



Diseño de un sistema de riego por microaspersión en el cultivo de café (*Coffea canephora*) en el campus La María, cantón Mocache - Ecuador



DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*COFFEA CANEPHORA*) EN EL CAMPUS LA MARÍA, CANTÓN MOCACHE - ECUADOR

Publicado por: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Dir. Av. Quito km 1½ vía a Santo Domingo de los
Tsáchilas, Quevedo, Ecuador. www.uteq.edu.ec.

Derechos reservados: © Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador 2023.
Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICYT).
Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines
educativos y otros que no sean comerciales sin permiso
escrito previo detentar el derecho de autor, mencionando la
cita.

Cita del libro: Bermeo L. y Matute L. 2023. Diseño de un sistema de riego
por microaspersión en el cultivo de café (*Coffea canephora*) en
el campus La María, Cantón Mocache - Ecuador. Universidad
Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. 84 pp.

Revisión de Pares Externos: René Nazareno Ortíz.
Magister en Riego y Drenaje.
Universidad Técnica Luis Vargas Torres.

Diego Camilo Martínez Martínez.
Magister en Scientarium en Geología Ptolera.
Universidad Técnica Luis Vargas Torres.

Primera Edición: Quevedo, Junio del 2023.

ISBN: 978-9978-371-75-6

Equipo Editorial: Econ. Carlos Edison Zambrano, PhD.
Director

Ing. Javier Patiño Uyaguari, M.Sc.
Revisión y Corrección

Ing. J. Bladimir Mora Macías.
Edición y Diagramación

► PRESENTACIÓN

El Comité Editorial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) es la unidad encargada de promover, gestionar y administrar el conocimiento resultante de las actividades de investigación científica, la docencia y la vinculación de docentes y estudiantes. Dentro del procedimiento para el reconocimiento al profesorado y estudiantado de la UTEQ se contempla la publicación como libros de Tesis de grado y posgrado que se distingan por su innovación, metodología, rigor técnico o impacto social.

El Proyecto de Investigación en opción al grado de Ingeniero Agrónomo de Luis Alejandro Bermeo Ortiz, obtenido en la “Universidad Técnica Estatal de Quevedo”, atiende a la normativa existente para ser publicado como libro y por ello el Comité Editorial de la UTEQ aprueba la visibilidad y acceso a la comunidad académica, científica y sociedad en general.



► DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN EN
EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea canephora*) EN EL
CAMPUS LA MARÍA, CANTÓN MOCACHE - ECUADOR

AUTORES:

Luis Alejandro Bermeo Ortiz
Leonardo Gonzalo Matute Matute



ÍNDICE DE CONTENIDO

Introducción	12
--------------------	----

CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.1. Problema de investigación	15
1.1.1. Planteamiento del problema	15
1.1.2. Formulación del problema	15
1.1.3. Sistematización del problema	15
1.2. Objetivos	16
1.2.1. Objetivo general	16
1.2.2. Objetivo específico	16
1.3. Justificación	16

CAPÍTULO II.

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	18
2.1. Café	19
2.1.1. Etapas de desarrollo del cultivo	19
2.1.2. Profundidad radicular	20
2.2. Requerimiento hídrico del cultivo	20
2.3. Suelos	21
2.3.1. Textura	21
2.3.2. Capacidad de campo	22
2.3.3. Punto de marchitez permanente	22
2.3.4. Infiltración básica del suelo	23
2.3.5. Agua disponible	23
2.4. Agua	24
2.4.1. Fuentes de agua	24
2.4.2. Calidad del agua	25
2.5. Clima	27
2.5.1. Evaporación	27

2.5.2.	Humedad	27
2.5.3.	Viento	27
2.6.	Riego	27
2.7.	Sistemas de riego	28
2.7.1.	Ventajas y desventajas de los sistemas de riego	29
2.8.	Eficiencia del sistema de riego	30
2.9.	Técnica de riego por microaspersión	30
2.10.	Condiciones actuales de los sistemas de riego por microaspersión	31
2.11.	Componentes del sistema de riego por microaspersión	31
2.12.	Diseño hidráulico	32
2.12.1.	Pérdidas de carga en laterales (Hazen-Williams)	32
2.12.2.	Número de salidas	33
2.12.3.	Evapotranspiración	33
2.12.4.	Evapotranspiración del cultivo	33
2.13.	Diseño agronómico	33
2.13.1.	Datos requeridos para la determinación del régimen de riego	33
2.13.1.1.	Clima	34
2.13.1.2.	Cultivo	34
2.13.1.3.	Suelo	34
2.13.1.4.	Parcela	35
2.13.1.5.	Fuentes de agua de riego	35
2.13.1.6.	Sistemas de riego	35
2.13.2.	Densidad Aparente (DA)	35
2.13.3.	Capacidad de Campo (CC)	36
2.13.4.	Punto de Marchitez Permanente (PMP)	36
2.13.5.	Agua Disponible (AD)	36

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.1. Ubicación del experimento	38
3.2. Tipo de investigación	38

3.3.	Método de investigación	38
3.4.	Diseño de un sistema de riego	39
3.4.1.	Recopilación de información	39
3.4.2.	Topografía	39
3.4.3.	Superficie del proyecto	39
3.4.4.	Análisis físicos del suelo	40
3.4.4.1.	Porcentaje de humedad	40
3.4.4.2.	Capacidad de campo en base al suelo seco	41
3.4.4.3.	Densidad aparente - DA	42
3.4.5.	Disponibilidad de agua y energía	43
3.4.6.	Estado del cultivo	43
3.5.5.	Evapotranspiración	48
3.6.1.	Agua disponible	48
3.6.2.	Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva - LAZr	49
3.6.3.	Porcentaje del área bajo riego – Par	50
3.6.4.	Precitación horaria del sistema de riego – Phr	52
3.6.5.	Intervalo de riego – Ir	53
3.6.6.	Ciclo de riego – Cr	53
3.6.7.	Lámina de riego ajustado – LR (aj)	54
3.6.8.	Porcentaje de agua aprovechada, ajustado – Pa (aj)	55
3.6.9.	Lámina bruta – LB	55
3.6.10.	Dosis de riego bruto por área	55
3.6.11.	Horas de riego por día – Hd	56
3.6.12.	Horas de riego por ciclo – Hc	56
3.6.13.	Número de turnos por ciclo – Tc	56
3.6.14.	Superficie bajo riego por turno – St	57
3.6.15.	Dosis de riego bruta por turno – DBt	57
3.6.16.	Caudal requerido – Qr	58
3.6.17.	Descarga disponible en el sistema de riego – Qs	58
3.6.18.	Número de emisores por turno – Emt	59
3.6.19.	Volumen bruto por ciclo de riego – VBc	59
3.6.20.	Caudal específico – Qe	59

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS	61
4.1. Plano topográfico y superficie del terreno	62
4.2. Disponibilidad de agua y energía	64
4.3. Diseño agronómico de un sistema de riego por microaspersión	66
4.4. Discusión	67

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES	70
5.1. Conclusiones	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Máximo porcentaje de agua aprovechable sugeridos de acuerdo a ETo y al cultivo (Pa)	51
Tabla 2. Porcentaje del área bajo riego recomendado para los diferentes sistemas de riego	52
Tabla 3. Aspectos generales del área del proyecto	62
Tabla 4. Características agroclimáticas de la zona del proyecto ...	63
Tabla 5. Muestras hidrofísicas del suelo para la elaboración del diseño agronómico	63
Tabla 6. Parámetros del cultivo de café para el diseño agronómico ..	64
Tabla 7. Componentes y parámetros técnicos del sistema de riego ...	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Esquema de dirección de siembra del cultivo de café en el Campus “La María”	76
Anexo 2. Croquis del diseño hidráulico del sistema de riego	76
Anexo 3. Perímetro del área experimental	77
Anexo 4. Levantamiento planimétrico y altimétrico	77
Anexo 5. Obtención del peso de las muestras y posterior colocación en la estufa	78
Anexo 6. Colocación de las muestras en los envases para el respectivo análisis	78
Anexo 7. Tipos de difusores estáticos rotores	79
Anexo 8. Características específicas del microaspersor AQUASMART 2002	79
Anexo 9. Uniformidad de riego de los diferentes tipos de boquillas ..	80
Anexo 10. Tabla de pérdidas de carga catalogo PLASTIGAMA	80
Anexo 11. Tabla de datos del respectivo diseño agronómico del sistema de riego por microaspersión	82

INTRODUCCIÓN

El café en Ecuador es un cultivo de gran importancia económica, ya que cuenta con 199.215 ha cultivadas, el 68% de esta área corresponde a las variedades *Coffea arábica* y el 32% a *Coffea canephora* el cultivo de café está distribuido en 23 de las 24 provincias del país, por lo tanto, está relacionado con un amplio sector social. *C. arábica* recibe el nombre de café arábigo y es considerado el de mejor calidad (Venegas Sánchez et al, 2017), y su producción se concentra en las provincias de Manabí (especialmente en la localidad de Jipijapa), Loja y en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes. En cambio, *C. canephora*, llamado café robusta, se cultiva mayormente las provincias de Guayas, Santa Elena, Los Ríos y Bolívar.

Según la Organización Internacional del Café (ICO) por sus siglas en inglés, para el año 2015 Ecuador estaba dentro del listado de los principales productores de café en el mundo, para ese año, el país se ubicaba en la posición número 19 de un total de 20 países, con una participación del 0.49% de la producción mundial, con un total de 42.000 kilos, muy por debajo de países con tradición cafetalera en Latinoamérica como Brasil (puesto N° 1) y Colombia (puesto N° 3).

El Ecuador cuenta con una elevada disponibilidad de recursos hídricos, la cual resulta ser muy relativa respecto a la oferta hídrica superficial. El volumen total nacional de recursos hídricos superficiales es de 361 747 hm³; 56 556 hm³, que se distribuyen en: Amazonía 65.9%; Costa 17.6%, Sierra 16.5%. La disponibilidad promedio de recursos hídricos subterráneos es de 56.556 hm³, de este total 15 136 hm³ corresponde a la región Litoral, 8.381 hm³ a la región Interandina y 33.037 hm³ a la región Amazónica.

El uso del agua en riego es de vital importancia por el gran volumen que se utiliza, pero se realiza bajo condiciones ineficientes. La deficiencia en el manejo del agua de riego se observa en todos los componentes del sistema, desde la captación hasta la aplicación en las parcelas; pasando por la conducción, almacenamiento, distribución y métodos de riego parcelario. En Ecuador el proceso es improvisado y sin planificación en la mayoría de juntas de regantes. Para esto se recomiendan los sistemas de riegos localizados como lo son el sistema de riego por goteo y riego por microaspersión.

Es por esa razón que los sistemas de riego por microaspersión son importantes porque tienen la finalidad de suministrar el agua de manera eficiente al suelo, ya que se especializa en la optimización, uniformidad y correcta distribución del recurso agua, para así dotar de los requerimientos hídricos que demanda el cultivo a lo largo de su ciclo vegetativo y posteriores ciclos cada vez que este cultivo es de tipo perenne.



CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN



1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

La falta de un diseño de riego por microaspersión en el cultivo de café implementado en el Campus “La María” ha ocasionado que el cultivo presente un pobre crecimiento, retraso en el desarrollo, mostrando claramente el estrés hídrico en el cultivo.

Al no contar con un sistema de riego en el cultivo de café que se está implementando, a través de la red de universidades del café (REDUCAFE), ha sido el limitante para un crecimiento adecuado y vigoroso de las variedades de café que se encuentra sembradas en el Campus “La María”.

El cultivo de café es una especie que demanda una cantidad significativa de agua para un óptimo desarrollo y crecimiento en todas sus fases fenológicas para alcanzar el potencial productivo, teniendo en cuenta que el déficit hídrico ocasiona deformidades en el crecimiento de la planta, afectando directamente a la fase de floración y posterior al cuajado de fruto, limitando la productividad.

1.1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influye el diseño y programación de un sistema de riego por microaspersión en el óptimo desarrollo y producción del cultivo de café (*Coffea canephora*)?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Cuáles es la finalidad de diseñar un sistema de riego por microaspersión dirigido al cultivo de café?
- ¿De qué manera trasciende la programación dentro del diseño de riego por microaspersión?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar y calcular una programación de un sistema de riego por microaspersión para el cultivo de café (*Coffea canephora*) en el campus “La María”

1.2.2. Objetivos específicos

- Diseñar el sistema de riego por microaspersión.
- Calcular una programación de riego por microaspersión

1.3. Justificación

La deficiencia o falta de agua en el cultivo de café son solamente necesarias en la etapa de floración, pero si este déficit de agua es muy prolongado no permite que haya la apertura floral, por lo que limitan el crecimiento vegetativo y el llenado de los frutos que estén creciendo en ese momento en la planta, ocasionado una clorosis y amarillamiento de las hojas que va desde las hojas jóvenes hacia las hojas más viejas. Por otro lado el exceso de agua en el cultivo disminuye la inducción floral y la formación de estructuras reproductivas, favoreciendo la presencia de enfermedades fungosas y promoviendo el lavado nutrientes en el suelo así como las perdidas por erosión.

A la larga el déficit y falta de agua ocasiona una clorosis en el cultivo de café, lo que se va a reflejar con una baja en la producción de café teniendo como un promedio nacional de producción de 8.650 TM.

