Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento de Agricultura

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION DEL CULTIVO DE PLATANO (MUSA PARADISIACA) VARIEDAD CEMSA ¾ EN LA FINCA AGRICOLA EXPERIMENTAL UNI (FAE) EN LA COMUNIDAD LA BOLSA DEL MUNICIPIO DE MASAYA”.

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Agrícola

Elaborado por:

Br. Elías Moisés Obando Trejos
Carnet: 2019-0528U

Br. Silverio Raúl Moreno Aguirre
Carnet: 2020-0493U

Tutor:

Ing. Walter Arnulfo Solórzano Guerrero

12 de marzo 2026
Managua Nicaragua

INDICE

I. INTRODUCCIÓN 1

II. ANTECEDENTES. 2

III. JUSTIFICACIÓN. 3

IV. OBJETIVOS. 4

4.1 Objetivo general. 4

4.2 Objetivos específicos. 4

V. MARCO TEORICO. 5

5.1 Generalidades del cultivo 5

5.1.1 Cultivo de plátano. 5

5.1.2 Origen del cultivo de plátano. 5

5.1.3 Taxonomía del cultivo de plátano. 6

5.1.4 Requerimientos edafoclimáticos. 6

5.1.5 Variedad CEMSA ¾. 7

5.1.6 Principales zonas de producción. 7

5.2 Generalidades del sistema de riego. 9

5.2.1 Sistema de riego por micro aspersión. 9

5.2.2 Componentes del riego por microaspersión. 10

5.2.3 Características hidráulicas del micro aspersor. 14

5.2.4 Ventajas y desventajas del sistema de riego por micro aspersión. 14

5.2.5 Factores que afectan a la eficiencia del riego por micro aspersión. 15

5.2.6 Marcos de riego en sistemas de riego por micro aspersión. 16

5.2.7 Criterios para la selección de micro aspersores. 18

5.3 Propiedades edáficas del suelo. 18

5.3.1 Textura de suelo. 19
5.3.2 Profundidad radicular del suelo. 20
5.3.3 Densidad real. 20
5.3.4 Densidad aparente. 20
5.4 Propiedades hidro físicas del suelo. 21
5.4.1 Capacidad de campo. 21
5.4.2 Punto de marchitez permanente. 21
5.4.3 Velocidad de infiltración. 21
5.5 Condiciones topográficas. 21
5.6. Diseño agronómico. 22
5.6.1 Evaporación 23
5.6.2 Transpiración. 23
5.6.2 Coeficiente del cultivo. 23
5.6.3 Evapotranspiración. 24
5.6.4 Evapotranspiración de referencia. 24
5.6.5 Evapotranspiración real. 25
5.6.6 Lamina de riego. 25
5.6.7 Intensidad de aplicación de riego. 26
5.6.8 Caudal por hectárea. 26
5.6.9 Tiempo de riego. 26
5.6.10 Turnos de riego. 26
5.6.11 Frecuencia de riego. 27
5.7 Diseño geométrico. 27
5.7.1 Red de distribución. 27

5.8 Diseño hidráulico. 27
VI. DISEÑO METODOLOGICO. 29
6.1 Diseño de investigación. 29
6.1.1 Según el enfoque de la investigación. 29
6.1.2 Según en alcance de los resultados. 29
6.1.3 Según el tiempo de ocurrencia. 30
6.2 Ubicación y área de estudio. 31
6.2.1 Macro localización. 31
6.2.2 Micro localización. 32
6.3 Metodología. 32
6.3.1. Muestreo de suelos. 33
6.3.2 Determinación de la velocidad de infiltración. 34
6.3.3 Determinación para el levantamiento topográfico del área en estudio... 34
6.3.4 Determinación para el diseño de riego por microaspersión. 34
6.3.5 Diseño geométrico para el diseño de sistema de riego por micro aspersión. 42
6.3.6 Diseño hidráulico para el diseño de sistema de riego por micro aspersión. 42
6.3.7 Diseño metodológico para determinar costos de inversión. 43
VII. ANALISIS Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS. 44
7.1 Delimitación y análisis topográfico del área de estudio. 44
7.1.1 Estudio y medición de las características topográficas del área en estudio. 44

