvo mediante la densidad aparente y la humedad gravimétrica, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\%Hv = Da * \%Hg$$

Donde:

Da = Densidad aparente

%Hg = Humedad gravimétrica

A partir de la humedad volumétrica en cada uno de los puntos de humedad en el suelo, se graficó la curva de retención de humedad con sus respectivos valores de pF.

-Densidad aparente (Da): Se utilizó el método de la probeta graduada, en el cual se tomó 20 g del suelo, tamizado en N.10 con 2 mm de apertura, mediante la siguiente fórmula:

$$Da: \frac{[(\text{Peso de la probeta} + \text{Peso suelo}) - (\text{Peso de la probeta vacía})]}{\text{Volumen desplazado}}$$

Volumen desplazado: x de los valores dados en el volumen desplazado

Los resultados para densidad aparente del suelo de las dos fincas se interpretaron por medio de la siguiente tabla 3:

Tabla 3. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo

Textura del suelo	Densidades aparentes ideales (g/cm ³)	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular (g/cm ³)	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g/cm ³)
Arena, areno-franco	<1,60	1,69	>1,80
Franco-arenosa, franco	<1,40	1,63	>1,80
Franco-arcillo-arenosa, franco, franco-arcillosa	<1,40	1,60	>1,75
Limosa, franco-limosa	<1,30	1,60	>1,75
Franco-limosa, franco-arcillo-limosa	<1,40	1,55	>1,65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35%-45% de arcilla)	<1,10	1,39	>1,58
Arcillosa (>45% de arcilla)	<1,10	1,39	>1,47

Fuente: (USDA, 1999)

-Humedad gravimétrica (Hg): Es la relación entre la masa de la fracción líquida y la masa de la fracción sólida del suelo. En una caja de aluminio, se ubicó 50 g de suelo, tamizada en N°10 (2 mm). Se registró el dato (Caja de aluminio + Suelo húmedo) y se colocó en horno por 24 horas a 105°C. Mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Hg} = \frac{(\text{Masa de suelo humedo} - \text{Masa de suelo seco})}{\text{Masa de suelo seco}} * 100$$

5.7. Análisis del efecto del fertirriego por goteo en el comportamiento de algunas propiedades fenológicas y producción del café

Para la evaluación del comportamiento fenológico del cultivo de café con el sistema de fertirriego, se trabajó en una parcela experimental de 400 m², con un promedio de 272 plantas, de las cuales se tomaron 15 plantas al azar por tratamiento, teniendo en cuenta el efecto borde, se tomaron los datos para evaluar las variables de crecimiento y desarrollo, donde se tomó una rama representativa del tercio medio de la planta, de acuerdo a las metodologías propuestas por Álvarez et al. (2014) y Canales (2015), adaptadas a esta investigación, con respecto a las variables de crecimiento (área foliar, altura de la planta, total de ramas árbol, total ramas productivas, longitud de ramas productivas, No nudos por rama y distancia entre nudos) y de fructificación (No yemas florales, No flores abiertas, No frutos por nudo):

Área foliar (m²): Se contabilizó el número total de hojas de las plantas, y cada 20 hojas se procederá a medir el largo de la misma, desde la base hasta el ápice en cm y el ancho se tomará en la parte media de la hoja de borde a borde en cm; mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Área foliar} = \frac{\text{Largo} * \text{Ancho}}{100} * 0.7243 + 2.8$$

Altura de planta (cm): Se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice de la planta, empleando una regleta graduada en centímetros.

Total de ramas por árbol: Se contabilizaron el número total de ramas presentes por planta de café.

Total de ramas productivas: Se contabilizaron en cada planta solamente el número de ramas en producción.

Longitud de ramas productivas (cm): Se registraron tomando al azar una rama productiva del tercio medio, por cada planta, lo cual se medirá con una regleta graduada en centímetros.

Número de nudos por rama: Se registraron en la misma rama de la variable anterior, contabilizando la cantidad de entrenudos presentes en la rama.

Distancia entre nudos: Se obtiene mediante la división de la longitud de la rama productiva por el número de nudos de la misma rama.

Número de frutos por nudo: Se realizaron conteos del número de frutos totales en cada una de las ramas representativas en las plantas de café, desde su estado inicial de desarrollo hasta la maduración del fruto cada 30 días.

Número de yemas florales: Se contaron el número total de yemas por rama productivas de las plantas de café.

Número de flores abiertas: Se contaron el número total de flores por rama durante el período de floración ocurrida 8 a 10 días después de la aplicación de riego por goteo y para el caso del testigo, 10 días después de la ocurrencia de las primeras lluvias en las plantas de café.

5.8. Análisis de datos

Para conocer la correlación entre las variables de crecimiento vegetativo, fructificación y producción se sometieron a un análisis estadístico multivariado donde se tuvo en cuenta el Análisis de Componentes Principales (ACP) para las variables cuantitativas. Para estandarizar los datos se tuvo en cuenta el análisis del coeficiente de variación. Posteriormente se aplicó el método de clasificación jerárquica utilizando el método de las distancias de Ward, el cual permite obtener planos factoriales donde sea posible verificar las semejanzas entre los individuos, así como también el grado de asociación entre las variables de estudio; mediante el programa estadístico software Infostat 2018.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Caracterización de las fincas de estudio.

Mediante visita a las fincas, se aplicó una encuesta semiestructurada a los caficultores de las fincas donde se tomaron datos de establecimiento y características del cultivo de café, propiedades y topografía del suelo, disponibilidad de agua para el riego y asocio del café con especies perennes (Tabla 4).

Tabla 4. Caracterización de las fincas de estudio, vereda Veracruz, municipio Buesaco.

Criterios	Finca 1. Loma Gorda	Finca 2. La Mina
Homogeneidad en el varietal	Caturra, Colombia, Cenicafé 1	Caturra, Bourbon, Geisha
Edad del cultivo (área de estudio)	12 años caturra	4 años Caturra 3ra Zoca
Tipo de suelo	Franco-Arenoso	Franco-Arcillo-Arenoso
Distancia de siembra	1,3 m (tresbolillo) 237 plantas	1,2 m (tresbolillo) 278 plantas
Topografía	Moderada (15°)	Moderada (13°)
Disponibilidad de agua	Obtención de la quebrada más cercana (Tanque de abastecimiento plástico o ladrillo y cemento)	
Tipo de asocio con el café	En asocio con árboles de Guayaba, aguacate, limón y cultivos transitorios	Monocultivo

Fuente: Este estudio, 2021.

La información obtenida en la tabla anterior permitió tener las bases para la instalación del sistema de fertirriego, teniendo en cuenta las necesidades del caficultor y las características de cada finca, para luego contrarrestarse con las muestras de suelo para conocer el punto de

humedad y características físico-químico del suelo y dar las recomendaciones adecuadas de su uso.

6.2. Identificación de sequías meteorológicas del municipio Buesaco, Nariño para el periodo 2000-2021 en relación a la producción del cultivo de café

6.2.1. Determinación del año hidrológico: Para la zona de estudio, se encontró que las estaciones Buesaco y Rosal del Monte presentaron un comportamiento similar del promedio general de precipitaciones año/calendario (Figura 2), donde el mes con el valor más bajo de humedad, indica el inicio del año hidrológico. El mes de agosto presentó los niveles más bajos de precipitación, por tanto, indica que el año hidrológico corresponde al periodo agosto-julio (Figura 4). De acuerdo a lo presentado en la precipitación promedio del año hidrológico, se evidencia dos periodos de lluvia en la región, cada uno de aproximadamente tres meses, con mayores precipitaciones comprendidas en los meses de octubre - diciembre y el segundo con menores cantidades de lluvia marzo- mayo, también se presenta un periodo de baja humedad enero-febrero y con niveles críticos de falta de humedad entre junio-agosto.