Actualmente los agricultores que se encuentra familiarizados con el cultivo de café implementan sistemas de riegos como aspersión en el gran cañón de manera empírica sin tener un manual de operación ni un diseño agronómico que determine la cantidad, el momento y que tiempo de trabajo necesite el sistema siendo un gran problema al instante de aplicar agua sin tener una dosificación donde lo único que se reflejará un mal uso del recurso agua siendo este un recurso no renovable.

Este tipo de sistemas de riegos está siendo puesto en marcha en varias zonas del país, por lo que la Facultad de Ciencias Agrarias al pertenecer a la Red de café a nivel nacional ha llevado a cabo este cultivo para realizar investigaciones, por lo que, se hace necesario la ejecución de un sistema de riego que permita mejorar la producción. Los principales beneficiarios de este proyecto será la Red Nacional de Café (REDUCAFE), investigadores, estudiantes y agricultores de la zona de Quevedo y su influencia.



CAPÍTULO II.

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN



2.1. Café

El café robusta fue descubierto en África a fines del siglo XIX, en Guinea ecuatorial y El Congo, en 1900 se introdujo a Ceilán (hoy Sri Lanka) y en 1901 a Java, posteriormente se diseminó hacia otras zonas tropicales húmedas del mundo. Al Ecuador, el café robusta fue introducido por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), desde el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE-Costa Rica), entre 1951 y 1986, estableciéndose a nivel de colección en la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP-INIAP), desde donde se diseminó hacia las zonas tropicales húmedas de la Costa y Amazonía.

En la década 1990, la empresa Nestlé introdujo germoplasma de robusta de distintos orígenes, en 2010 la empresa ELCAFÉ realizó introducciones de Vietnam, Indonesia, Uganda y Brasil; en 2006 (Duicela *et al*, 2015).

Se caracteriza por ser un arbusto de hojas perennes que alcanza de 6 a 10 metros de altura cuando se deja a libre crecimiento, sus ramas son largas con pocas ramificaciones secundarias, con entrenudos largos. Las hojas son grandes (20 a 25 cm de largo 8 a 15 cm de ancho) ligeramente corrugadas, las inflorescencias son axilares formadas por uno o tres verticilos, constituidos cada uno de ellos por quince o treinta flores blancas y olorosas, cuya corola posee de cinco a siete pétalos. Cada verticilo tiene varias decenas y hasta un centenar de flores que darán glomérulos repletos de frutos, los cuales son de forma ovoide de ocho a diez mm de longitud (Abrego, 2012).

2.1.1. Etapas de desarrollo del cultivo

De acuerdo con CENICAFE (2014), el crecimiento del fruto de café tiene una curva de crecimiento sigmoideal, dividida en cuatro etapas:

Etapas I. Esta etapa cubre desde la floración hasta 50 días aproximadamente, es una etapa de crecimiento lento.

Etapa II. Transcurre entre los 50 y 120 días en promedio, el fruto crece de manera acelerada y adquiere su tamaño final, y la semilla tiene consistencia gelatinosa.

Etapa III. Transcurre entre los 120 y 180 días, la semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere consistencia sólida y gana peso.

Etapa IV. Transcurre entre los 180 y los 224 días, el fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado y comienza a madurar.

2.1.2. Profundidad radicular

La profundidad radicular en una planta adulta es de 50 a 60 cm aproximadamente, las raíces secundarias (de sostén y laterales) se originan a partir de la pivotante; de las secundarias, generalmente se desarrollan los pelos absorbentes que, en un alto porcentaje (80-90%), se encuentran en los primeros 12 a 30 cm del suelo, con un radio de 2 a 2.5 m a partir de la base del tronco. Los pelos absorbentes son muy importantes porque le permiten a la planta la absorción de agua y nutrientes del suelo (Marín, 2012).

2.2. Requerimiento hídrico del cultivo

Los requerimientos hacen referencia a la cantidad de agua empleada al cultivo durante su ciclo de producción o por etapas de su ciclo productivo, que en términos precisos es la cantidad de agua que el cultivo de café mueve desde el suelo hasta la atmósfera, en el proceso conocido como evapotranspiración del cultivo (ET_c) (FAO, 2012).

Los requerimientos hídricos del cultivo de café oscilan entre 57 mm mes⁻¹ a una altitud de 1800 m, en un cafetal menor de un año y una densidad de 2500 plantas ha, hasta 135 mm mes⁻¹ en un cafetal mayor de 3 años a 1000 m de altitud y con una densidad de 10.000 plantas ha⁻¹ (Ramírez & Arcila, 2014).

Masaquiza (2019), menciona que los límites bajos para un buen desarrollo del café fluctúan de 760 a 780 mm, bien distribuidos, mientras que los límites altos varían de 990 a 3000 mm. En cualquier condición, el factor más importante es la adecuada distribución, pues el periodo seco ideal debe ser alrededor de tres meses.

Santistevan y Vera (2013), indican que el café requiere de precipitaciones abundantes, mínimo de 2000 mm, repartido en todo el año. En la Amazonía las zonas productoras se han establecido bajo los 600 metros sobre el nivel del mar y en condiciones climáticas de precipitación que van desde los 3000 a 3500 mm.

2.3. Suelos

2.3.1. Textura

Las condiciones de suelo apropiadas para el café deben ser de textura franca, franco arenoso o franco arcilloso, textura granular, horizonte "A" profundo, buen drenaje, contenido de materia orgánica y niveles de acidez entre pH 5.5 a 6.5 (Fernández, 2017).

Los suelos aptos para el cultivo de café son aquellos que presentan buen drenaje, los suelos con textura arcillosa y pesada no son adecuados por su drenaje bajo, ya que impide el desarrollo y distribución de las raíces. El buen desarrollo y producción del cultivo está limitado por el pH (acidez/alcalinidad) y la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas. El café prefiere un suelo ligeramente ácido. Los mejores suelos para el cultivo son los denominados suelos francos, caracterizados por tener proporciones iguales de arena, limo y arcilla, un buen suelo para cultivar café es aquel que presenta un color oscuro, al mismo que se le atribuye como un suelo con buen contenido de materia orgánica (Vázquez, 2011).

Los suelos aptos para la producción de cultivo de café son los profundos, de buen drenaje, estructura granular y textura franca. La profundidad del suelo se relaciona con el espesor de sus horizontes y permite establecer el potencial de fertilidad. Cuando más profunda sea la capa superficial (horizonte A), los cafetos tendrán mayor posibilidad de desarrollo de sus raíces y más capacidad de absorber los nutrientes (Santistevan & Vera, 2013).

2.3.2. Capacidad de campo

Es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la acción de la gravedad. Los poros pequeños retienen agua en contra de la fuerza de la gravedad, y los macroporos están en buena parte ocupados por aire, y representa para fines prácticos, el límite superior de agua que puede estar disponible para las plantas (Angella & Salgado, 2016).

Es el contenido de agua de un suelo, después que ha sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración. Corresponde aproximadamente al contenido de agua del suelo a una tensión o potencial mátrico del agua de $-0,33$ bares (Silva *et al*, 2015).

Una vez que se escurre el agua “sobrante”, comienzan a aparecer los poros con aire, momento en el cual se dan las condiciones de contenido de agua y aire que hacen posible el aprovechamiento del agua y nutrientes disueltos (De Lima, 2015).

2.3.3. Punto de marchitez permanente

Es el límite inferior de extracción por parte del cultivo. Contenido de humedad del suelo a partir del cual la planta se marchita en forma permanente y aunque se someta a una atmósfera saturada de vapor de

agua (humedad ambiental 100%), no se recupera. En el caso de que sea regada, sí se recupera, aunque si es prolongado el periodo de tiempo en punto de marchitez permanente, la planta puede morir (Assan & Gorosito, 2018).

El punto de marchitez permanente es el contenido de agua en el suelo cuando la planta se marchita y no vuelve a estar turgente por más que se le agregue agua al suelo (Hernández, 2016).

El contenido de humedad a PMP, al igual que la CC, se expresa en porcentaje en base a masa (g de agua por g de suelo seco). En términos prácticos para un suelo franco el valor de PMP se estima a partir de CC, dividiendo su valor en dos (Ojeda *et al*, 2018).

2.3.4. Infiltración básica del suelo

La infiltración del agua en el suelo juega un papel fundamental en el ciclo hidrológico. Dependiendo de las condiciones geológicas, puede permanecer en el suelo en forma de humedad; escurrir como flujo subsuperficial y aflorar como una naciente efímera; o recargar el acuífero, entre otros (Alvarado Batres & Barahona Palomo, 2016).

Numerosos estudios han demostrado que la infiltración de los suelos puede ser un buen indicador de la calidad y la salud del suelo, ya que al transportar agua dentro del suelo constituye como medio principal para conservar la actividad física, química y biológica de este, al mismo tiempo que recarga los acuíferos (Gómez *et al*, 2014).

2.3.5. Agua disponible

La cantidad total de agua disponible para absorción de la planta es el “agua disponible para la planta” (ADP) que es la diferencia entre CC y PMP y a menudo se expresa como un porcentaje en volumen (volumen

de agua/volumen de muestra de suelo). La "capacidad de retención de agua disponible" (CRAD) se determina multiplicando el ADP por la profundidad de la zona de las raíces donde se produce la extracción de agua (Zotarelli et al, 2013).

La cantidad total de agua disponible en el suelo para las plantas (ADP) es la diferencia entre las láminas de agua almacenadas al límite máximo de retención o almacenamiento conocido como "Capacidad de Campo" (Cc) y el límite mínimo de almacenamiento, denominado como "Punto de Marchitez Permanente" (PMP), ambas consideradas hasta la profundidad de interés para las plantas o profundidad radical efectiva (Zr) (Cid Lazo *et al*, 2018).

2.4. Agua

2.4.1. Fuentes de agua

En algunos lugares, el cultivo no requiere de riego, pues la precipitación anual y el patrón de lluvias a lo largo de los meses del año, es suficiente para poder alimentar el cultivo y producir buenas cosechas. Sin embargo, el cambio climático está causando cambios en la cantidad de lluvia que cae anualmente, ha ocasionado distorsiones en los patrones de lluvias y también se manifiesta con eventos climáticos extremos, es decir con lluvias muy intensas o con sequías prolongadas y expandidas.

Por ello es importante que el agua que se precipita en la temporada lluviosa o en tormentas intensas, pueda ser captada y absorbida hacia las capas del subsuelo, con el propósito de mantener la humedad del suelo y la disponibilidad de agua en otros períodos del año en que se necesite (CLAC, 2017).

Los sistemas de almacenamiento del agua a nivel de finca son importantes, no sólo para consumo humano sino también para uso

agrícola. Es importante, si no se tienen fuentes de agua en la finca, el acopio de agua de lluvia para las labores agrícolas, sin embargo se debe tener cuidado de que no se contamine, por lo que en los primeros aguaceros, a la entrada a la estación lluviosa (inicios de invierno), se debe desechar esta agua, posterior a esto se debe procurar que el agua almacenada no sirva para criaderos de zancudos u otros insectos, lo mismo evitar que se llene de líquenes.

Para esto es recomendable que el almacén de agua sea en un reservorio cerrado que no permita la entrada de luz, ni de zancudos u otros organismos (Ureña, 2009).

2.4.2. Calidad del agua

La calidad del agua para el riego es de gran importancia por razones de seguridad. La mala calidad del agua que se usa en el riego es una de las razones que justifica la presencia de patógenos en el cultivo. El concepto de calidad de agua para el riego se refiere a las características del agua que puedan afectar a los recursos suelo y cultivo en su uso a largo plazo (Tartabull Puñales & Betancourt Aguilar, 2016).

Cuenca (2015) indica que los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua son normadas por la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), la Organización Panamericana de la Salud (O.P.S.), y por los gobiernos nacionales, pudiendo variar ligeramente de uno a otro. Los valores que se presentan en la tabla son por lo tanto referenciales.

Problemas potenciales en el riego		Grado de restricción en el uso			Unidad
		Ninguno	Ligero a moderado	Estricto	
Salinidad, afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos.	<u>CE_w</u>	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0	dS/m
	<u>STD</u>	< 450	450 - 2000	> 2000	mg/l
Permeabilidad, afecta a la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Se evalúa utilizando EC _w y RAS juntos.	RAS = 0-3	CE _w : ≥ 0.7	0.7 - 0.2	< 0,2	dS/m
	RAS = 3-6	CE _w : ≥ 1.2	1.2 - 0.3	< 0,3	dS/m
	RAS = 6-12	CE _w : ≥ 1.9	1.9 - 0.5	< 0,5	dS/m
	RAS = 12-20	CE _w : ≥ 2.9	2.9 - 1.9	< 1,9	dS/m
	RAS = 20-40	CE _w : ≥ 5.0	5.0 - 2.9	< 2,9	dS/m
Toxicidad de iones específicos, afecta a los cultivos sensibles.	Sodio (riego superficial)	< 3	3 - 9	> 9	RAS
	Sodio (riego con aspersores)	< 70	> 70		mg/l
	Cloro (riego superficial)	< 140	140 - 350	> 350	mg/l
	Cloro (riego con aspersores)	< 100	> 100		mg/l
	Boro	< 0.7	0.7 - 3	> 0.3	mg/l

Nota: *Elaboración propia.*

CE_w: conductividad eléctrica del agua de riego. Se utiliza como medida indirecta de la concentración en sólidos disueltos totales (SDT). Se expresa en deciSiemens por metro (dS/m).