Los resultados consisten con lo expresado por Guevara *et al.* (2016), indicando que el departamento de Nariño tiene un marcado carácter estacional bimodal, con una época seca principal bien definida a mitad del año y otra secundaria, caracterizada por una moderada disminución de las lluvias en los primeros meses del año. También indica que las temporadas lluviosas se presentan en los primeros meses del año con picos de alta pluviosidad en mayo y octubre y precipitaciones mínimas con picos de escasez en febrero y agosto.

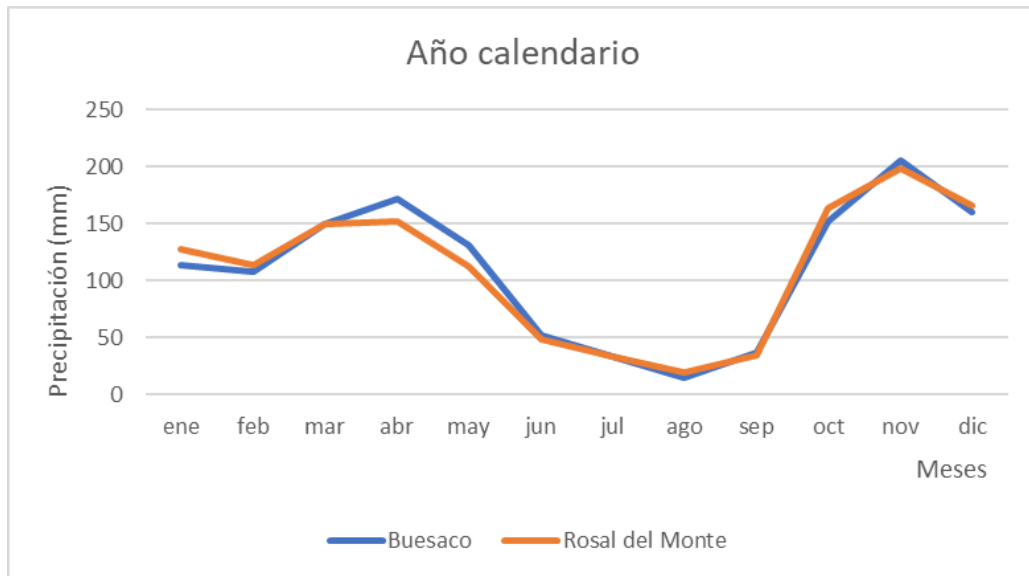


Figura 2. Serie temporal de precipitación general promedio año calendario. Buesaco, 2021

En cuanto a la gráfica de año hidrológico (Figura 3), se observa una leve diferencia de datos entre las dos estaciones, especialmente en el segundo periodo de lluvias. De acuerdo con Fournier (2001) citado por el Instituto Nacional de Aprendizaje – INA (2022) y teniendo en cuenta que la Estación Buesaco está ubicada a 2020 m.s.n.m. y Rosal del Monte a 2568 m.s.n.m., se debe considerar que esta diferencia puede deberse a que un elemento meteorológico como la precipitación está sujeta a sufrir incidencia por factores como la altitud del lugar, latitud, el dinamismo de la atmósfera local, el movimiento de las grandes masas de aire, el relieve.

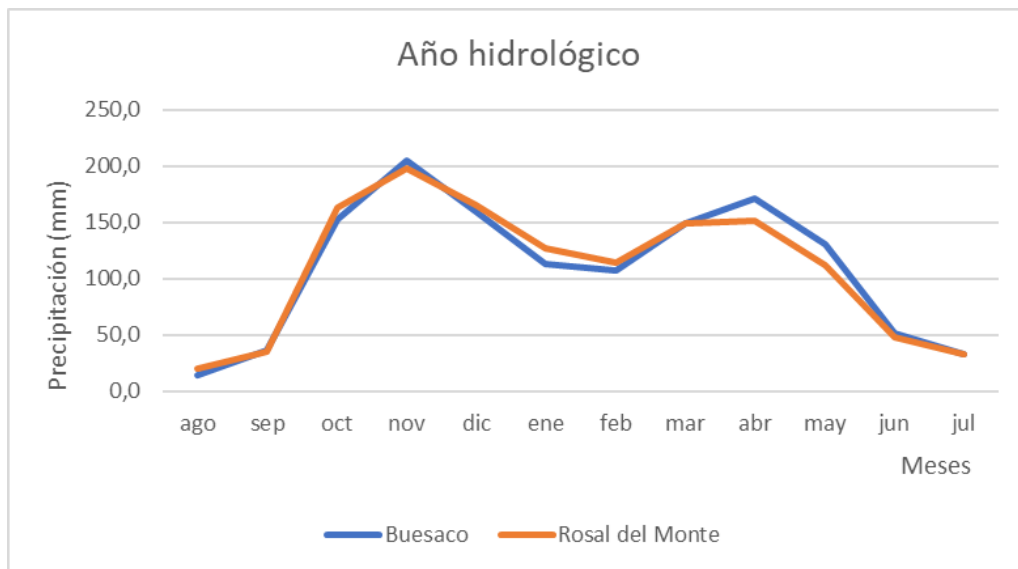


Figura 3. Serie temporal de precipitación general promedio año hidrológico. Buesaco, 2021.

6.2.2. Normalización de datos: Mediante la normalización de datos, se obtuvieron los valores mínimos, promedios y máximos de precipitaciones anual, comprendiendo entre el periodo de 2000-2021, permitiendo observar la fluctuación de los valores interanuales para cada parámetro, lo que permitió encontrar similitud en el comportamiento de las gráficas de las dos estaciones en estudio. Para la estación Buesaco se evidenció que la precipitación máxima, tuvo un incremento de 198,36 mm, precipitación promedio un incremento de 83,001 mm y para la precipitación mínima un incremento de 6,086 mm (Figura 4). En la estación Rosal del Monte refleja comportamientos similares en los incrementos en la cantidad de lluvias. La precipitación máxima, tuvo un incremento de 249,66 mm, precipitación promedio un incremento de 81,09 mm y para la precipitación mínima un incremento de 2,6714 mm (Figura 5).

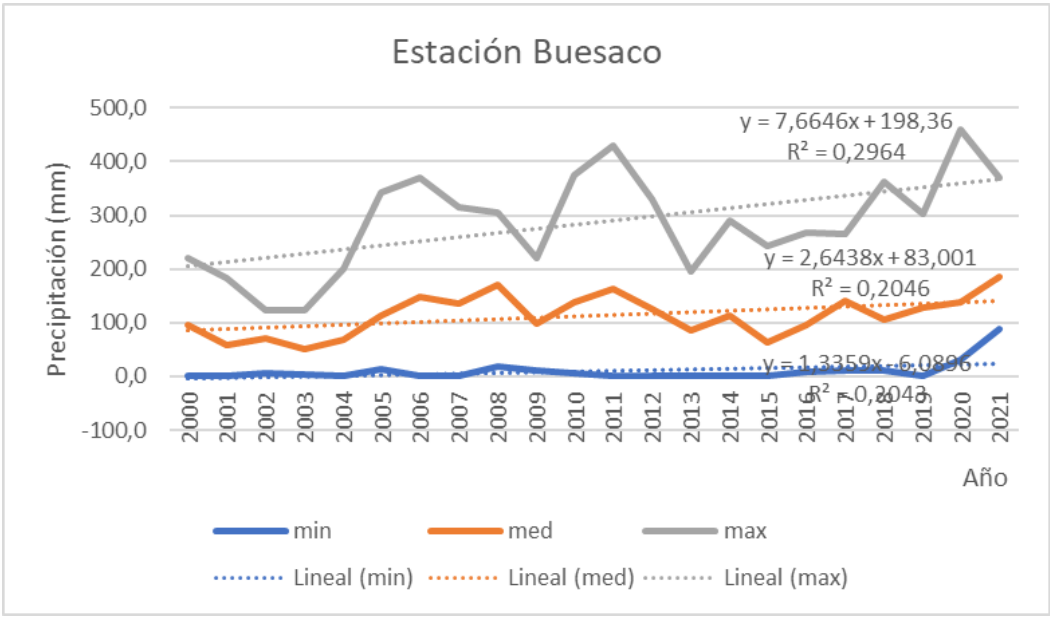


Figura 4. Serie temporal de niveles de precipitación mínimo/promedio/máximo periodo 2000-2021

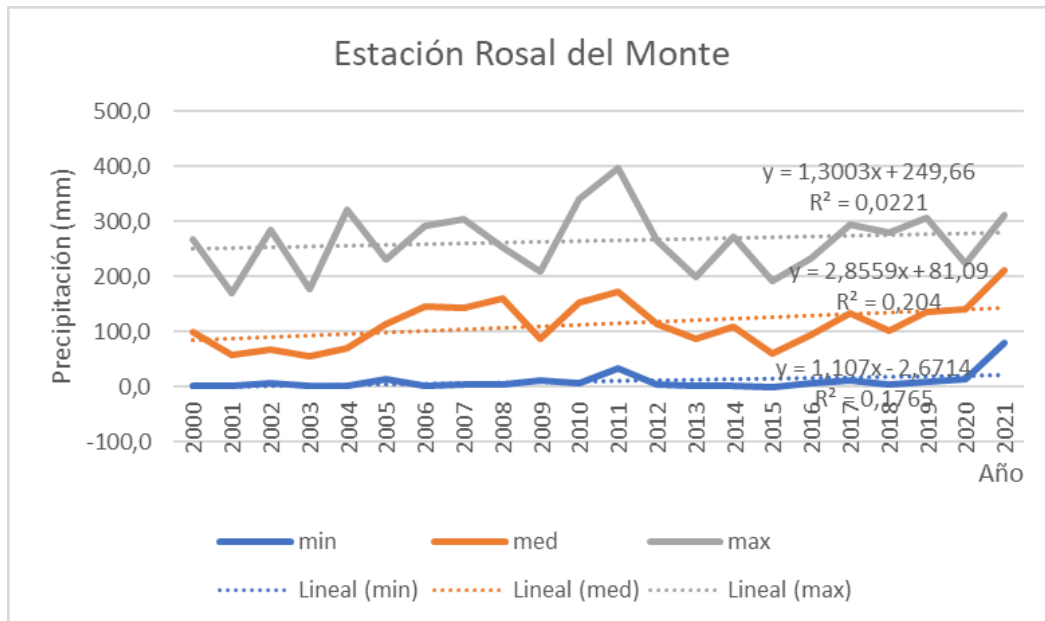


Figura 5. Serie temporal de niveles de precipitación mínimo/promedio/máximo periodo 2000-2021

Con base a lo anterior, se evidencia eventos extremos de precipitación en el año 2010 - 2011, año donde se presentó un fuerte fenómeno de la niña, la cual fue catalogada como la peor emergencia invernal en la historia de Colombia, por lo cual se presentaron desastres naturales en amplias zonas del país, como inundaciones, deslizamientos, vendavales y avalanchas, generando pérdidas civiles y económicas que ascendieron hasta los \$11,2 billones de pesos (Sánchez, 2014).

El exceso hídrico puede afectar el crecimiento, desarrollo vegetativo y productivo en el cultivo de café; generando sobresaturación del suelo, desencadenando diversas afectaciones, como el desarrollo deficiente de brotes, defoliación, disminución de producción y calidad de los frutos y en condiciones extremas hasta la muerte de la planta (Peña et al., 2013), un exceso de humedad durante el primer período de floración, puede causar una reducción del 25% en el número de botones florales (Gaitán et al., 2016), limita el desarrollo del sistema radical generando deficiencias nutricionales, proliferación de plagas y las enfermedades favorecidas por estos largos periodos de lluvia, alta incidencia de mancha de hierro en las hojas y frutos, el mal rosado (*Erythricium salmonicolor*), la roya del café (*Hemileia vastatrix*), llagas radicales y daños de tallos en plantas jóvenes causados por diferentes tipos de anélidos (Sánchez et al., 2018).

Para los años 2001, 2003, 2009, 2013, 2015 y 2018 se observan una pronunciada reducción de precipitaciones, siendo el 2009 y 2015 los años con los eventos más extremos de sequía y en los que se manifiesta el fenómeno del niño. Los resultados contrastan con lo mencionado por Euscátegui y Hurtado (2011), cuando señalan que “El Niño” 2009-2010, presentó los niveles históricos de precipitación más bajos, generando desabastecimiento hídrico en muchas poblaciones del país. Por otro lado, Contreras (2016) indicó que “El Niño” 2015-2016 también fue uno de los más severos y largos desde que se tienen registros, con temperaturas superiores a los 40°C a la sombra registradas por más de 17 meses.

Por consiguiente, el déficit hídrico, puede causar desórdenes en la cosecha de café, especialmente si este periodo de bajas precipitaciones coincide con la época de floración o de llenado del fruto. Los granos flotantes o pasillas, los granos parcialmente formados, el grano negro y los granos pequeños son las principales afectaciones provocados por déficit hídrico (Peña et al., 2013). Por otro lado, los largos periodos de sequía incrementan la caída de frutos al suelo, los cuales se convierten en el nicho perfecto para el surgimiento de la broca (Sánchez et al., 2018).

Las pérdidas económicas registradas para el fenómeno del niño del año 2015-2016 están alrededor de 0.5 billones para el sector cafetero, con una pérdida aproximada de 700.000 y 1,2 millones de sacos (El Tiempo, 2016). Mientras que para el exceso de lluvias debido a un prolongado fenómeno de La Niña que se había venido presentando por dos años y medio desde el año 2020, se registró una caída de la producción del 20%, con una pérdida aproximada de 2,8 millones de sacos de café (FNC, 2021; FNC 2022; Portafolio, 2023).

Estudios realizados por Peloso et al. (2017), indican que con 30 y 60 % de disponibilidad de agua, se registró una reducción significativa en el área foliar de 62 y 32 %, en la altura de la planta de 22 y 9% y en diámetro al nivel del cuello de 45 y 12%, respectivamente, en comparación con plantas con contenido de agua en el suelo cercano a la capacidad de campo. En cuanto al sector productivo, González et al. (2017), estimó que para un déficit hídrico planificado del 50%, se puede esperar una pérdida relativa de rendimiento de hasta un 41%.

Según las líneas de tendencia, muestran una inclinación creciente de las lluvias a lo largo del periodo 2000-2021, en los valores mínimos, promedio y máximo se presentó un incremento en los niveles de pluviosidad. De acuerdo con (Arango *et al.*, 2012) en su estudio sobre la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al ciclo el Niño, la Niña-

oscilación del sur (ENSO); todo el territorio colombiano se caracteriza por presentar una probabilidad de aumento de las lluvias entre el 30 y el 40% posiblemente explicada por eventos de variabilidad climática, originados por fenómenos océano-atmosféricos.

El IDEAM y UNAL (2018), mencionan que los fenómenos de El Niño-La Niña Oscilación del Sur (ENOS) es el que tiene el más marcado efecto sobre el clima de diferentes regiones del planeta y particularmente sobre la precipitación. En el departamento de Nariño, durante el periodo del fenómeno del “El Niño”, se evidenciaron problemas de disponibilidad de agua, incendios forestales y heladas, perjudicando de manera negativa el 90% de los municipios del departamento con la pérdida gradual de la productividad, el aumento de la vulnerabilidad de los pequeños productores y el deterioro de las condiciones sociales (Arteaga y Burbano, 2018).

6.3. Cálculo de los perfiles deseados de humedad del cultivo para determinar el manejo de fertirriego en la producción del cultivo de café.