SDT: sólidos disueltos totales. Para la mayoría de las aplicaciones agrícolas existe una relación directa entre los valores de conductividad eléctrica (CE) y los de SDT con una precisión en torno al 10 %.

RAS o SAR: relación de adsorción de sodio. Da una idea de la cantidad de sodio presente en el agua de riego en relación con otros cationes.

2.5. Clima

2.5.1. Evaporación

Los promedios de evaporación en las principales zonas de producción de café robusta del Ecuador fluctúan entre 533 y 931 milímetros. (Duicela *et al*, 2009).

2.5.2. Humedad

Se considera óptima por debajo del 85%. Porcentajes de humedad superiores al 85% aumentan las probabilidades de ataque de los patógenos fungosos (Vignola *et al*, 2018).

2.5.3. Viento

Son los encargados de transportar el vapor de agua y las nubes, haciendo variar algunos componentes del clima como las lluvias, la temperatura y el brillo solar. En general, las zonas más adecuadas para el cultivo del café se caracterizan por presentar vientos de poca fuerza (Vanegas, 2016).

2.6. Riego

Los cultivos para poder crecer y desarrollarse necesitan absorber agua del suelo. Cuando el contenido de humedad es bajo se dificulta la absorción, por ello es necesario regar para reponerla y que quede disponible para las plantas. Existen diferentes métodos de riego. No existe uno mejor que otro, sino que, cada uno se ajusta mejor a cada situación en particular, aunque presentan diferencias en la eficiencia de aplicación del agua. En riego siempre se debe reducir las pérdidas de agua, haciendo un uso más eficiente de la misma. La eficiencia de riego es la cantidad de agua disponible para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación con el total de agua que se aplicó (Demin, 2014).

En los sistemas de producción agrícola un factor determinante en su sostenibilidad es la productividad del agua. Este indicador es utilizado a fin de desarrollar estrategias de utilización de los recursos hídricos que permitan tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y empleo de estos recursos (González *et al.*, 2017).

La gestión adecuada del riego requiere la estimación precisa de las demandas hídricas de los cultivos y la adecuación de los volúmenes de riego a las mismas para conseguir el mejor uso del agua desde el punto de vista productivo y medioambiental. Para ello han de considerarse las características específicas de manejo de cada cultivo, los aportes por precipitación y el contenido de agua en la capa de suelo explorado por las raíces (Calera *et al.*, 2016).

2.7. Sistemas de riego

Según la investigación realizada por Saborio (2018) menciona que la realización de un sistema de riego es importante ya que, como se sabe, el cambio climático es una realidad, y la implementación de sistemas que permitan la optimización de las producciones, se vuelve una necesidad. El café, no está exento a esto, el agua en las diferentes etapas del cultivo es vital para que se dé tanto la floración y cuaje como el llenado de los frutos. Por otro lado, si el agua se le proporciona a la planta en el momento y la cantidad requerida, homogenizaría en gran medida la producción; ya que, se concentraría la misma, es decir, disminuye la cantidad de floraciones que se dan en el cultivo, ahorrando en gran medida en la etapa de cosecha por duraciones más cortas del periodo de la recolección del café.

Robles (2017) indica que en este sentido se desarrolló su investigación con la finalidad de proponer sistemas de riego presurizados que permitan optimizar el caudal de agua para lo cual se realizó lo siguiente: diagnóstico de la información base para el diseño de un sistema de riego por microaspersión en los cultivos de mango, cacao, coco y café; elaboración del diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego

por microaspersión para los cultivos mencionados; y socialización de los resultados del diseño de riego presurizado a la comunidad.

Iñoñan (2015) justifica que los sistemas de riego contribuyen a mejorar la disponibilidad del recurso hídrico y aumentar la eficiencia de riego, evitando así el stress hídrico del cultivo implantado en la parcela (café); para así asegurar la vida y producción del cultivo. El estudio es trascendente y servirá de parcela demostrativa. Los agricultores de la zona observaron lo eficiente que es el riego por goteo y en situaciones futuras iniciarán el cambio del riego tradicional (riego por gravedad) por el riego presurizado (goteo, microaspersión o aspersión).

2.7.1. Ventajas y desventajas de los sistemas de riego

Mahecha (2017), menciona que los sistemas de riego juegan un papel importante dentro de la producción agrícola por lo que es necesario conocer las ventajas y desventajas de estos sistemas.

Ventajas

- Independientemente del tipo de suelo el sistema es una buena opción.
- Es perfecto para lugares con pendientes y de difícil acceso.
- Por lo anterior, evita que no se deba modificar terrenos para nivelar, lo que equivale a no tener un gasto en adecuaciones.
- Se puede automatizar.
- Requiere poca mano de obra.

Ventajas

- Las condiciones atmosféricas y climatológicas afectan en gran medida la dirección del chorro.

- Puede generar erosión y escorrentía.
- La simulación de un ambiente lluvioso y húmedo puede generar el hábitat de plagas y hongos.

2.8. Eficiencia del sistema de riego

La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la bocatoma, la cantidad de agua que es captada de alguna fuente natural de un sistema de riego esta conducida a través de un canal principal y luego derivada el agua por un canal de distribución y finalmente se deriva el agua a nivel parcela para algún cultivo del productor agrario (Nuñez, 2015).

En la operación de todo sistema de riego, ocurren pérdidas de agua tanto en el sistema de almacenamiento, conducción, distribución y a nivel parcelario. Se considera al agua como un recurso vital y sumamente escaso. En este sentido, su manejo debe ser eficiente a fin de preservar y conservar dicho recurso para asegurar su sostenibilidad en el tiempo y en el espacio. En el diseño de un sistema de riego, se debe considerar las pérdidas que ocurren, con el fin de asegurar el abastecimiento adecuado y oportuno de agua para el riego de los cultivos (Vasquez *et al.*, 2017).

2.9. Técnica de riego por microaspersión

Esta técnica de riego consiste en la aplicación de agua al suelo en gotas muy pequeñas. Requiere una presión de 21.6 mca, es decir mucho más baja que aspersión. El diámetro de mojado que genera el microaspersor puede ser de alrededor de 3-4 metros. Es recomendable para cultivos como frutales, riego en viveros y algunas hortalizas. Los más comunes son los microaspersores propiamente dichos en los que se clava un soporte en el suelo y se abastece de agua de una manguera que suele estar superficial. Otros microaspersores son los microjets que se colocan

de manera que cuelgan por encima de las plantas conectados a una manguera de las cuales se abastecen de agua y que también está colgada, se utilizan en viveros (Demin, 2014).

2.10. Condiciones actuales de los sistemas de riego por microaspersión

La evaluación hidráulica permite conocer los caudales extraídos del acuífero y los distribuidos a lo largo de la unidad y secciones de riego, así como el valor del coeficiente de uniformidad. Esto permite determinar la eficiencia de los sistemas de riego, detectar las causas de la falta de uniformidad y tomar las medidas necesarias para corregirla, de tal manera que se pueden aplicar con mayor precisión las cantidades de agua requeridas por los cultivos. Las unidades de riego tienen superficies que varían desde 35 hasta 108 has, por lo que la superficie de las secciones de riego es muy variable y dependen de la superficie total de la unidad, de la potencia de la bomba de riego y de la eficiencia de la distribución del agua (Tun *et al.*, 2014).

2.11. Componentes del sistema de riego por microaspersión

Solís y Yacelga (2018) señalan que un sistema de riego por microaspersión está compuesto por:

Fuente de energía: Hace referencia a la potencia que se necesita para realizar el trabajo, puede ser mediante bombas, motores o tomando en cuenta la diferencia de alturas.

Redes de conducción y distribución: Conjunto de tuberías que contiene el sistema (tuberías principales, secundarias, terciarias y laterales).

Accesorios: Se refiere a codos, uniones, tees, válvulas y demás accesorios que se necesitan emplear para que el sistema funcione de manera eficiente.

Microaspersores: Los microaspersores son básicamente boquillas, compuestas por una sola pieza, fabricada generalmente en algún tipo

de polímero, sujeta a un soporte que la eleva a una altura de 10 a 20 centímetros sobre la base del suelo.

Los microjets son fabricados también en polímero, pero están compuestos por dos piezas, una base y una cabeza. En la base está el orificio de salida de agua y la cabeza cumple el rol de distribuirla en áreas de 180° y 360°. Las descargas de un microaspersor y un microjet varían entre los 25 a 120 litros/hora y los sistemas se diseñan para realizar riegos frecuentes (Tapia, 2014).

Caudal: está en función al caudal que se emplee en una hora de trabajo del sistema y el número de microaspersores que se vayan a utilizar. Se debe tomar en cuenta que la lámina de aplicación debe ser inferior a la velocidad de infiltración del agua en el suelo y que la lluvia que se provoque debe ser inversa a la pendiente del terreno donde se va a trabajar (Cadena, 2014).

Presión: viene dada por el fabricante, pero conviene trabajar con la menor presión con el fin de evitar mayor costo del motor, de las tuberías y mejor tamaño de las gotas porque con mayor presión las gotas se pulverizan y no se moja bien el suelo (Cadena, 2014).

2.12. Diseño hidráulico

Con el diseño hidráulico se determina las dimensiones de todos los componentes de la instalación de riego, de forma que se pueda aplicar el agua suficiente para los cultivos durante cualquiera de sus fases de desarrollo; otro objetivo es conseguir que la aplicación del agua en forma de lluvia sobre el suelo sea suficientemente uniforme. Con todo ello se podrán obtener buenas producciones con el menor gasto de agua.

2.12.1. Pérdidas de carga en laterales (Hazen-Williams)

El cálculo ya que el coeficiente de rugosidad “C” no es en función de la velocidad ni del diámetro (Loaiza, 2016).

2.12.2. Número de salidas

El número de salidas lo determina el diseño del sistema mediante el cálculo entre la distancia de un emisor y otro.

2.12.3. Evapotranspiración

Es la cantidad de agua utilizadas por las plantas para realizar funciones de transpiración más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cual se desarrollan (Chávez, 2015).

2.12.4. Evapotranspiración del cultivo

Es la combinación de la evaporación (E), que es proveniente del suelo, y la transpiración (T), relacionado a la planta (Cisneros *et al*, 2015).

2.13. Diseño agronómico

El diseño agronómico del sistema de riego debe garantizar que la instalación sea capaz de suministrar, con una óptima eficiencia de aplicación, las necesidades hídricas del cultivo, principalmente en el periodo de máximo consumo, humedeciendo el volumen de suelo necesario para su desarrollo. En primer lugar, es preciso calcular las necesidades hídricas de los cultivos y luego, determinar cantidad ¿Cuánto?, frecuencia ¿Cuándo? Y tiempo de riego ¿Cómo? para cada uno de ellos (Ferrari y Aguado, 2018).

2.13.1. Datos requeridos para la determinación del régimen de riego

(Gutiérrez, 2010) indica que, para determinar el régimen de un cultivo, es decir: la lámina de riego, la dosis bruta y el intervalo de riego se requieren datos iniciales sobre el clima, el cultivo, el suelo, la parcela, la fuente de agua y el sistema de riego.

2.13.1.1. Clima

- Temperatura (máxima, mínima y media).
- Humedad relativa (máxima, mínima y media).
- Precipitación (lluvias): cantidades mensuales y distribución anual.
- Evaporación diaria (valores mensuales promedios del Tanque Evaporímetro de Clase "A").
- Viento: velocidad y horas de viento.
- Porcentaje de horas de luz.

2.13.1.2. Cultivo

- Especie y variedad
- Etapas de desarrollo del cultivo.
- Coeficiente de cultivo (Kc) para cada una de las fases de su desarrollo.
- Máximo aprovechamiento del agua permisible para el cultivo.
- Profundidad de la zona radicular efectiva del cultivo: se considera el perfil del cual el sistema radicular extrae del 85 al 90% del volumen total de agua consumido por el cultivo.
- Espaciamiento y dirección de las líneas de siembra o de los árboles.

2.13.1.3. Suelo

- Textura (tipo de suelo)
- HCc (%): porcentaje de humedad a capacidad de campo, a base de peso seco (por capa).
- HPm (%): porcentaje de humedad en el punto de marchitez permanente, a base de peso seco (por capa).
- Pea: peso específico aparente, en g/cm^3 (por capa).
- Infiltración básica, en mm/hora (por capa).

Para a determinación del régimen de riego se tomarán los valores de la capacidad de campo, del punto de marchitez y del peso específico aparente de las diferentes capas del suelo dentro de los límites de la profundidad radicular efectiva del cultivo y se harán los cálculos del volumen de agua disponible por capa. Asimismo, el régimen de riego se basará en el valor de la infiltración básica.

2.13.1.4. Parcela

- Área (Ha)
- Dimensiones.
- Topografía (Pendiente en %)
- Linderos y obstáculos en el terreno.

2.13.1.5. Fuentes de agua de riego

- Pozo, río, presa, lago, etc.
- volumen de agua a disposición del proyecto.
- Localización de la fuente de agua respecto a la parcela por regar.
- Descarga horaria (caudal).
- Presión en la fuente de agua.
- Horas de disponibilidad de la fuente de agua.
- Horas de bombeo.
- Calidad física y química del agua.
- Cota estática y dinámica del espejo de agua.