6.3.1. Evapotranspiración del cultivo o rendimiento hídrico del cultivo: El municipio de Buesaco está ubicado a una altitud de 1692 m.s.n.m. (Alcaldía de Buesaco, 2020), de acuerdo a la zona de vida (zona andina que comprende altitudes entre 1600 y 1800 m.s.n.m.), presenta una Evapotranspiración de referencia (ETr) de 3,32 mm/día (Jaramillo, 2007; Cañón, 2018). Según Ramírez et al. (2013), para el cultivo de café el Coeficiente del cultivo (Kc) es de 1,05 (edad superior a 3 años). Por lo tanto, el valor de evapotranspiración del cultivo de café para la zona de Buesaco, es de 3,486 mm/día.

$$Etc = 1,05 * 3,32 = 3,486 \text{ mm/día}$$

Cañón (2018), comenta que la importancia de la estimación del coeficiente de cultivo radica en una buena planificación de los calendarios de riego, y mejor manejo del agua puesto que existen zonas donde se explota un cultivo a escala comercial y del cual no se conoce su consumo de agua. Con lo anterior, se realizó las curvas de retención de humedad para cada finca (Figuras 6 y 7) en recorrido de campo (el día 26 de marzo del 2021) y procesadas para entrega de laboratorio el día 12 de abril de 2021 (Figuras 8 y 9).



Figura 6. Toma de submuestras del suelo.
Fuente: Veracruz, 2021



Figura 7. Mezcla homogénea de submuestras para tomar la muestra representativa.
Fuente: Veracruz, 2021



Figura 8. Muestra final en bolsa hermética
Fuente: Laboratorios especializados, 2021



Figura 9. Ingreso de los anillos con suelo muestra en las membranas de tensión
Fuente: Laboratorios especializados, 2021

6.3.2. Curva de retención de humedad finca 1: En la finca 1, Loma Gorda del Señor Guillermo Valencia, el suelo presenta una clase textural Franco arenoso, con 68,92% de arenas, 16% de limos y 15,08% de arcillas y una densidad aparente de $0,57 \text{ g/cm}^3$. Así mismo, el suelo en estado de humedad de capacidad de campo (2,54 pF), presentó un valor de humedad volumétrica de 15,34%, siendo esta la máxima cantidad de agua que puede retener

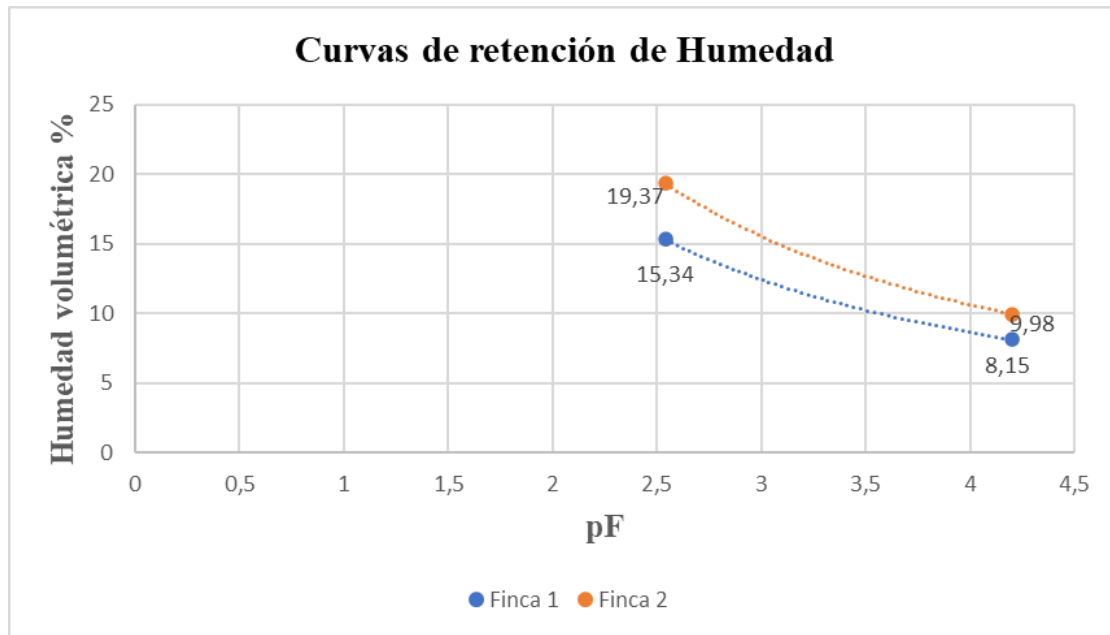
el suelo en contra de la gravedad. En el paso de estado de capacidad de campo (2,54 pF) al estado de Punto de marchitez permanente (4,2 pF) se observa un descenso de humedad del suelo a 8,15%, indicando que es la máxima cantidad de agua que puede retener el suelo en los rangos más bajos de humedad.

La humedad aprovechable se encuentra entre los límites de Capacidad de Campo - CC y Punto de Marchitez Permanente - PMP (Silva et al., 2015). De acuerdo con esto, la diferencia de estos valores representa la humedad aprovechable por el cultivo, correspondiente a un valor de 7,19%, es decir la cantidad de agua que tiene la planta disponible para poder extraerla. El umbral de riego con un porcentaje máximo de 30% de reducción de la totalidad de humedad aprovechable será entonces cuando la humedad volumétrica del suelo se encuentre en 13,18%

6.3.3. Curva de retención de humedad finca 2: En la finca 2, La Mina del Señor Franco López, el suelo presenta una clase textural Franco arcillo arenoso, con 52,40% de arenas, 18,52% de limos y 29,08% de arcillas y una densidad aparente de 0,75 g/cm³. Así mismo, el suelo en estado de humedad de capacidad de campo (2,54 pF), presenta un valor de humedad volumétrica de 19,37%, siendo esta la máxima cantidad de agua que puede retener el suelo en contra de la gravedad. En el paso de estado de capacidad de campo (2,53 pF) al estado de Punto de marchitez permanente (4,2 pF) se observa un descenso de humedad del suelo a 9,98%, indicando que es la máxima cantidad de agua que puede retener el suelo en los rangos más bajos de humedad.

La diferencia de estos valores indica que la humedad aprovechable por el cultivo corresponde a un valor de 9,39%, es decir la cantidad de agua que tiene la planta disponible para poder extraerla. El umbral de riego con un porcentaje máximo de 30% de reducción de la totalidad de humedad aprovechable será entonces cuando la humedad volumétrica del suelo se encuentre en 16,55%.

Figura 10. Curva de retención de humedad para las dos fincas de estudio



Fuente: Esta investigación, 2021

Según la USDA (1999) para el suelo franco arenoso que presenta la finca 1 y el suelo Franco arcillo arenoso que presentan la finca 2, una densidad aparente mayor a $1,4 \text{ g/cm}^3$ indica un suelo compactado y degradado. Las dos fincas presentaron DA menores a $1,4 \text{ g/cm}^3$, estos valores indican que los suelos son porosos y presentan condiciones óptimas para el buen desarrollo del cultivo de café, pues acorde con lo mencionado por Cuya (2018), la densidad aparente (g/cm^3) es una variable indicadora del nivel de compactación del suelo, al representar la relación entre sólidos y espacio poroso. Salamanca y Sandeghian (2005) registraron que el mayor crecimiento y desarrollo en plantas de café se dio en suelos con densidad aparente menor a $1,2 \text{ g/cm}^3$ y notaron que conforme aumenta este valor, se reduce de manera proporcional la altura de las plantas.

Acorde con lo indicado por Salamanca y Sandeghian (2005), las dos fincas presentaron buenas condiciones de fertilidad y retención de humedad del suelo, puesto que los autores comentan que un suelo compactado dificulta el desarrollo radicular de la planta, así como la retención de humedad del suelo, las condiciones de disponibilidad y la tasa de difusión de los nutrimentos, mientras que una baja densidad aparente denota suelos orgánicos ricos en humus.

Sin embargo, se observó que la finca 2, la cual el tipo textural del suelo es Franco arcillo arenoso, presentó DA mayor que la finca 1 que presenta un suelo Franco arenoso. Cuya (2018), indica que la DA varía de acuerdo a la textura del suelo. Así mismo, los resultados

coinciden con lo mencionado por Cueto et al. (2009), cuando expresa que la susceptibilidad de los suelos a la compactación varía con la textura, siendo los suelos arcillosos más vulnerables que los suelos arenosos.

Según Zotarelli et al. (2013) y Pellegrini (2019), los suelos contienen diferente cantidad de agua dependiendo de su textura y estructura; las arcillas, en comparación con suelos arenosos, tienen partículas más pequeñas, lo que resulta en una mayor superficie de contacto entre las partículas del suelo y el agua, añadiendo que tienen una carga eléctrica negativa en su superficie, les permite a las arcillas atraer los iones positivos presentes en el agua contribuyendo a una mayor retención de la misma. A pesar de que en la finca 1 se encontraron especies asociadas al café y una cobertura del suelo, este estudio reveló que, teniendo en cuenta las condiciones climáticas durante el tiempo de investigación y en línea con lo mencionado anteriormente, la finca 1, con suelos franco arenosos, mostró una capacidad de retención de humedad menor en comparación con la finca 2, que tenía suelos franco arcillo arenosos.

El déficit de humedad del suelo disminuye la disponibilidad de los nutrientes a pesar de que se encuentren en cantidades suficientes (Arboleda, 2009). Al respecto, Alarcón (2020), reporta que todos los procesos fisiológicos de la planta están directa o indirectamente relacionados con el estado hídrico del mismo. Por tanto, el déficit de agua es un factor principal que puede impedir que el cultivo alcance su potencial de productividad al estar estrechamente relacionado con el correcto desarrollo de la planta, esto debido a que el agua es fundamental para la actividad fisiológica y los procesos de transporte.

Con lo anterior, es importante asegurar que el agua del suelo se encuentre disponible para el cultivo y de esta forma asegurar el correcto desarrollo del mismo y alcanzar su máximo potencial productivo. Mantener un nivel óptimo de agua aprovechable es entonces fundamental y de acuerdo con Romo (2019) y Liu (2018) el sistema de riego por goteo es la forma más eficiente de hacerlo, respetando su metabolismo, potencializando la productividad y mejorando su calidad de forma sostenible.

Priyadharshini et al. (2019) menciona que, una mejor producción necesita de la cantidad correcta de agua en el momento adecuado, un monitoreo continuo al sistema de riego por parte de los humanos no es posible todo el tiempo, la automatización puede ser de gran ayuda para regar los cultivos sin mano de obra. En un sistema de riego automatizado se utilizan

sensores de humedad volumétrica para una programación precisa, pues mide el contenido de agua en el suelo y controla el suministro de agua y fertilizantes. Es importante considerar la HV en la automatización del sistema de fertirriego debido a que determina la cantidad de agua disponible para las plantas y cómo se distribuyen los nutrientes en el suelo, evitando el estrés hídrico o el exceso de agua en el suelo (Millán et al., 2019; Xie et al., 2020).

En el actual estudio se utilizó el balance hídrico donde se obtuvo la ETc para la zona Buesaco como línea base para el estudio de la programación del riego. Millán et al. (2019), indica que este método establece una correlación directa entre las necesidades de agua del cultivo y las condiciones climáticas, pero no considera las posibles desviaciones entre los valores de consumo estimados y reales causadas por las condiciones particulares de la parcela, las variaciones interanuales en los patrones de crecimiento de los cultivos, el material vegetal o las prácticas de cultivo realizadas. Tal desajuste puede resultar en un error sistemático que podría acumularse a lo largo del ciclo de cultivo.

Los sensores de humedad del suelo se centran en iniciar/terminar el riego cuando las medidas proporcionadas por los sensores superan o descienden los umbrales preestablecidos. Millán et al. (2019) propone un enfoque interesante para el desarrollo óptimo de sistemas automatizados, al combinar ETc estimación con retroalimentación de la información proporcionada por los sensores de suelo, para de esta forma de manera regular evaluar la eficiencia del sistema, controlar, ajustar según sea necesario y finalmente asegurar que se está suministrando la cantidad adecuada de agua y fertilizantes.

6.4. Análisis del efecto del fertirriego por goteo en el comportamiento de algunas propiedades fenológicas y producción de café.

En las tablas 5 y 6, se presenta los resultados más representativos, mediante la toma de datos mensual, por un período de seis meses de las variables: A: Altura; TR: Total de ramas; TRP: Total ramas productivas; PAF: Promedio Área foliar; LRR: Long rama representativo; NRP: No nudos rama representativa; DN: Distancia entre nudos; YF: No yemas florales; FA: No flores abiertas; FT: No frutos totales; FP: No frutos pintos; FM: No frutos maduros; FS: No frutos secos.

Se evidenció diferencias significativas en el Área Foliar en la parcela con riego en relación a la parcela con ausencia de riego, con promedios de 3,19 y 2,89 respectivamente; datos que se relacionan con lo obtenido en el número de nudos, se presenta una diferencia significativa de 8,31 nudos en el tratamiento con riego con promedios 43,53 y 35,22 respectivamente.

Para el número de yemas florales se presentaron los promedios 8,24 (con riego) y 3,04 (sin riego), presentando diferencias significativas con un aumento del 63,10% en el sistema con fertirriego. Respecto al número de flores abiertas, se determinó que presenta diferencias significativas con promedios 6,81 (con riego) y 3,5 (sin riego) una diferencia de 3,3 y un aumento de 48,52%.

Los mayores promedios de desarrollo se presentaron en los tratamientos con fertirriego, en el Número de frutos totales se presentaron promedios 31,84 (con riego) y 18,8 (sin riego), con una diferencia de 13,76 frutos entre tratamientos. Para el Número de frutos pintones promedios de 29,61 y 17,97, con una diferencia de 11,65 y finalmente la variable Número de frutos maduros con promedios de 2,12 y 0,18 con una diferencia de 1,95. En general se evidenció un aumento de productividad en la parcela con fertirriego de 58,17%.

Tabla 5. Influencia del fertirriego en sobre las parcelas, en las dos fincas de estudio.

Variable	Mes 1		Mes 2		Mes 3		Mes 4		Mes 5		Mes 6	
	Con Riego	Sin Riego	Con Riego	Sin Riego	Con Riego	Sin Riego	Con Riego	Sin Riego	Con Riego	Sin Riego	Con Riego	Sin Riego
A	1,68a	1,60a	1,64a	1,67a	1,75a	1,71a	1,76a	1,74a	1,82a	1,82a	1,86a	1,89a
TR	67,78a	65,42a	60,83a	63,36a	63,33a	64,98a	65,44a	65,32a	70,30a	67,14a	69,97a	67,05a
TRP	52,44a	48,17a	19,85a	18,12a	14,95a	19,90a	24,41a	24,63a	28,26a	26,89a	28,83a	26,88a
PAF	3,29a	3,20a	3,10b	2,34a	3,09b	2,63a	3,12a	3,09a	3,34a	3,04a	3,17a	3,04a
LRR	55,45a	53,31a	55,54a	52,08a	58,28a	53,36a	60,07a	54,80a	59,08a	53,77a	60,89a	53,48a
NRR	31,93a	31,25a	37,63a	33,55a	44,18a	35,60a	47,95b	35,83a	49,27b	37,63a	50,24b	37,46a
DN	2,24a	2,03a	1,89a	1,75a	1,71a	1,67a	1,56a	1,73a	1,52a	1,56a	2,02a	2,12a
YF	1,63a	0,00a	4,14a	0,00a	18,65b	10,12a	8,52 b	3,35a	6,51b	2,27a	9,99b	2,48a
FA					21,80 b	12,02a	3,75 b	0,63a	1,53a	0,54a	0,14a	0,82a
FT	48,34a	43,68a	4,37b	0,38a	5,17a	6,43a	39,11b	21,58a	43,74b	26,91a	50,29b	9,46a
FP	43,22a	43,07a	3,03b	0,21a	4,17a	6,26a	38,22b	19,10a	42,10b	30,21a	46,93b	8,95a
FM	3,82a	0,42a	1,00a	0,07a	0,55a	0,07a	0,87a	0,00a	3,25b	0,00a	3,25b	0,50a

Fuente: Esta investigación, 2023

Donde: a: Letras iguales de acuerdo a la prueba de T no difieren estadísticamente; b: Letras diferentes de acuerdo a la prueba de T existen diferencias significativas a una probabilidad del 95%.