2.13.1.6. Sistemas de riego

- Método de riego.
- Características del emisor: modelo, diámetro de cobertura, descarga, presión, etc.
- Espaciamiento entre emisores y laterales.
- Eficiencia de riego (Gutiérrez, 2010).

2.13.2. Densidad Aparente (DA)

El término densidad refleja la cantidad de masa que ocupa un volumen determinado, expresado en g/cm^3 . La DA, al igual que la textura influye en la retención de humedad del suelo y en la profundidad radicular que pueden desarrollar los cultivos. En un suelo arenoso la densidad es alta, mientras que en un arcilloso es baja, siempre que este último no se encuentre compactado (Ojeda *et al.*, 2018).

2.13.3. Capacidad de Campo (CC)

Es el contenido máximo de agua que el suelo puede retener entre sus microporos una vez que el agua gravitacional se ha perdido tras una intensa lluvia o saturación del suelo. En general, se corresponde con el contenido de agua en el suelo, a los 2 días de haberse producido una intensa lluvia (Otero *et al.*, 2017).

Sin embargo, el contenido concepto de CC es adaptado como un criterio práctico y útil para fijar el límite superior de humedad aprovechable. Este se expresa normalmente en porcentaje en base a masa (g de agua por g de suelo seco) (Ojeda *et al.*, 2018).

2.13.4. Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Es el mínimo contenido de agua del suelo en el cual las plantas manifiestan marchitez irreversible, Ésta no se puede recuperar, aunque posteriormente se incrementa el contenido de agua del suelo (Otero *et al.*, 2017).

2.13.5. Agua Disponible (AD)

En el suelo es el contenido de agua que se encuentra en medio de la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, equivalente a la capacidad de retención del suelo en la zona radicular (mm/m) o en HV% para cada horizonte (Otero *et al.*, 2017).



CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN



3.1. Ubicación del experimento

La investigación se llevó a cabo en el Campus “La María”, perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, localizada en el km 7 de la vía Quevedo – El Empalme (Cantón Mocache) con coordenadas: 79° 27' longitud oeste y 01° 06' de latitud sur, altitud: 73 msnm^{1/}.

A continuación, se muestran los principales factores climáticos del experimento registrados en la Estación Experimental Tropical Pichilingue.

Factores climáticos	Promedios Anuales
Temperatura promedio anual (°C)	25.3
Humedad relativa promedio anual (%)	82
Precipitación promedio anual (mm)	2256.4
Heliofanía promedio anual (horas-luz/año)	840.9

Datos obtenidos del INAMHI, localizado en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, 2018

Nota: *Elaboración propia.*

3.2. Tipo de investigación

La investigación que se realizó fue de tipo proyectiva, conocida también como proyecto factible, y consistió en la elaboración de una propuesta para la solución de un problema en este caso fue el diseño y programación de un sistema de riego por microaspersión.

3.3. Métodos de investigación

Hipotético deductivo: parte de una explicación inicial, para luego obtener conclusiones particulares de ella, que luego serán a su vez comprobadas experimentalmente.

3.4. Diseño de un sistema de riego

Para llevar a cabo el diseño del sistema de riego se utiliza la metodología propuesta por (Fuentes y García, 2004) quienes plantean que para diseñar un sistema de riego se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Recopilación de información básica
2. Diseño hidráulico
3. Diseño agronómico

3.4.1. Recopilación de información

La información recopilada para el diseño y programación del sistema de riego cuenta con los siguientes elementos:

- Topografía
- Superficie del proyecto
- Análisis físicos del suelo
- Disponibilidad de agua y energía
- Estado del cultivo

3.4.2. Topografía

Se realiza un levantamiento topográfico que permite obtener el área real del proyecto y las características topográficas de la misma. Con la utilización de un GPS se obtuvieron los datos (Coordenadas UTM) que permitieron crear un croquis completo del área donde se plasmó el diseño del sistema de riego, a la vez con la ayuda de una estación total se procedió a realizar el levantamiento altimétrico para obtener las curvas de nivel del área y tener valores de altura de cada cota.

3.4.3. Superficie del proyecto

El proyecto se desarrolla en los predios del Campus “La María” donde se lleva a cabo el programa de propagación de Café de alto rendimiento,

perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo que cuenta con un área de 5475 m² (0.5475 ha). Para llevar a cabo el trabajo se procedió a dividir el área en dos parcelas, esto se da por las dos direcciones de siembra que está establecida cada una, quedando dividida de la siguiente manera 2737 m², que representa una superficie de 0.27 ha cada área dividida.

3.4.4. Análisis físicos del suelo

Para el correspondiente análisis físico del suelo en el área de la parcela a trabajar se realizan dos calicatas de un 1 m de profundidad por 1m de ancho que permitió identificar las características morfológicas del suelo. Se tomaron muestras de suelos a la profundidad de 20, 40, 60 cm para llevar a laboratorios de la Facultad donde se evaluaron los siguientes parámetros:

- Porcentaje de humedad
- Capacidad de campo en base al suelo seco
- Densidad aparente
- Humedad en el punto de marchitamiento
- Textura
- Infiltración del suelo

Por medio de fórmulas establecidas para cada una de las variables a evaluar en la calicata se determina numéricamente cada factor a considerar para la determinación del análisis físico del suelo siendo este componente clave para el desarrollo oportuno del sistema de riego.

3.4.4.1. Porcentaje de humedad

Con la ayuda de una pala se procede a extraer muestras de suelo de las dos calicatas existente, en los diferentes horizontes o niveles para luego guardarlas en las bolsas plásticas. Una vez obtenidos las muestras el siguiente paso es llevarlas al Laboratorio de Agua y Suelo del Campus “La María”.

Se utiliza un recipiente redondo metálico de 49 gr de peso colocando el recipiente en la gramera para proceder a cerrarla, con la ayuda de una pala de mano se coloca 300 gr de suelo en el recipiente, para luego ingresar las muestras en la estufa a una temperatura de 100° y dejar reposar por 24 horas.

Una vez realizado todo este procedimiento se espera que se cumplan las 24 horas para abrir la estufa y pesar nuevamente las muestras con la balanza electrónica.

Fórmula:
$$\%H = \frac{P. S. H - P. S. S}{P. S. S}$$

3.4.4.2. Capacidad de campo en base al suelo seco

Con la ayuda de una pala se procede a extraer muestras de suelo de las dos calitas existente, en los diferentes horizontes o niveles para luego guardarlas en las bolsas plásticas, para posteriormente prefabricar 12 tramos de 25 cm de altura con tubería de PVC (Diámetro 63mm), una vez obtenido los tramos se coloca gasa en las partes superiores de cada tramo cubriéndolas con cintas aislantes dejando libre la parte interna de los tramos y proceder a unir dos tramos para hacer uno solo.

Una vez unidos los tubos de ensayos para la prueba de porcentaje de humedad, se realiza la colocación de las muestras de suelo y se los deja ubicado de un lugar libre con una dirección vertical donde se le agrega agua para dejar reposar por 2 días.

A los 2 días posteriores luego de haber dejado reposar las muestras de suelos para determinar %H, se procede a retirar las muestras, guárdalas en bolsas plásticas y llevarlas a los Laboratorios de Agua y Suelo del Campus "La María", cabe recalcar que se utilizó la metodología de (Andrades *et al*, 2015).

Se utiliza un recipiente redondo metálico de 49 gr de peso colocando el recipiente en la gramera para proceder a cerrarla, con la ayuda de una pala se coloca 300 gr de suelo en el recipiente, para luego ingresar las muestras en la estufa a una temperatura de 100° C y dejar reposar por 24 horas.

Una vez realizado todo este procedimiento se espera que se cumplan las 24 horas para abrir la estufa y pesar nuevamente las muestras con la gramera.

Fórmula:
$$\%H = \frac{P.S.H - P.S.S}{P.S.S} * 100 = \%$$

3.4.4.3. Densidad aparente - DA

Para determinar la DA, las herramientas que usamos fue un cilindro metálico de 100 cc, martillo, pala y funda plástica.

Colocamos el cilindro metálico en el horizonte o nivel que deseamos obtener la muestra, con un martillo golpeamos hasta introducir el cilindro que quede al nivel de la superficie del horizonte, con la ayuda de rabón iremos sacando suavemente el cilindro para posterior esa muestra colocar en las bolsas plásticas para trasladar al laboratorio. Este procedimiento realizamos en los 3 niveles de las dos calicatas hasta obtener las muestras deseadas.

En el laboratorio se procede a vaciar todo suelo obtenido con los cilindros para luego dejar reposar esas muestras adentro de la estufa por 24 horas a una temperatura de 100° C.

Fórmula:
$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * h$$

$$V = \frac{3.1416 * (5)^2}{4} * 5 = 98.18 \text{ cc}$$

$$DA = \frac{P.S.S}{V}$$

3.4.5. Disponibilidad de agua y energía

El agua y la energía que se necesitará para una futura implementación del sistema de riego por microaspersión se obtendrá del pozo que cuenta la UTEQ en el Campus “La María” que se encuentra ubicado a un extremo del área de estudio, Pozo que cuenta con una profundidad de 60 m, diámetro de 6 pulgadas con una disponibilidad de caudal Q 15 m³/h (66GPM), con un nivel estático de 10m y estando en operación el pozo con un nivel dinámico de 22 m se cuenta con una estación de bombeo conformada de una Bomba Sumergible (Bomba Vertical o de lápiz) marca Franklin Electric 5Hp de potencia con un caudal de 20.43m³/h (90GPM) y una presión de operación de 42.25 m.c.a (60Psi).

Caudal del pozo: $\frac{15\text{m}^3}{\text{h}} * \text{Constante } 0.227 = 66 \text{ GPM}$

3.4.6. Estado del cultivo

Existe establecido el cultivo de café (*Coffea arábica* L.). Se utilizo una sola variedad: Robusta. El área en estudio es de 5475 m², constituyendo una superficie de 0.5475 ha. Para llevar a cabo el trabajo se procedió a dividir el área en dos parcelas, esto se da por la dirección de siembra de las plantas quedando dividida de la siguiente manera 2737 m², que representa una superficie de 0.27 ha. El marco de plantación utilizado de acuerdo con la variedad es de 3 por 1.5 y 3 por 2 metros.

Cabe recalcar que, para el futuro cálculo de la evapotranspiración del cultivo, el Kc (coeficiente del cultivo) varía respecto a la etapa de desarrollo en que se encuentra el cultivo tal como lo menciona (Cisneros et al, 2015) donde el Kc en la etapa que va desde floración a fructificación es de 1.04, así como de fructificación a desarrollo de fruto cuyo Kc es de 0.49, en la etapa de floración a cosecha el Kc fluctúa en 1.01. Para el posterior cálculo de diseño hidráulico se utilizó el Kc de 1.04 ya que el cultivo se encuentra en plena fase floración a fructificación.

3.5. Diseño Hidráulico

Se elabora el diseño hidráulico con la finalidad de determinar las dimensiones de tuberías principal, secundarias y laterales, así como de accesorios y demás componentes para la futura instalación del sistema de riego, de forma que se pueda aplicar el agua suficiente para el cultivo de café durante cualquiera de sus fases de desarrollo.

Para realizar el diseño agronómico o hidráulicos se planteó utilizar el micro aspersor MARCA NAANDANJAIN - QUASMART, de boquilla color negra de 1.33 mm, de acuerdo con sus especificaciones técnicas, puede operar con presiones entre los 1.5 – 4.0 Atmosfera, 1.5 – 4.0 BAR y 20, 50 psi y 14.08 - 35.21 m.c.a con un caudal de 55 L/h-1 y diámetro humedad 4,5m. Como otros elementos:

- Área total del proyecto
- Número total de micro aspersores
- Longitud de conducción de la tubería principal
- Longitud de conducción de la tubería secundaria
- Longitud de conducción de tuberías laterales
- Caudal de trabajo del equipo de bombeo

3.5.1. Número total de microaspersores

Para calcular el número total de emisores se realiza la siguiente operación: Área total del proyecto 5475 m²/6 m Distancia de laterales 3.5 m Distancia de Aspersores = 260 Microaspersores a usar en total de área.

3.5.2. Longitud de conducción de la tubería principal

Con la longitud y el caudal de operación que tendrá el sistema de riego se procede a determinar el diámetro tubería principal considerando (Longitud total, Q a necesitar del sistema) la determinación se da con la ayuda de la fórmula de Hazen-Willians, corroborando ese valor obtenido del catálogo de PLASTIGAMA en la sección de pérdidas de cargas.

Diámetro	Q	Pc	V
	7.95m ³ /h-		
63 mm	35 GPM	1,09	0,79

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \times D^{-4,872} \times L$$

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{7.95}{150}\right)^{1,852} \times 63 \text{ mm}^{-4,872} \times 192 \text{ m} = \mathbf{1.61 \text{ m.c.a}}$$

Dónde:

H_f: pérdida de carga (mca)

Q: caudal (m/h)

D: diámetro (mm)

L: Longitud de tubería (m)

C: coeficiente

3.5.3. Longitud de conducción de la tubería secundaria

Con la longitud y el caudal de operación que se necesitaría para la realización de cada módulo se procede a determinar el diámetro tubería secundaria considerando (Longitud total, Q a necesitar del sistema) la determinación se da con la ayuda de la fórmula de Hazen-Williams, corroborando ese valor obtenido del catálogo de PLASTIGAMA en la sección de pérdidas de cargas.

Diámetro	Q	Pc	V
	7.95m ³ /h-		
50 mm	35 GPM	3,37	1,25

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \times D^{-4,872} \times L$$

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{7.95}{150}\right)^{1,852} \times 50 \text{ mm}^{-4,872} \times 90 \text{ m} = \mathbf{2.33 \text{ m.c.a}}$$

Dónde:

Hf: pérdida de carga (mca)

Q: caudal (m³/h)

D: diámetro (mm)

L: Longitud de tubería (m)

C: coeficiente

3.5.4. Longitud de conducción de tuberías laterales

Con la longitud y el caudal de operación que se necesitaría para la operación de cada lateral o línea terciaria se procede a determinar el diámetro tubería considerando (Longitud total, Q a necesitar del sistema) la determinación se da con la ayuda de la fórmula de Hazen-Willians, corroborando ese valor obtenido del catálogo de PLASTIGAMA en la sección de pérdidas de cargas.

Diámetro	Q	Pc	V
	0.44m ³ /h-		
25 mm	1.94 GPM	0,54	0,29

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \times D^{-4.872} \times L$$

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{0,44}{150}\right)^{1.852} \times 25 \text{ mm}^{-4.872} \times 31 \text{ m} = \mathbf{0.11 \text{ m.c.a}}$$

Area 2:

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \times D^{-4.872} \times L$$

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{0,93}{150}\right)^{1.852} \times 25 \text{ mm}^{-4.872} \times 58 \text{ m} = \mathbf{0.85 \text{ m.c.a}}$$

Dónde:

Hf: pérdida de carga (mca)

Q: caudal (m³/h)

D: diámetro (mm)

L: Longitud de tubería (m)

C: coeficiente

3.5.4. Longitud de conducción de tuberías laterales

Con la longitud y el caudal de operación que se necesitaría para la operación de cada lateral o línea terciaria se procede a determinar el diámetro tubería considerando (Longitud total, Q a necesitar del sistema) la determinación se da con la ayuda de la fórmula de Hazen-Willians, corroborando ese valor obtenido del catálogo de PLASTIGAMA en la sección de pérdidas de cargas.

Diámetro	Q	Pc	V
	0.44m ³ /h-		
25 mm	1.94 GPM	0,54	0,29

Area 1:

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \times D^{-4.872} \times L$$

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{0,44}{150}\right)^{1.852} \times 25 \text{ mm}^{-4.872} \times 31 \text{ m} = \mathbf{0.11 \text{ m.c.a}}$$

Area 2:

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \times D^{-4.872} \times L$$

$$H_f = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{0,93}{150}\right)^{1.852} \times 25 \text{ mm}^{-4.872} \times 58 \text{ m} = \mathbf{0.85 \text{ m.c.a}}$$

Dónde:

Hf: pérdida de carga (mca)

Q: caudal (m/h)

D: diámetro (mm)

L: Longitud de tubería (m)

C: coeficiente

Determinación de presión a requerir:

Hf Tub Principal 1.61 m.c.a + Hf Tub Sec 2.33 + Hf Tub lat 0,96 = 4.9 m.c.a

Altura: 3m

Presión operación microaspersores: 14.08 m.c.a

AH+HfT+Pmicro= 21.03 m.c.a / Constante Psi 0.70307= 29.86 PSI

3.5.5. Evapotranspiración

$$SEto = Evt \text{ (mm)} * Kt = 2.10 \text{ mm}$$

3.5.6. Evapotranspiración del cultivo

$$Ete = Eto \text{ (mm)} * Kc = 2.10 \text{ mm/día}$$

3.6. Diseño Agronómico

Se realizó el diseño agronómico con el objetivo de conocer las necesidades hídricas del cultivo, donde se obtendrán los siguientes elementos que constituyen la base para el cálculo hidráulico. Los parámetros determinados fueron:

- Equipo de bombeo que se requiere
- Requerimientos y programación de riego
- Lamina de riego neta y bruta
- Intervalo y frecuencia de riego
- Tiempo de riego
- Pluviometría
- Números de emisores

3.6.1. Agua disponible

3.6.1.1. Lámina de agua disponible a la profundidad radicular efectiva del cultivo – LDzr.

La lámina de agua disponible en el perfil del suelo ocupado por las raíces del cultivo se calcula con la siguiente formula:

$$LDzr \text{ (mm/zr)} = [HCc - HPm] * \left[\frac{Pea}{Pew \text{ (g/cm}^3\text{)}} \right] * zr \text{ (m)} * 10 = \mathbf{60 \text{ mm/zr}}$$

Dónde:

LDzr: lámina de agua disponible, en mm. de agua, a la profundidad radicular efectiva, (mm/zr).

HCC: contenido de humedad, a capacidad de campo a base del peso del suelo, (%w).

HPm: contenido de humedad, en el punto de marchitez permanente, a base del peso seco del suelo, (%w).

Pea: peso específico aparente del suelo, (g/cm³).

Pew: peso específico del agua, (g/cm³).

zr: profundidad radicular efectiva del cultivo (m).

El factor 10 convierte los datos a (mm/zr) (a la profundidad radicular efectiva).

3.6.1.2. Volumen de agua disponible a la profundidad radicular efectiva – VDzr

Se calcula con siguiente formula:

$$VDzr (m^3/Ha/zr) = LDzr (mm/zr) * 10 = 600 m^3/Ha/zr$$

Dónde:

VDzr: volumen de agua disponible, en m³ de agua, a la profundidad radicular efectiva, (m³/Ha/zr).

LDzr: lámina de agua disponible, en mm. de agua, a la profundidad radicular efectiva, (mm/zr).

3.6.2. Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva - LAzr

El máximo porcentaje del agua disponible que el cultivo puede aprovechar sin que disminuya su rendimiento, se presenta en la Tabla 1.

A base del porcentaje de agua aprovechable, Pa (%), se calcula la lámina de agua aprovechable con la siguiente formula:

$$LAzr \text{ (mm/zr)} = \frac{LDzr \text{ (mm/zr)} * Pa \text{ (\%)}}{100} = 24 \text{ mm/zr}$$

Dónde:

LAzr: lámina de agua aprovechable en la zona radicular efectiva, (mm/zr).

LDzr: lámina de agua disponible en la zona radicular efectiva, (mm/zr).

Pa: máximo porcentaje de agua aprovechable por el cultivo, (%).

El factor 100 se convierte el porcentaje a fracción decimal.

3.6.3. Porcentaje del área bajo riego – Par

El porcentaje del área bajo riego, Par (%), depende del emplazamiento del emisor y del diámetro de cobertura efectivo, d (m) de este.

3.6.3.1. Para el riego por aspersión

Por definición, Par = 100 %.

3.6.3.2. Para el riego por microaspersión

El porcentaje del área bajo riego se calcula generalmente con la siguiente formula:

$$Par \text{ (\%)} = \frac{100 * 0.785 * d^2 \text{ (d}^2\text{)}}{de \text{ (m)} * dl \text{ (m)}} * \frac{\alpha}{360^\circ} = 75.7 \%$$

Dónde:

Par: porcentaje del área bajo riego, (%).

d: diámetro de cobertura del emisor, (m).

de: distancia entre emisores contiguos, (m).

α : ángulo cubierto por el emisor, ($^\circ$).

α : 360 para goteros y emisores comunes.

Tabla 1. Máximo porcentaje de agua aprovechable sugeridos de acuerdo a ETo y al cultivo (Pa).

TIPO DE CULTIVO	ETo	
	Baja de 2 a 5 (mm/día)	Media a Alta de 6 a 10 (mm/día)
Hortalizas	30 – 40	15 – 25
Frutales	40 – 50	20 – 35
Pastos	50 – 70	30 – 45
Cereales		
Algodón	60 – 70	40 – 45
Oleaginosas		
Caña de azúcar		
Tabaco		

Nota: Elaboración propia.

3.6.3.3. Verificación y ajuste del % del área bajo riego

Sí el valor de Par (%), anteriormente calculado es inferior al mínimo recomendado en la Tabla 2., o excede al máximo sugerido, será necesario variar las condiciones de operación del emisor, cambiar su boquilla o aún seleccionar un emisor diferente.

Por este motivo se compara el porcentaje calculado del área bajo riego, Par, con el porcentaje recomendado el área bajo riego, con la formula siguiente:

$$75.7 \% \leq MxAR (\%)$$

$$75.7 \% \geq MiAR (\%)$$

Dónde:

Par: porcentaje calculado del área bajo riego, (%).

MxAR: máximo porcentaje del área bajo riego, (%).

MiAR: mínimo porcentaje del área bajo riego, (%).

3.6.4. Precipitación horaria del sistema de riego – Phr

Se calcula a base del caudal del emisor, q_e (lt/h) y del área efectiva bajo riego con la siguiente formula:

$$\text{Phr (mm/h)} = \frac{q_e \text{ (lt/h)} * 100}{de \text{ (m)} * dl \text{ (m)} * \text{Par (\%)}} = 3.46 \text{ mm/h}$$

Dónde:

Phr: precipitación horaria (mm/h) del sistema de riego.

q_e : caudal del emisor, (lt/h).

de: distancia entre emisores contiguos sobre el lateral, (m).

dl: distancia entre laterales contiguos, (m).

Par: porcentaje del área bajo riego, (%).

A continuación es necesario comparar la precipitación horaria, Phr, con la velocidad de infiltración del suelo, I.

$$\text{Phr (mm/h)} \leq I \text{ (mm/h)}$$

$$3.77 \text{ mm/h} \leq 4.62 \text{ mm/h}$$

Dónde:

Phr: precipitación horaria efectiva, (mm/h).

I: velocidad de infiltración básica, (mm/h).

El riego por aspersión y por microaspersión la precipitación horaria del emisor debe ser inferior a la velocidad de infiltración básica del suelo a fin de evitar pérdidas y daños por escurrimiento superficial. Si no se cumple esta condición será necesario retornar y modificar las condiciones de operación del emisor.

Tabla 2. Porcentaje del área bajo riego recomendado para los diferentes sistemas de riego

SISTEMA DE RIEGO	PORCENTAJE DEL ÁREA BAJO RIEGO
Aspersión	100
Goteo	30 – 70
Microaspersión	50 – 75

Nota: *Elaboración propia.*

3.6.5. Intervalo de riego – Ir

El intervalo de riego, Ir (días), cuenta los días entre dos riegos sucesivos en la misma posición.

El intervalo de riego depende de la lámina de agua aprovechable LAzr (mm), del porcentaje del área bajo riego, Par, y del consumo diario del cultivo ETc (mm/día).

$$Ir \text{ (días)} = \frac{LAzr \text{ (mm)} * Par \text{ (\%)}}{ETc \text{ (mm/día)} * 100} = 9 \text{ días}$$

Dónde:

Ir: intervalo de riego, (días).

LAzr: lámina de agua aprovechable en la zona radicular efectiva, (mm/zr).

Par: porcentaje del área bajo riego, (%).

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal.

3.6.5.1. Intervalo de riego ajustado – Ir(aj)

En caso de que el cálculo del intervalo de riego Ir (días) resulte en una fracción decimal, será necesario “ajustarlo para abajo”, a fin de obtener un número entero de días: el intervalo de riego ajustado. Ir (aj) (días).

$$Ir \text{ (aj)} \text{ (días)} = \text{INTEGRO [Ir (días)]} = 3 \text{ días}$$

Dónde:

Ir (aj): intervalo de riego ajustado, (días).

Ir: intervalo de riego, (días).

El intervalo de riego ajustado es \leq a Ir.

3.6.6. Ciclo de riego – Cr

El ciclo de riego, CR (días), es el número entero de días durante el cual se riega una parcela determinada.

Al determinar el ciclo de riego se ha de incluir un factor de seguridad, ya que alguna falla imprevista en el sistema de bombeo o del sistema de riego, la necesidad de realizar determinadas labores agrícolas o aún, días feriados, pueden posponer el riego. Por lo tanto el ciclo de riego debe ser más corto que el intervalo de riego.

Se considera conveniente planificar el sistema con 1 a 2 días de paro, dp (días) durante cada intervalo de riego.

$$\text{CR (días)} = \text{Ir (aj)} - \text{dp (días)} = \mathbf{2 \text{ días}}$$

Dónde:

CR: ciclo de riego, (días/ciclo).

Ir (aj): intervalo de riego ajustado, (días).

dp: días de paro, (días).

3.6.7. Lámina de riego ajustado – LR (aj)

A base del intervalo de riego ajustado, Ir (aj) (días), de ETc (mm/día), y del porcentaje del área bajo riego, Par, se determina la lámina de riego ajustada, LR (aj), con la siguiente formula:

$$\text{LR(aj) [mm]} = \frac{\text{Ir (aj) (días)} * \text{ETc (mm/día)} * 100}{\text{Par} (\%)} = \mathbf{8.32 \text{ mm}}$$

Dónde:

Lr (aj): lámina de riego ajustada, (mm).

Ir (aj): evapotranspiración de riego ajustado, (días).