Tabla 6. Promedios de los meses de evaluación por tratamiento y variable con su respectiva diferencia

Variable	Con Riego	Sin Riego	Diferencia
A	1,75	1,74	0,01
TR	66,27	65,55	0,73
TRP	28,12	27,43	0,69
PAF	3,19	2,89	0,29
LRR	58,22	53,46	4,75
NRP	43,53	35,22	8,31
DN	1,82	1,81	0,01
YF	8,24	3,04	5,2
FA	6,81	3,5	3,3
FT	31,84	18,08	13,76
FP	29,61	17,97	11,65
FM	2,12	0,18	1,95

Fuente: Esta investigación, 2023

De acuerdo con Montoya et al. (2013) el área foliar está estrechamente relacionada con los procesos de crecimiento vegetativo, tasa de desarrollo, eficiencia fotosintética, evapotranspiración y el uso de nutrientes y agua, por lo tanto, el área foliar es directamente proporcional a la producción de energía, que se traduce en una mayor producción del grano. Montoya et al. (2017) explica que para la proliferación de hojas e incremento de circunferencia foliar la planta detiene su crecimiento longitudinal representado en un 82 % y en la longitud de las ramas en un 12 %, lo que permite explicar porque en longitud de rama no se encontraron diferencias estadísticas, pero sí en el área foliar.

Al incrementar la tasa fotosintética se promueve la generación de nuevas ramas y follaje, que, a su vez, incrementa el crecimiento del número de nudos. Lo cual explica que al aumentar el área foliar y con ello la eficiencia fotosintética, repercutirá directamente en un mayor crecimiento de nudos potencialmente productivos y así mismo en una mayor cantidad de flores y frutos (Zhang et. al., 2017).

En estudios realizados por Masarirambi et al. (2009), el sistema de riego evaluado durante un año, generó una floración continua a medida que los árboles presentaban edades superiores a los 7 años, además, al aumentar la cantidad de agua por riego incrementó el número de flores producidas por rama, coincidiendo con los resultados de la presente investigación.

De la magnitud de la floración depende en gran medida la formación del grano y cosecha resultante, por ende, conocer el comportamiento de la floración es importante para estimar la recolección, planificar prácticas culturales, manejo de plagas y enfermedades que afecten el fruto, flujo de ingresos a lo largo del año e identificación de épocas críticas de déficit hídrico. Según Ramírez (2014), las etapas II y III (50 a 180 días después de la antesis) son las etapas de mayor demanda de agua y de nutrientes del fruto, y es donde se debe garantizar la mayor disponibilidad de ambos factores. También menciona que para la zona centro-sur del país, que comprende a Nariño, los períodos de diciembre a marzo y de junio a septiembre son donde el cultivo es mayormente vulnerable al déficit hídrico.

En cuanto a los resultados de Número de frutos totales, pintones y maduros, coincide con el estudio realizado por (Serra et al., 2013) donde registra que la fertirrigación por goteo en café aumentó el 27% de la productividad, lo que se tradujo en ahorros sustanciales de fertilizantes. Del mismo modo, coincide con lo reportado por Babou et al. (2017) obteniendo resultados significativos en el sistema con riego de las variables de ramas productivas, nudos/rama productiva, porcentaje de producción de frutos y rendimiento. El tratamiento con riego resultó en un aumento medio de la productividad del 61% en comparación con el tratamiento sin riego (Sakai et al., 2015).

El estudio reportado por Sakai et. al (2015), mencionan que el crecimiento de las plantas de café está directamente relacionado con la disponibilidad de agua en el suelo, de acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que las plantas de la parcela con el tratamiento de fertirriego se vieron favorecidas por el mismo y que la tendencia mostrada es que el café cuando tiene condiciones de humedad suficiente influye notablemente en las variables de crecimiento, desarrollo y muestra una mayor producción.

Durante el periodo de estudio, se presentó el Fenómeno de la Niña, debido a esto, se fraccionó la dosis del fertilizante en pequeñas cantidades y se aplicó los fertilizantes líquidos cada 15 días, teniendo en cuenta que estos fertilizantes son solubles, por lo tanto, propensos a ser arrastrados por el agua de lluvia y la lixiviación. Lo cual es recomendado por González y Sadeghian (2019), reportando mayor producción al realizarse el fraccionamiento de la dosis de fertilizante, lo que permitió mayor eficiencia en la absorción de nutrientes, en zonas de alta precipitación y suelos arenosos. Siendo una práctica económicamente viable y conduce a una

respuesta positiva en el aumento de la producción en lotes con niveles de baja producción (Guzmán y Betancourt, 2007).

El manejo y aplicación de abonos orgánicos tienen un impacto fundamental en diversos procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas, principalmente por los compuestos húmicos, sustancias que participan de manera positiva en la respiración y en la velocidad de las reacciones enzimáticas del Ciclo de Krebs, lo que promueve una mayor producción de ATP y con ello un mayor efecto en la síntesis proteica y de la actividad de diversas enzimas, lo que contribuye al adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas (Reyes et. al, 2016).

Los abonos orgánicos son una tecnología viable amigable con el medio ambiente, dicha capa orgánica permite mejorar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, siendo de fácil acceso, manejo y se puede realizar con productos de la finca (Arango, 2017; Jacome et al., 2021) y contienen una fuente importante de fitohormonas presentes en los ácido húmicos y fúlvicos que favorecen el crecimiento vegetal (López et al., 2014). En el marco de esta investigación, los caficultores manifestaron estar de acuerdo con la utilización de fertilizantes orgánicos solubles, con el objetivo de iniciar una transición desde el uso de abonos químicos hacia los orgánicos, los cuales son más respetuosos con el medio ambiente y, además, resultan ser más económicos en comparación con el aumento exponencial que se ha venido evidenciando en los costos de los abonos químicos.

En conclusión, una adecuada humedad del suelo permite un adecuado funcionamiento de los procesos de las plantas de café, de acuerdo con Arboleda (2009), indica que del volumen total del agua que absorbe la planta el 3% es usado para la fotosíntesis y el 97% restante tiene la función del transporte y absorción de nutrientes desde la raíz hasta la superficie de las hojas donde se evapora en forma de transpiración, mantiene la turgencia celular, regula la temperatura.

7. CONCLUSIONES

El estudio reveló que en la región de Buesaco el mes de agosto presenta los niveles más bajos de humedad indicando el inicio del año hidrológico y un periodo que abarca desde Agosto a Julio. Las líneas de tendencia mostraron un incremento en las precipitaciones anuales para el periodo 2000 – 2021. Estos hallazgos resaltan la importancia de monitorear el clima y desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático.

Considerando las condiciones climáticas durante el período de investigación y teniendo en cuenta el tipo de suelo, se pudo observar que la finca 1 posee una capacidad de retención de humedad inferior en comparación con la finca 2. No obstante, la finca 2 es más susceptible a la compactación del suelo.

Los resultados de este estudio muestran que el fertirriego tuvo un impacto positivo en las variables promedio de área foliar, número de nudos en la rama representativa, yemas florales y flores abiertas. Además, se observó un aumento significativo en la productividad del café, alcanzando incrementos de hasta el 58,17%.