ETc: evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Par: porcentaje del área bajo riego, (%).

Es conveniente comparar LR (aj) con la máxima lámina de agua aprovechable, la cual ha sido calculada anteriormente empleando la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{LR(aj) [mm]} &\leq \text{LARz (mm)} \\ 8.32 \text{ mm} &\leq 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dónde:

LR (aj): lámina de riego ajustada, (mm).

LDzr: lámina de agua disponible en la zona radicular efectiva, (mm/zr).

3.6.8. Porcentaje de agua aprovechada, ajustado – Pa (aj)

Habiendo ajustado la lámina de riego, es conveniente calcular el porcentaje de agua aprovechada por el cultivo según la fórmula:

$$Pa(aj) [\%] = \frac{LR(aj) (mm) * 100}{LDzr (mm/zr)} = 13.87 \%$$

Dónde:

Pa (aj): porcentaje de agua aprovechada ajustado (%).

LR (aj): lámina de riego ajustada, (mm).

LDzr: lámina de agua disponible en la zona radicular efectiva, (mm/zr).

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal.

3.6.9. Lámina bruta – LB

Cada método de riego tiene su eficiencia típica. De acuerdo a la lámina de riego ajustada, LR (aj) (mm), y a la eficiencia del sistema de riego Ef (%), se determina la lámina de riego bruta, LB (mm) con la fórmula:

$$LB(mm) = \frac{LR(aj) (mm) * 100}{Ef (\%)} = 9.25 \text{ mm}$$

Dónde:

LB: lámina bruta, (mm).

LR (aj): lámina de riego ajustada, (mm).

Ef: eficiencia del sistema de riego, (%).

3.6.10. Dosis de riego bruto por área

La dosis bruta, DB (m³/Ha), se calcula a base de la lámina bruta, LB (mm), y el porcentaje del área bajo riego, Par (%), utilizando la siguiente fórmula:

$$DB(m^3/Ha) = \frac{LB (mm) * Par (\%)}{10} = 70.00 m^3/Ha$$

Dónde:

DB: dosis bruta, (m³/Ha bruta).

LB: lámina bruta, (mm) – (lt/m²)

Par: porcentaje del área bajo riego, (%).

3.6.11. Horas de riego por día – Hd

El total de horas de riego por día, Hd, se calcula con la siguiente formula:

$$Hd (h/día) = Td (turnos/día) * Ht (h/turno) = 5.35 h/día$$

Dónde:

Hd: horas de riego diarias, (horas/día).

Td: turnos por día, (turnos/día).

Ht: horas de riego por turno, (horas/turno).

3.6.12. Horas de riego por ciclo – Hc

Es el número de horas de operación del sistema de riego durante el ciclo de riego, con la siguiente formula:

$$Hc (h/ciclo) = CR (días/ciclo) * Ht (h/día) = 10.69 h/ciclo$$

Dónde:

Hc: horas de riego ciclo, (horas/ciclo).

CR: ciclo de riego, (días/ciclo).

Hd: horas de riego diarias, (horas/día).

3.6.13. Número de turnos por ciclo – Tc

Es el número de veces que es necesario poner en operación al sistema de riego para cubrir el área de riego, y se lo calcula con la siguiente formula:

$$Tc \text{ (turnos/ciclo)} = CR \text{ (días/ciclo)} * Td \text{ (turnos/día)} = \mathbf{4.0 \text{ turnos/ciclo}}$$

Dónde:

Tc: turnos de riego por ciclo, (turnos/ciclo).

CR: ciclo de riego, (días/ciclo).

Td: turnos por día; (turnos/día).

3.6.14. Superficie bajo riego por turno – St

Se obtiene dividiendo el área neta bajo riego en la parcela, Sr, entre el número de turnos, Tc, con la siguiente formula:

$$St \text{ (Ha/turno)} = \frac{Sr \text{ (Ha/ciclo)}}{Tc \text{ (turno/ciclo)}} = \mathbf{0.14 \text{ Ha/turno}}$$

Dónde:

St: superficie bajo riego por turno, (Ha/turno).

Sr: superficie total de riego por ciclo, (Ha/ciclo).

Tc: turnos de riego por ciclo. (turnos/ciclo).

3.6.15. Dosis de riego bruta por turno – DBt

Es el volumen de agua de riego por aplicar en un turno, y se aplica con la siguiente formula:

$$DBt \text{ (m}^3\text{/turno)} = St \text{ (Ha/turno)} * DB \text{ (m}^3\text{/Ha)} = \mathbf{10 \text{ m}^3\text{/Ha}}$$

Dónde:

DBt: dosis bruta por turno, (m³/turno).

St: superficie por turno de riego, (Ha/turno).

DB: dosis bruta, (m³/Ha).

3.6.16. Caudal requerido – Qr

Qr (m³/h) es el caudal requerido para el riego de la parcela, y se determina con la siguiente formula:

$$Qr \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{DBt \text{ (m}^3\text{/turno)}}{Ht \text{ (h/turno)}} = 4 \text{ m}^3\text{/h}$$

Dónde:

Qr: caudal requerido, (m³/hora).

DBt: dosis bruta por turno, (m³/turno)

Ht: horas de riego por turno, (horas/turno).

3.6.17. Descarga disponible en el sistema de riego – Qs

Dado el caso de que se pretenda modificar un sistema de bombeo en pie, para adaptarlo al método de riego deseado, se hace necesario comparar Qs (m³/h), la descarga disponible en la bomba, con el caudal requerido para el riego de la parcela, Qr (m³/h), por el nuevo método de riego, se aplica la siguiente formula:

$$Qr \text{ (m}^3\text{/h)} \leq Qs \text{ (m}^3\text{/h)}$$
$$4\text{m}^3\text{/h} \leq 200 \text{ m}^3\text{/h}$$

Dónde:

Qr: caudal requerido, (m³/h).

Qs: descarga disponible en el sistema de riego, (m³/h).

Si el caudal requerido, Qr excede a la descarga disponible en el sistema de riego – será necesario corregir los datos a base de los cuales se determina el régimen de riego, de tal manera que se haga posible abastecer el volumen requerido de agua en el tiempo disponible.

3.6.18. Número de emisores por turno – Emt

El número de emisores por turno se calcula en base a la descarga del sistema de riego, Q_r (m^3/h) y de la descarga del emisor, q_e (lt/h). Este es un dato que se utiliza para el diseño de los laterales de riego y se utiliza la siguiente formula:

$$E_{mt} \text{ (e/turno)} = \frac{Q_r \text{ (m}^3/h) * 1000}{q_e \text{ (lt/h)}} = 65 \text{ e/turno}$$

Dónde:

E_{mt} : emisores por turno de riego, (e/turno).

Q_r : caudal requerido ($m^3/hora$).

q_e : caudal del emisor, (lt/h).

El factor 1000 corrige las unidades del volumen.

3.6.19. Volumen bruto por ciclo de riego – VBc

Es el volumen total de agua requerido para satisfacer las necesidades del cultivo durante la época de mayor demanda de agua por el cultivo, y durante un ciclo de riego y se halla con la siguiente formula:

$$V_{Bc} \text{ (m}^3/\text{ciclo)} = DBt \text{ (m}^3/\text{turno)} * T_c \text{ (turno/ciclo)} = 39 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

Dónde:

V_{Bc} : volumen bruto por ciclo, ($m^3/ciclo$).

DBt : dosis bruta por turno, ($m^3/turno$).

T_c : turnos de riego por ciclo, (turnos/ciclo).

3.6.20. Caudal específico – Q_e

El caudal específico, Q_e ($m^3/h/Ha$), se obtiene dividiendo el caudal requerido, Q_r (m^3/h) entre el área total bruta, A (Ha) de la parcela.

Este dato no tiene aplicación directa en la determinación del régimen de riego, pero es un dato “promedio” utilizado por algunas instituciones responsables por la distribución del agua en proyectos regionales, etc. y tiene su origen en un sistema de distribución de agua el cual obliga al agricultor a aprovechar el máximo caudal durante el corto tiempo de entrega del agua a su predio. Por lo tanto, este dato debe siempre de ir acompañado por el dato referente al número de horas requerido para regar la parcela, ya que los sistemas de riego a presión utilizan caudales específicos reducidos, durante periodos relativamente prolongados.

$$Q_e \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{Q_r \text{ (m}^3\text{/h)}}{A \text{ (Ha)}} = 6.55 \text{ m}^3\text{/h}$$

Dónde:

Qe: caudal específico, (m³/hora).

Qr: caudal requerido, (m³/hora).

A: área bruta total de la parcela, (Ha).



CAPÍTULO IV.

RESULTADOS



4.1. Plano topográfico y superficie del terreno

Los aspectos generales del área del proyecto se detallan en la Tabla 3, con un cultivo de café establecido, la propuesta de este proyecto se desarrolló en un área total de 5475 m² (0.5475 ha). Para llevar a cabo el trabajo se procedió a dividir el área en dos parcelas, esto se da por las dos direcciones de siembra que está establecida cada una, quedando dividida de la siguiente manera 2737 m², que representa una superficie de 0.27 has.

Tabla 3. Aspectos generales del área del proyecto

Parámetro	U. de medida	Valor
Cultivo		Café
Área bruta	Ha	5475 m ² (0.5475 ha)
Área neta	Ha	5475 m ² (0.5475 ha)
Densidad de siembra	m ²	3 m x 2 m / 3 m x 1.5 m
Fuente de agua		Toma de agua ubicada a 139 m a la parcela
Tipo de riego		Microaspersión

En la Tabla 4, se muestran los datos de las características agroclimáticas de la zona, datos que se obtuvieron de la estación meteorológica perteneciente a la Estación Experimental Pichilingue, comprendidos del año 2018, donde se obtuvieron los datos promedios mensuales, los que son tomados como referencia para la elaboración del diseño agronómico.

Tabla 4. Características agroclimáticas de la zona del proyecto

Factores climáticos	Promedio
Temperatura promedio (°C)	25.3
Humedad relativa promedio (%)	82
Precipitación promedio (mm)	2256.4
Heliofanía promedio (horas-luz)	840.9

Nota: *Elaboración propia.*

Datos obtenidos del INAMHI, localizado en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, 2018.

En la Tabla 5, se muestran los valores obtenidos de las muestras hidrofísicas del suelo para la elaboración del diseño agronómico.

Tabla 5. Muestras hidrofísicas del suelo para la elaboración del diseño agronómico

Parámetro	U. de medida	Valor
Textura del suelo porcentaje de arena, limo y arcilla	%	31-37-32
Humedad a capacidad de campo	(% del Pss)	25
Humedad en el punto de marchitez	(% del Pss)	15
Agua disponible	%	1
Densidad aparente	(en g/cm ³)	1,2
Velocidad de infiltración del suelo	(mm/h)	4.62

Nota: *Elaboración propia.*

4.2. Disponibilidad de agua y energía

El aforo volumétrico realizado en la fuente de agua, que se encuentra ubicada a 100 m aproximadamente al área a trabajar fuente que alimentará al sistema, se comprobó que el caudal Q $15 \text{ m}^3/\text{h}$ (66 GPM), con un nivel estático de 10 m y estando en operación el pozo con un nivel dinámico de 22 m se cuenta con una estación de bombeo conformada de una Bomba Sumergible (Bomba Vertical o de lápiz) marca Franklin Electric 5 Hp de potencia con un caudal de $20.43 \text{ m}^3/\text{h}$ (90 GPM) y una presión de operación de 42.25 m.c.a (60 Psi).

Caudal del pozo: $\frac{15 \text{ m}^3}{h} * \text{Constante } 0.227 = 66 \text{ GPM}$

En la Tabla 6, se presentan los parámetros correspondientes al cultivo y valores generales para el diseño agronómico. Dichas las características del cultivo, la época de riego se entabla entre los meses de junio y diciembre, al considerarse de un cultivo perenne se consideró solo la profundidad radicular de 0.50 m y un coeficiente de cultivo KC de 1, de acuerdo a la densidad de siembra y a las direcciones de siembra se establece la primera dirección de siembra cuenta con 32 hilera de 30.94 m obteniendo un número de plantas de 330 plantas, la segunda dirección de siembra cuenta con 14 hileras de 58.91 m obteniendo un número de plantas de 275 plantas sumando las dos cantidades contamos con un número de 605 plantas en total.

Tabla 6. Parámetros del cultivo de café para el diseño agronómico

Parámetro	U. de medida	Valor
Tipo de cultivo		Café
Ciclo biológico (CB)	días	Fase donde se debe aplicar riego
Capa activa por fases (H)	m	0.5
Coeficiente de cultivo (KC)		1
Distancia entre plantas (dp en m)	m	3

Distancia entre hileras (dh en m)	m	2 – 1.5
Superficie de plantación (m ²)	m	6-4.5
Altura de cultivo	m	2
Número de hilera (Área 1)		32
Número de hilera (Área 2)		14
Número de planta por hilera (1)		330
Número de planta por hilera (2)		275
Número de planta por ha		605

Nota: *Elaboración propia.*

En la Tabla 7, se establecen los componentes y parámetros técnicos del sistema de riego por microaspersión, relacionados con los datos de las tuberías distribuidoras, principal, secundaria y laterales como así mismo del microaspersor utilizado. El microaspersor propuesto fue seleccionado a partir de las características técnicas del mismo, lo que permitió obtener un marco de riego adecuado, de acuerdo con el marco de plantación utilizado y lograr un alto porcentaje de la superficie óptimamente humedecida; así como garantizar un ahorro de agua sin afectar las necesidades hídricas del cultivo.

Tabla 7. Componentes y parámetros técnicos del sistema de riego

Parámetro	U. de medida		Valor
Datos tubería principal	Diámetro	mm	63
	Longitud	m	192
Datos de la tubería secundaria	Diámetro	mm	50
	Longitud	m	92
Datos de tubería lateral	Diámetro	mm	25
	Longitud	m	58

	Emisor		AQUASMART 2002
Datos de micro	Diámetro de boquilla	mm	1.33
	Carga	Psi	20
	Caudal	L/h	55
	Diámetro	m	4.5

Nota: Elaboración propia.

4.3. Diseño agronómico de un sistema de riego por microaspersión

Para la realización del diseño agronómico que permitió la determinación de los requerimientos hídricos del café se tomaron muestras de suelo para el respectivo análisis físico y químico en el laboratorio de suelos de la UTEQ, datos que sirvieron para elaboración del diseño agronómico, así como la utilización del software AUTOCAD que nos permitió plasmar el diseño hidráulico una vez realizados los cálculos correspondientes, de la misma manera se utilizó el manual: Calculo de las necesidades de riego escrito por Dr. Albert Avidan PhD., proporcionando los siguientes resultados:

- **Evapotranspiración del cultivo:** 2.10 mm/días -1
- **Dosis de riego:** 70 m³/ha.
- **Intervalo de riego:** 8 días
- **Considerando el periodo de riego de 180 días se obtiene que el número de riego a aplicarle al cultivo en la época seca sea de 23.**
- **Lámina de riego:** Lámina máxima de agua 9.25 mm equivalentes a 74 m³/ha de agua pasando 8 días.
- **Tiempo de riego:** 2.5 hora.

El diseño hidráulico consiste en determinar los siguientes aspectos:

- **Diámetro de la tubería:** Una vez realizados los cálculos correspondientes se determinó que el diámetro de la tubería principal es de 63 mm, tubería secundaria 50 mm y para las laterales 25 mm.
- **Pérdida de carga:** Los cálculos pertinentes para la pérdida de carga se estableció en 1.36 mca. (metros columna de agua).
- **Presión necesaria:** Los cálculos para determinar la presión necesaria arrojaron como resultado que la presión mínima para el funcionamiento es de 21.03 m.c.a (29.86 PSI).

4.4. Discusión

Se diseñó y se programó un sistema de riego por microaspersión logrando cumplir con los objetivos planteados en este proyecto, realizando el diseño y cálculos para la posterior programación del sistema de riego por microaspersión dirigido al cultivo de café del Campus “La María”, mediante el análisis respectivo de los datos se encontró que la velocidad de infiltración del suelo obtenida es de 4.62 mm/hora con un tipo de suelo Franco Arcilloso, por lo cual el sistema de riego no presentaría problemas al momento de ser instalado, según la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), indica que un suelo de tipo textural Franco Arcilloso tiene una velocidad de infiltración de 7 a 10 mm/hora, por lo que el resultado obtenido se acerca a este valor y de esa forma se asegura que toda el agua aplicada se infiltre.

La fuente principal de abastecimiento de agua para riego (pozo profundo), genera un caudal de 15 m³/h lo que permitiría la aplicación del volumen de agua disponible de 600 m en el ciclo vegetativo del cultivo de café; permitiendo de esta manera el abastecimiento y aplicación permanente de agua por medio del sistema de riego por microaspersión una vez que este se encuentre instalado.

El cultivo de café cuenta con dos sistemas de plantación, en este caso podemos denominar al primer sistema que corresponde a una plantación de 3 m x 2 m que corresponde a 0.30 has, mientras que el segundo sistema corresponde a un área de 0.24 has con un marco de plantación de 3 m x 1.5 m, lo que determinaría realizar una programación de riego a ambos sistemas de plantación.

Los requerimientos hídricos del cultivo recomendados por (FAO, 2012) indica que para una zona con una altitud de 1800 m, el requerimiento hídrico es de 57 mm, mientras que en zonas con altitud 1000 m los requerimientos hídricos pueden llegar 135 mm mensuales, lo que difiere en relación a las condiciones del proyecto donde la altura y el clima en la zona de Quevedo alcanza los 63 mm mensuales.

Los datos agroclimáticos que se obtuvieron del INAMHI localizado en la Estación Experimental Tropical Pichilingue fueron: Temperatura con un promedio de 25.3 °C, humedad relativa de 82 %, precipitación de 2256.4 mm, evaporación de 86.0 mm, heliofanía 840.9 horas/luz, información que no debe ser aplicada para una zona distinta en relación de los factores de climas mencionados.

El diseño de las tuberías se encuentra relacionado con los requerimientos hídricos del cultivo de café, donde al principio se seleccionó un microaspersor cuyo caudal es de 20 lt/h llegando a una precipitación horaria de 1.61 mm, sin embargo, se consideró que el tiempo de riego utilizando aquel microaspersor se iba a prolongar por lo que se dispuso en escoger un microaspersor con un mayor caudal que ronde los 55 lt/h y cuya precipitación horaria es de 3.46 mm acercándose acertadamente a la velocidad de infiltración del suelo de 4.62 mm como lo mencionan (Mendoza & Bermúdez, 2015).

Los cálculos de pérdidas de cargas en m.c.a variaron al inicio cuando se estaba proponiendo utilizar tuberías de 50 mm como tubería principal

obteniendo datos de m.c.a de 3.24 por lo que se tomó la decisión de utilizar tuberías 63 mm para que los datos que reflejaron después fueran inferiores o igual a 1.61 m.c.a

Existe un pozo de abastecimiento de agua para riego de $15\text{m}^3/\text{h}$ ya establecido con una bomba eléctrica Franklin electric de 5 Hp de fuerza con una descarga de $20.43\text{ m}^3/\text{h}$ (90 GPM) que es más que suficiente para el abastecimiento de riego diario, y que podría diferir si se utiliza una fuente de abastecimiento superficial con una bomba de centrifuga superficial.



CAPÍTULO V.
CONCLUSIONES



5.1. Conclusiones

- En el diseño hidráulico se determinó que las tuberías para la conducción del agua van desde la tubería principal con diámetro 63 mm y una longitud de 192 m lineales para las dos áreas con una pérdida de carga de 1.61 m.c.a, así como, la tubería secundaria de 50 mm, longitud de 92 m lineales en la primera área y en la segunda área con una longitud de 40 m y diámetro de 50 mm, representando una pérdida de carga de 2.33 m.c.a, para los laterales de las dos áreas se emplean tuberías de 25 mm contemplando una pérdida de carga de 0.0080 m.c.a, quedando así compuesto el diseño del sistema de riego.
- Los cálculos que se obtuvieron en el diseño agronómico son: Lámina de agua disponible 60 mm/zr, lámina de agua aprovechable 24 mm/zr, Volumen agua disponible 600 m³/Ha/zr, Volumen agua aprovechable 240 m³/Ha/zr, precipitación horaria del microaspersor 3,46 mm/h, valor de infiltración de suelo 4.62mm/h.
- Una vez calculada la programación se determinó la dosis de riego de 70 m³/ha, números de turno de riego 2, caudal de 4 m³/h, presión de 21.03 m.c.a (29,86 PSI)., cuyos datos son necesarios para el buen funcionamiento del sistema e intervalo de 1 día para aplicar riego en el cultivo de café para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo en periodos de sequía.

BIBLIOGRAFÍA

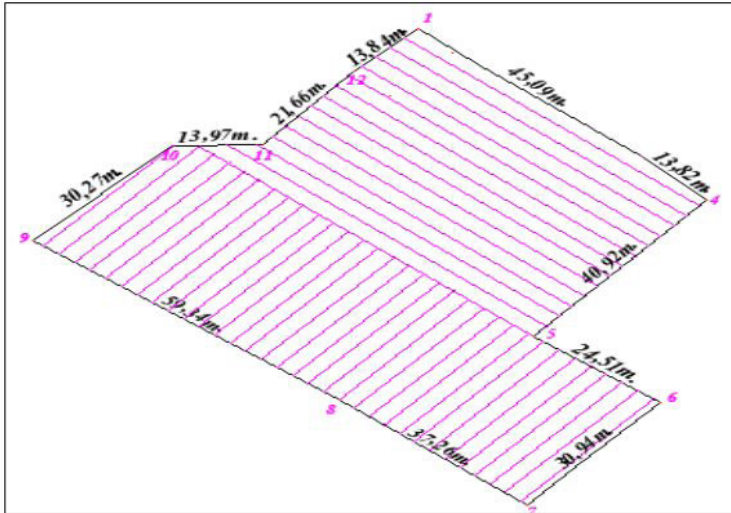
- Alcarria, T. (2017). Modernización de la instalación de riego para cultivo de almendro en el término municipal de Turís (Valencia). Valencia.
- Alvarado Batres, C., & Barahona Palomo, M. (2016). Compración de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Slavador. Scielo.
- Andrades, M., Moliner, A., & Masaguer, A. (2015). Prácticas de edafología: Métodos didácticos para análisis de suelos. Universidad de La Rioja.
- Angella, G., & Salgado, R. (2016). Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta. Cordoba: INTA EDICIONES.
- Assan, M., & Gorosito, S. (2018). Relación agua-suelo-planta. Argentina: Serie Didáctica N° 1.
- Cadena, V. (2014). Hablemos de riego con los agricultores. Ecuador: GRAFICOLOR.
- Cadena, V. (2016). Hablemos de riego. Quito: El Telegrafo EP.
- Calvache, M. (2016). Manejo del agua: principios fundamentales. Quito.
- CENICAFE. (2014). La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones. Colombia.
- Chávez, S. (2015). Cálculo de la evapotranspiración mediante tres métodos y determinación de las necesidades de riego en los cultivos de pepino y pimiento en la finca La María. (tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Cid Lazo, G., Herrera Puebla, J., López Seijas, T., & González Robana, F. (2018). Estimación del agua disponible para las plantas en suelos cubanos en función de la textura predominante. Rev. Ciencias Téc. Agrop. Vol. 27 , 1-7.
- Cisneros, E., Rey , R., Martínez , R., López, T., & González , F. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río. Rev. Ciencias Tec. Agropecuarias, pp. 23-30.
- CLAC. (2017). Manual de uso sostenible del agua por productores de comercio justo.
- Cuenca, W. (2015). Mejoramiento del sistema de riego en la "línea de conducción" de la asociación de trabajadores agrícolas Larcachaca cantón Cayambe. (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito.

- De Lima, R. (2015). Relación suelo - planta - agua. Río negro, Argentina: Ediciones INTA.
- Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. Catamarca: Ediciones INTA.
- Duicela, L., Corral, G., & Chilán, W. (2015). Selección de cabezas de clon en café robusta (*Coffea canephora*) en el trópico seco, Ecuador. *Rev. Españciencia*, 1-13.
- Duicela, L., García, J., Rubén, C., Farfán, D., & Fernández, F. (2009). Calidad física y organoléptica de los cafés robustas ecuatorianos.
- Durán, A. (2015). Mejoramiento de la "red de distribución" del sistema de riego de la asociación de trabajadores agrícolas Larcachaca catón Cayambe. (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- FAO. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Roma.
- Fernández, F. (2017). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo del cultivo de Café Robusta (*Coffea canephora* P.). Orellana, Ecuador: Guía de aprendizaje No. 008. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 134 páginas.
- Flores, I. (2019). Aplicación del algoritmo genético para el cálculo del diametro de las tuberías de una red de distribución de agua en el distrito de Tarapoto 2018. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto.
- Fuentes Yague, J., & García Legaspi, G. (2004). Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México: Mundi-Prensa.
- Gómez, G., Munive, R., Mallma, T., & Orihuela, C. (2014). Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. *Apunt. cienc. soc.*, 1-12.
- Hernández, L. (2016). Punto de marchitez permanente. Saltillo, México.
- INIA. (2015). Semana de la ciencia y tecnología. Tucumán.
- Iñoñan, P. (2015). Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café en el sector Quebradonda - Catache - Santa Cruz - Cajamarca. (tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
- Jimenez, R. (2014). Determinación de la compatibilidad genética en nueve materiales superiores de café robusta (*Coffea canephora* L.). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Loaiza, C. (2016). Diseño hidráulico del sistema de riego para la comunidad Celel, cantón Chordeleg. (tesis de pregrado). Universidad Católica de Cuenca, Cuenca.
- Marín, G. (2012). Producción de cafés especiales. Manual Técnico. Lima.