8. RECOMENDACIONES

Realizar una evaluación del dosel de sombra y medir la humedad relativa del sistema con el fin de determinar el impacto de estas variables en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café

Realizar una evaluación durante al menos un ciclo productivo para conocer a mediano plazo como se refleja la influencia del fertirriego en el cultivo de café y permita contrastar su comportamiento en temporadas de sequía y precipitaciones.

Se recomienda realizar análisis de suelo para obtener una comparativa de las mejoras o deficiencias en las propiedades físicas y químicas del suelo.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, J. (2020). El agua como fuerza motriz de las plantas. Murcia, España: Academia de Ciencias de la Región de Murcia
- Alcaldía Municipal de Buesaco. (2020). Nuestro Municipio. Obtenido de Alcaldía Municipal de Buesaco en Nariño: <http://www.buesaco-narino.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Álvarez, R. Ganchozo, W. Carrillo, R. Fernández, F. Plaza, L. (2014). Protocolo para ensayos de validación café arábigo (*Coffea arabica* L.). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Dirección de transferencia de tecnología. Ecuador.
- Arango, C. Dorado, J. Guzmán, D. y Ruíz, J. (2012). Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al ciclo El Niño. La Niña-Oscilación del Sur (ENSO). IDEAM, vol 33.
- Arango, M. (2017). *Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista).
- Arboleda, F. M. (2009). Importancia del agua en la nutrición de los cultivos. Carta trimestral, 3.
- Arcila J. Farfán v., F. Moreno B. Salazar, G. Hincapié G. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé.
- Arteaga, L. y Burbano, J. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. Revista de Ciencias Agrícolas. 35(2): 79-91. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183502.93>
- Babou, C. Rudragouda, D. Mukharib, K. Mote, N. Gokavi, R. Manjunath, A. y Raghuramulu, Y. (2017). Influence of micro irrigation and drip fertigation practices on yield and quality parameters of robusta coffee (*Coffea canephora*). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6(2), 701-706. doi: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.079>
- Camargo, B. (2010). The impact of climatic variability and climate change on Arabic Coffee crop in Brazil. *Bragantia* 69: 239-247. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>
- Canales, H. A. (2015). Evaluación de indicadores agroecológicos en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) var. CATRENIC, bajo riego complementario por goteo a pleno sol y micro aspersión bajo sombra, San Marcos, Carazo, Nic, 2013-2014. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria. Nicaragua.
- Cañón, M. (2018). Determinación de las necesidades hídricas de un cultivo de café, en etapa productiva, con base en el conocimiento del balance hídrico (Tesis de Maestría). Manizales, Colombia: Universidad de Manizales.
- Chaterlán, Y. (2012). Precisión en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. Caso de estudio: cultivos de ajo y cebolla en las condiciones edafoclimáticas del sur de Artemisa. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba. 156pp.

Cigüenza, N. (2019). Huila es el departamento líder cafetero con 16% del área cultivada. Bogotá, Colombia: Editorial La República.

Cifuentes, V. (2019). Durante 2018 la producción de café mundial fue de 168 millones de sacos de 60 kg. Bogotá: La República.

Cisneros, E., González, F., Martínez, R., López, T., y Rey, Á. (2015). Respuesta productiva del cafeto al manejo del riego. Función agua-rendimiento. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 24(4). p5-11. ISSN 2071-0054

Contreras, D. (2016). El impacto de El Niño en Colombia. Revista Fasecolda. Bogotá, Colombia. (No 163), pp 42-46.

Comité de Cafeteros de Nariño - CCN. (2014). Labores de registro en fincas. Colombia: Sistema de información cafetero (SICA). Federación Nacional de Cafeteros.

Cortez, G y Tercero, J. (2014). Efecto de tres láminas de riego por goteo en época seca sobre el estímulo de la floración y producción de café (*Coffea arabica* L. Var. CATRENIC), finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013 (Tesis Doctoral) Universidad Nacional Agraria, UNA. Managua, Nicaragua.

Criollo, H., Benavides, D., Muñoz, J. y Lagos, T. (2019). Caracterización socioeconómica de fincas cafeteras del departamento de Nariño. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 22(2), 13-97. <http://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1397>

Cueto, G., Coronel, I., y Suárez, H. (2009). Análisis de los factores que provocan la compactación del suelo agrícola. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 18(2), 57-63.

Cuya, O. (2018). La densidad aparente del suelo como indicador ecológico para la restauración de plataformas y campamentos petroleros en el bosque húmedo tropical. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Descamps, P. (2017). Técnicas para la producción sostenible de café frente al cambio climático (No. 4076). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en tecnología Agropecuaria.

Duarte, H. Munguía, R. Aguilar, V. Murillo, G., & Marrero, E. (2016). Riego complementario y su efecto en la floración y producción de café (*Coffea arabica* L.) variedad CATRENIC, Carazo, Nicaragua, 2013-2014. La Calera, 16(27), 69-74. Doi: <https://doi.org/10.5377/calera.v16i27.6004>

Euscátegui, C y Hurtado, G. (2011). Análisis del impacto del fenómeno “la niña” 2010-2011 en la hidroclimatología del país. IDEAM. vol 6

El Tiempo. (2016). El fenómeno del Niño (sic) dejará pérdidas por \$0,5 billones al café. Bogotá, Colombia: El tiempo casa editorial.

El Tiempo (2022). Economía y negocios: Por segundo año consecutivo baja la producción de café. Bogotá, Colombia: El tiempo casa editorial.

FNC- Federación Nacional de Cafeteros. (2021). Producción de café de Colombia cierra 2021 en 12,6

millones de sacos. Bogotá, Colombia.

FNC- Federación Nacional de Cafeteros. (2022). Producción anual de café de Colombia cierra 2022 en 11,1 millones de sacos. Bogotá, Colombia.

Gaitán, A., Flórez, C., García, J., Benavides, P., Gil, Z., Sadeghian, S. y López, J. (2016). Evento de La Niña en Colombia: recomendaciones para la caficultura. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

González, F., Cisneros, E. y Montilla, E. (2017). Respuesta al déficit hídrico del cafeto (*Coffea arabica* L.) en diferentes fases de desarrollo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(3), 4-11

González, H. y Sadeghian, S. (2019). Fraccionamiento de la fertilización en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1-8.

Guevara, O.; Abud, M.; Trujillo, A. F.; Suárez, C. F.; Cuadros, L.; López, C. y Flórez, C. (2016). Plan Territorial de Adaptación Climática del departamento de Nariño. CORPONARIÑO y WWF-Colombia. Cali, Colombia. 154 pp.

Guzmán, M. & Betancourt, J. (2007). Efecto de las aplicaciones fraccionadas del fertilizante compuesto sobre la producción y niveles nutricionales de la palma de aceite en la plantación Palmas del Casanare. *Palmas*, 28(especial), 449-456.

Harvey, C.; Harry, D. y Hannaford, J. (2012). Una evaluación del desempeño de los métodos de llenado de datos para su aplicación a los registros diarios de flujo de ríos en el Reino Unido. *Revista de Hidrología*, 5, 618–636

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM y Universidad Nacional de Colombia – UNAL, (2018). Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia. Bogotá, D.C, Colombia.

Instituto Nacional de Aprendizaje - INA. (2022). Historia Natural de Costa Rica. Capítulo 3: Principales factores climáticos de Costa Rica. San José de Costa Rica: Instituto Nacional de Aprendizaje.

Instituto Nacional Tecnológico - INATEC. (2018). Manual de Introducción a las Ciencias Agropecuarias. Tecnológico Nacional. Managua, Nicaragua. p 18.

INTAGRI. (2017). Los Sistemas de Riego Aptos para la Fertirrigación. Serie Agua y Riego. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. Núm. 16. 4 p

Isaza, C y Cornejo, J. (2014). Cambio climático y su impacto en el cultivo de café. Norwegian Agency for Development. Cooperation and Solidaridad Network. 39p.