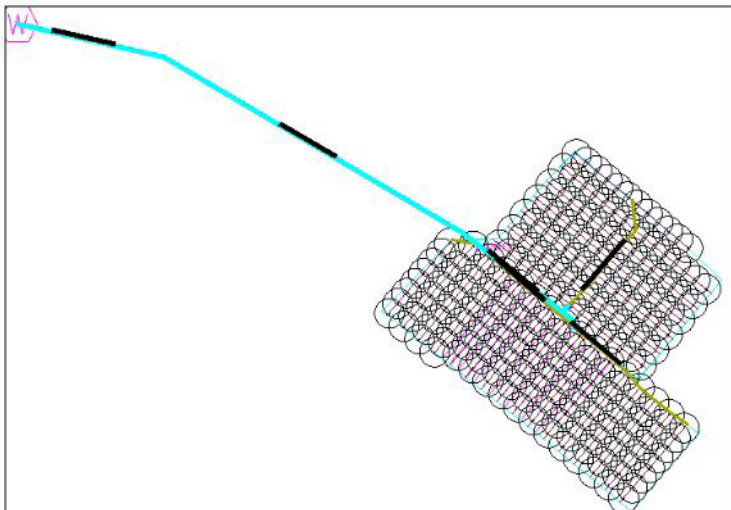
- Masaquiza, C. (2019). Caracterización morfológica y molecular de hongos asociados a la rizósfera de plantas de café en la isla Santa Cruz-Galápagos. (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- MDSF. (2016). Metodología formulación y evaluación de proyectos de riego. Chile.
- Mendoza, J., & Bermúdez, J. (2015). Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por microaspersión en café (*Coffea arábica* L.) en la ESPAM MFL. (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta.
- MINAGRI. (2017). Formulación de ficha técnica específica simplificada "mejoramiento del sistema de riego parcelario" (riego tecnificado).
- Nuñez, A. (2015). Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima.
- Ojeda, A., McLeod, C., Águila, K., & Pino, M. (2018). Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo de calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico. Punta arenas, Chile: INIA Kampenaike, Informativo 79.
- Ramírez, V., & Arcila, J. (2014). Criterios para definir la densidad máxima de siembra en café. Manizales, Colombia.
- Robles, W. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de riego por aspersión y goteo en cultivos perennes en la granja El Palto del colegio de bachillerato Macará, del cantón Macará. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja.
- Rojo, E. (2014). Café I (*G. Coffea*). Rev. Biología, 1-20.
- Saborio, L. (2018). Diseño de un sistema de conducción y de dos sistemas de riego para café en el centro de investigación del café de Costa Rica. (tesis de pregrado) de. Cartago.
- Santistevan, E., & Vera, W. (2013). Caracterización fenotípica de 33 clones de café robusta (*Coffea canephora*) en la comuna Rio Verde, cantón Santa Elena. (tesis de pregrado). Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad.
- Santistevan Méndez, M., Julca Otiniano, A., Borjas Ventura, R., & Tuesta Hidalgo, O. (2014). Caracterización de fincas cafetaleras en la localidad de Jipijapa (Manabí, Ecuador). Ecol. apl. Vol. 13, pp. 187-192.
- SENAGUA. (2017). Guía metodológica para la formulación de proyectos de riego y drenaje.
- Silva, P., Silva, H., Garrido, M., & Acevedo, E. (2015). Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y sus uso por los cultivos. Santiago.

- Tapia, D. (2014). Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado. (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Tartabull Puñales, T., & Betancourt Aguilar, C. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. pp. 47-61.
- Vanegas, F. (31 de agosto de 2016). Conoce el clima óptimo para un cultivo de café. Colombia.
- Vázquez, A. (2011). El café: Nuevas aplicaciones en 15 recetas de sal y dulce. (monografía de grado). Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Veintimilla, F. (2015). Cálculo y diseño de un sistema de riego para diferentes cultivos en la granja experimental Limoncito. (tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Venegas Sánchez, S., Orellana Bueno, D., & Pérez Jara, P. (2017). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. Rev. Cient. de Inv. del mundo de las Ciencias, pp. 72-91.
- Venegas Sánchez, S., Orellana Bueno, D., & Pérez Jara, P. (2018). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. Recimundo, pp. 72-91.
- Vignola, R., Watler, W., Poveda, K., & Vargas, A. (2018). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de café en Costa Rica. Costa Rica.
- Zambrano, J., & Zambrano Sergio. (2012). Evaluación del sistema de riego por microaspersión implementado en el Jardín Clonal de Cacao (*Theobroma cacao* L) ESPAM MFL. (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta.
- Zotarelli, L., Dukes, M., & Morgan, K. (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. Agricultural and Biological Engineering.

ANEXOS



Anexo 1. Esquema de dirección de siembra del cultivo de café en el Campus “La María”.



Anexo 1. Croquis del diseño hidráulico del sistema de riego.





























Anexo 5. Obtención del peso de las muestras y posterior colocación en la estufa.



Anexo 6. Colocación de las muestras en los envases para el respectivo análisis.

Diseño de un sistema de riego por microaspersión en el cultivo de café (*Coffea canephora*) en el campus La María, Cantón Mocache - Ecuador.

Difusores estáticos Rotores						
90°	180°	Neblina	En franjas	Corto alcance	Plano	12 Chorros
						
						
Rotores						
Pequeño	Contra hormiga	Lado único Negro	Lado único Azul	Grande	Invertido	
						
						

Anexo 7. Tipos de difusores estáticos rotores.






AQUASMART 2002
Microaspersor autocompensado
APLICACIONES
Para óptimo riego subterráneo

ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS

- Riego constante entre presiones de 1.5 a 4 bar
- Riego y fertigración uniformes bajo todas las condiciones topográficas del terreno
- Amplio gama de caudales y patrones de distribución
- Cabezal "pop-up" (sumergente) a prueba de insectos
- Estructura sólida y resistente
- De fácil armado y desarmado
- Estaca de diseño innovador
- Estaca nueva con grapa de sujeción y accesorio para corte del agua
- Rotor especial (difer. vertid) para funcionamiento invertido
- Control de diámetro de colectora de fino escape
- Resistencia al intemperismo, sin enroscados

Anexo 8. Características específicas del microaspersor AQUASMART 2002.

UNIFORMIDAD DE RIEGO (m)

			Naranja*	Negro	Azul	Verde (invertido)**	Rojo
Color de boquilla	Caudal (l/h)	Boquilla (mm)					
Violeta	28	0.84	3.0	3.5			
Gris	20	1.00	3.0	4.0	4.5	5.0	
Marrón	35	1.10	3.5	4.0	5.0	5.0	
Azul	47	1.25	3.5	4.5	5.5	5.0	
Verde	55	1.33	3.5	4.5	6.0	5.0	
Naranja	70	1.48		5.0	7.0	5.0	
Amarillo	95	1.75		5.5	7.5	5.0	
Rojo XL	35	0.94					7.0
Negro XL	40	1.00					7.0
Marfil XL	47	1.10					7.0

Anexo 9. Uniformidad de riego de los diferentes tipos de boquillas.

Ø Boquilla (mm)	20		25		32		42		50		63		75	
	Q ₁	Q ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₁	Q ₂
0.08	1.27	0.85	0.32											
0.10	1.59	1.29	0.40											
0.12	1.90	1.80	0.48	0.54	0.29									
0.14	2.22	2.40	0.56	0.72	0.34									
0.16	2.54	3.07	0.64	0.92	0.39									
0.26	4.12	7.54	1.04	2.26	0.64	0.61	0.37							
0.36	5.71	13.78	1.45	4.13	0.88	1.12	0.52							
0.46	7.29	21.70	1.85	6.50	1.13	1.76	0.66							
0.56	8.88	31.23	2.25	9.35	1.37	2.54	0.80	0.80	0.50					
0.66	10.46	42.34	2.65	12.68	1.62	3.44	0.95	1.08	0.59					
0.81	12.84	61.87	3.26	18.53	1.98	5.03	1.16	1.58	0.72					
0.96	15.22			25.38	2.35	6.89	1.38	2.16	0.86	0.72	0.54			
1.11	17.59			33.21	2.72	9.02	1.59	2.81	0.99	0.94	0.63			
1.26	19.97			42.00	3.09	11.40	1.81	3.58	1.12	1.19	0.71			
1.41	22.35			51.73	3.45	14.04	2.02	4.41	1.26	1.47	0.80			
1.61	25.52					17.95	2.31	5.64	1.43	1.87	0.91	0.60	0.57	
1.81	28.69					22.30	2.60	7.00	1.61	2.33	1.03	0.75	0.64	
2.01	31.86					27.08	2.88	8.50	1.79	2.82	1.14	0.91	0.72	
2.21	35.03					32.28	3.17	10.14	1.97	3.37	1.25	1.09	0.79	
2.41	38.20							11.90	2.15	3.95	1.37	1.27	0.86	0.58
2.66	42.16							14.29	2.37	4.75	1.51	1.53	0.95	0.62
2.91	46.12							16.88	2.59	5.61	1.65	1.81	1.04	0.73
3.16	50.09									6.53	1.79	2.11	1.13	0.85
3.41	54.05									7.52	1.93	2.42	1.21	0.98
3.66	58.01									8.57	2.07	2.76	1.30	1.12
3.96	62.77									9.92	2.24	3.20	1.41	1.29
4.25	67.52									11.35	2.41	3.66	1.52	1.48
4.56	72.28									12.88	2.58	4.15	1.62	1.68
4.86	77.03											4.67	1.73	1.89
5.16	81.79											5.22	1.84	2.11
5.56	88.13											6.00	1.98	2.43
5.96	94.47											6.82	2.12	2.76
6.36	100.81											7.69	2.26	3.11
6.76	107.15											8.61	2.41	3.49
7.16	113.49											9.58	2.55	3.88
7.66	121.41													4.39

Anexo 10. Tabla de pérdidas de carga catalogo PLASTIGAMA.

Riego de Cultivos

Cultivo: Café
Sistema de riego: Microaspersión

	UNIDAD	VALOR
A (área bruta)	Ha	0,55
Sr (área neta bajo riego)	Ha	0,55
Tipo de suelo	textura	Franco Arcilloso
Cc (Capacidad de campo)	%	25
Pm (Punto de marchites)	%	15
Pea (Peso específico aparente)	(gr/cm ³)	1,2
Inf (Infiltración básica)	mm/h	4,62
Pr (profundidad efectiva del suelo)	m	1,50
Etan (Evaporación media diaria del tanque clase "A")	mm/d	3,00
Viento > 3m/s	d(h)a(h)	2
HR(humedad relativa)	%	
Fuente de agua		pozo
Caudal	(m ³ /h)	15,00
Calidad	mg/lit	
Kc (El coeficiente del cultivo)	coeficiente	1
Zr (Prof.ef.de raíces)	m	0,5
Pa (max.agua aprovechable)	%	40%
dh (Distancia e/hileras)	m	3,00
dp(Distancia e/plantas)	m	1,50
Espaciamento- área	m ²	4,50
Método de riego		microaspersión
Ef (Eficiencia del sistema)	%	90,00%
Emisor	tipo	AQUASMART
Presión de operación	m(altura)	2002
qe (Caudal del emisor)	(L/h)	25,00
dl (Espaciamento entre laterales)	m	55,00
de (Espaciamento entre emisores)	m	6,00
Espaciamento de la red	m ²	3,50
d Diámetro efectivo/humedecido	m	21,00
Angulo de cobertura	grados	4,50
Hd (Max. horas de operación por día)	H	360,00
días de paro	d	24,00
Ldzt (Lamina disponible de la zona radicular)	mm/zr	1,00
Vdzt (Volumen de agua disponible -zona radicular)	(m ³ /Ha/zr)	60,00
		600,00

Lazr (Lamina aprov. a la prof. radicular)	mm/zr	75,7%	24,00
Par (Porcentaje del área bajo riego)	%	15,90	75,7%
Phr (Precipitación horaria del sistema de riego)	mm/h	CIERTO	3,46
Ktan (Coeficiente del tanque clase "A")			0,70
ETc (Uso consuntivo)	mm/día		2,10
Ir (Intervalo de riego)	d		8,65
Ir aj(Intervalo de riego aj.)	d		3,00
CR (Ciclo de riego)	d		2,00
LR(aj) (Lamina de riego ajustado)	mm		8,32
Pa (Porcentaje del agua aprovechada)	%		13,87%
LB (Lamina bruta)	mm		9,25
DB (Dosis de riego bruta)	(m ³ /Ha)		70,00
Ht (Horas de riego por turno)	h/turno		2,67
Td (Max. numero de turnos de riego diarios)	turno/día		8,98
Td aj(Max. numero de turnos de riego diarios ajustado)	turno/día		2,00
Hd (Horas de riego por día)	h/día	CIERTO →	5,35
Hc (Horas de turnos por ciclo)	h/ciclo		10,69
Tc (Numero de turnos por ciclo)	turnos/ciclo		4,00
St (Superficie bajo riego, por turno)	Ha/turno		0,14
DBt (Dosis de riego bruta por turno)	(m ³ /turno)		10
Qr (Caudal requerido)	(m ³ /h)	CIERTO	4
Emt (Numero de emisores por turno)	e/turno		65
VBc (Volumen bruto por ciclo de riego)	(m ³ /ciclo)		39
Qe (Caudal específico)	(m ³ /Ha/h)		6,55
	(l/Seg/ha)		1,82

Anexo 11. Tabla de datos del respectivo diseño agronómico del sistema de riego por microaspersión.



Dr. EDUARDO DÍAZ OCAMPO, Ph.D.
RECTOR

Ing. YENNY GUISELLI TORRES NAVARRETE, Ph.D.
VICERRECTORA ACADÉMICA

Ing. BOLÍVAR ROBERTO PICO SALTOS, M.Sc.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Econ. CARLOS EDISON ZAMBRANO, Ph.D.
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN - DICYT