Jácome, D., Ramos, L., Murillo, R., Villafuerte, W. (2021). Crecimiento y desarrollo de variedades de café (*Coffea robusta* P.) en el subtrópico ecuatoriano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 15187-15199.

Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia: Sede Medellín. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia

Kafkafi, U. (2012). Fertirrigación: Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua.

International Fertilizer Industry Association (IFA). Instituto Internacional de la Potasa (IIP). Francia, Suiza. 17 p.

Lagos, T. Criollo, H. García, J. Muñoz, J. López, J. Benavides, D. Dulce, J. (2019) El Cultivo del Café (*Coffea arabica* L.) en Nariño. Editorial Universidad de Nariño, Pas, Colombia. ISBN 978-958-8958-60-6. Doi: <https://doi.org/10.22267/lib.udn.011>

López, R. González, G. Vázquez, R. Olivares, E. Vidales, J. Carranza de la Rosa, R. Ortega, M. (2014). Metodología para obtener ácidos húmicos y fulvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(spe8), 1397-1407.

Liu, X., Qi, Y., Li, F., Yang, Q., & Yu, L. (2018). Impacts of regulated deficit irrigation on yield, quality and water use efficiency of Arabica coffee under different shading levels in dry and hot regions of southwest China. *Agricultural Water Management*. 204, 292-300.

Marquínez, A., y Rivera, D., (2020). “Regionalización Hidrológica de las Subregiones del Pacífico Sur, Telembí y el Pie de Monte Costero” p. 37

Masarirambi, M. T., Chingwara, V., & Shongwe, V. D. (2009). The effect of irrigation on synchronization of coffee (*Coffea arabica* L.) flowering and berry ripening at Chipinge, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(13-16), 786-789

Mendoza, A. E. (2013). Riego por goteo. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal - CENTA y Ministerio de agricultura y ganadería- MAG. El Salvador. 24-53p.

Millán, S., Casadesús, J., Campillo, C., Moñino, M. J., & Prieto, M. H. (2019). Using soil moisture sensors for automated irrigation scheduling in a plum crop. *Water*, 11(10), 2061. <https://doi.org/10.3390/w11102061>

Montoya, E. Hernández, J. Unigarro, C. Flórez, C. (2017). Estimación del área foliar en café variedad Castillo a libre exposición y su relación con la producción. *Cenicafé* 68 (1): 55-61

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (2007). Cambio climático y seguridad alimentaria: un documento marco. Roma, Italia. 24p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. (2015). Agua y cultivos: Mejora de la agricultura de regadío. En: <http://www.fao.org/3/y3918s/y3918s10.htm>

Organización Internacional del Café - OIC. (2016). Informe de mercado del café: septiembre 2016. Obtenido de: <http://www.ico.org/documents/cy2016-17/cmr-0917-c.pdf>

Ortega, J. (2018). Curvas de retención de humedad del suelo. Sección de laboratorios especializados. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. p 1-3.

Panhuisen, S., & Pierrot, J. (2014). Barómetro de café 2014. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. *Ensayos sobre economía cafetera*, 27(30). p 101 - 102.

Peloso, A. Tatagiba, S. y Amaral, J. (2017). Limitaciones del crecimiento vegetativo en café arábica promovidas por déficit hídrico. *Revista Engenharia na Agricultura-REVENG*, 25(2), 139-147.

Peña, J., Ramírez, H., Valencia, A., y Jaramillo, A. (2013). La lluvia como factor de amenaza para el cultivo del café en Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

Pellegrini, A. (2019). Curso edafología departamento de ambiente y recursos naturales facultad de ciencias agraria y forestales. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina.

Portafolio. (2022). Producción de café en el país en 2021 fue de 12,6 millones de sacos. Bogotá, Colombia: El tiempo casa editorial.

Portafolio. (2023). Producción de café en Colombia cerró 2022 en 11,1 millones de sacos. Bogotá, Colombia: El tiempo casa editorial.

Priyadharshini, M. Sindhumathi, U. Bhuvaneswari, S. Rajkamal, N. Arivu Chelvan, K. (2019). Soil Automatic Irrigation System Humidity sensor with Bigdata. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. 67(3).

PROMECAFE, (2011). Adaptación al cambio climático en la región de PROMECAFE. Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura. 2011. Londres, Reino Unido. Pp, 13. Obtenido de: <http://www.ico.org/documents/pj-3c-promecafe.pdf>

Ramírez, V. H., Jaramillo, A., & Arcila, J. (2013). Rangos adecuados de lluvia para el cultivo de café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*. 393. 0120-0178. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

Ramírez, V. (2014). La Fenología de Café, Una Herramienta para Apoyar la Toma de Decisiones. *Avance Técnico Cenicafé* 441 ISSN-0120-0178. Recuperado de: La fenología del café

Reyes, J., Luna, R., Reyes, M., Suárez, G., Ulloa, C., Cabrera, D., & Jhonn, G. (2016). Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo de la col (*Brassica oleracea L.*). *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, 18, 28-32.

Rojas, T. M. (2001). Revisión de bases técnicas. Manual de Riego Parcelario. Capítulo 1. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO

Romo, M. (2019). Importancia del Fertirriego en la Tecnificación de Cultivos. Serie Agua y Riego, Núm. 33. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 12p.

Sakai, E. Barbosa, E. de Carvalho Silveira, J. y de Matos Pires, R. (2015). Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. *Agricultural water management*, 148, 16-23.

Salamanca, A. y Sandeghian., S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 56(4):381-397. 2005

Sánchez, A. (2014). Análisis de la respuesta del Estado colombiano frente al Fenómeno de la Niña 2010-2011: El caso de Santa Lucía. Banco de la República, Centro de estudios económicos regionales (CEER) - Documentos de trabajo sobre Economía Regional. Cartagena, Colombia. Núm. 206

Sánchez, V., Avendaño, Y., Gaviria, A., y Gómez, C. (2018). Cambio climático y café (*Coffea arábica* L.) en Acevedo, Huila: una lectura desde sus cultivadores. Universidad de Investigación y Desarrollo. I+D Revista de Investigaciones, 12 (2), 59-69. DOI: <https://doi.org/10.33304/revinv.v12n2-2018006>

Serra, EL, Scalco, MS y Guimarães, R. 2013. Funciones de la producción de café bajo riego y bajo diferentes densidades de siembra. *Coffee Sci.*, 8: 157.

Silva, A. L.; Faria, M.A. (2006). Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*. Campina. 7(1). Doi: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662003000100007>

Silva Robledo, H., Silva Candia, P., Garrido Salinas, M., & Acevedo Hinojosa, E. (2015). Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. Santiago de Chile: Universidad de Chile

Sociedad Alemana de Cooperación Internacional - GTZ. (2010). Manual de capacitación. El cambio climático influye en la agricultura, la agricultura influye en el cambio climático. GTZ. 35p.

Thomaziello,A; Oliveira,G; Toledo Filho. (1999). A cultura do Café. Campinas, CATI, 4.a Edição Boletim Técnico 193. 77 p.

USDA. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Washington, DC: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA).

Vignola, R. Watler, W., Morales, M., & Vargas, A. (2018). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de café en Costa Rica. Ficha técnica sector productivo avícola, San José, Costa Rica.

Xie, X. Machikowa. T y Wonprasaid. S. (2020). Drip irrigation systems controlled by soil moisture sensors and a soil water balance model for cassava grown in soils of two different textures. *South African Journal of Plant and Soil*. Doi: 10.1080/02571862.2020.1766586

Zhang, Z. X., Cai, Z. Q., Liu, G. Z., Wang, H., Huang, L., & Cai, C. T. (2017). Effects of fertilization on the growth, photosynthesis, and biomass accumulation in juvenile plants of three coffee (*Coffea arabica* L.) cultivars. *Photosynthetica*, 55, 134-143.

Zotarelli, L., Dukes, Y., y Morgan, T. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. *The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS)*, 2-5.