7.1.2 Generación de curvas de nivel para el análisis topográfico del terreno. 45
7.2 Datos generales del equipo de bombeo. 46
7.3 Determinación de las propiedades hidrofísicas del suelo. 47
7.4 Parámetros de diseño del sistema de riego de la zona en estudio. 49
7.4.1 Determinación de la Evapotranspiración (Eto). 49
7.4.2 Coeficiente del cultivo (KC). 50
7.5 Velocidad de infiltración. 50
7.6 Diseño del sistema de riego por micro aspersión. 52
7.6.1 Diseño agronómico. 52
7.6.2 Diseño geométrico. 59
7.6.3 Diseño hidráulico. 60
7.7 Costos de inversión. 66
7.7.1 Cálculo de los materiales necesarios para la implementación del sistema de riego por microaspersión. 67
VIII. CONCLUSIONES. 78
IX. RECOMENDACIONES 80
X. BIBILOGRAFIA. 81
XI. ANEXOS. I
11.1 ANEXOS DE FIGURAS. I
11.2 ANEXO DE TABLAS. X
11.3 ANEXO DE PLANOS. XIV

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Zonas de Producción de Nicaragua.* 8
Tabla 2. *Constantes Hidrológicas de los Suelos.* 19
Tabla 3. *Métodos Para Determinar la ETP de Referencia.* 25
Tabla 4. *Información del sistema de bombeo.* 46
Tabla 5. *Características generales de las propiedades hidrofísicas del suelo.* 47
Tabla 6. *Kc del cultivo de plátano.* 50
Tabla 7. *Parámetros de velocidades de infiltración.* 51
Tabla 8. *Datos del sistema de riego.* 52
Tabla 9. *Datos edáficos.* 53
Tabla 10. *Datos ambientales* 53
Tabla 11. *Resumen del Diseño agronómico del sistema de riego.* 59
Tabla 12. *Perdidas por fricción calculadas del sistema* 64
Tabla 13. *Carga total dinámica.* 65
Tabla 14. *Longitudes de tuberías de conducción PVC* 67
Tabla 15. *Longitudes de tuberías de manifold PVC* 67
Tabla 16. *Presupuesto de materiales PVC* 68
Tabla 17. *Lista de materiales riego* 70
Tabla 18. *Miscelánea.* 72
Tabla 19. *Costo de instalación.* 74
Tabla 20. *Costo total del proyecto.* 76
Tabla 21. *Datos Climáticos.* X
Tabla 22. *Velocidad de Infiltración.* XI
Tabla 23. *Tabla de Diámetros Internos de Tuberías PVC.* XII
Tabla 24. *Perdidas de carga.* XIII

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. *Sarta de Descargar con Sistema de Filtrado.* 11
Figura 2. *Caballete doble con válvulas de control hidráulico y válvulas de aire.* 12
Figura 3. *Lavado Final.* 13
Figura 4. *Componentes de un Micro aspersor.* 13
Figura 5. *Marco de riego rectangular.* 16
Figura 6. *Marco de Riego Rectangular.* 17
Figura 7. *Marco de Riego Triangular.* 17
Figura 8. *Macro Localización.* 31
Figura 9. *Micro Localización.* 32
Figura 10. *Delimitación del polígono del área en estudio.* 45
Figura 11. *Determinación de textura de suelo utilizando el triángulo textural.* 47
Figura 12. *Determinación de la evapotranspiración mediante el uso del sotfware cropwat.* 49
Figura 13. *Método del Cilindro.* I
Figura 14. *Métodos de Laboratorios Determinación de Textura de Suelos.* II
Figura 15. *Picnómetro.* III
Figura 16. *Determinación de Velocidad de Infiltración Método del Cilindro.* III
Figura 17. *Desarrollo de Cultivo de Plátano*. IV
Figura 18. *Cotización.* V
Figura 19. *Grafica de Perdida de Carga Filtro Azud Helix System Discos.* VI
Figura 20. *Ficha Técnica Filtro Azud Helix System Modelo 4N.* VI
Figura 21. *Ficha Técnica del Micro Aspersor Aquamaster 2005.* VII
Figura 22. *Ficha de Válvula Hidráulica.* VIII
Figura 23. *Ficha Técnica de Manguera de Polietileno.* IX
Figura 24. *Ficha Técnica de Manguera de Polietileno.* IX

INDICE DE FORMULAS.

Formula 1. *Déficit del cultivo.* 35
Formula 2. *Intensidad de Aplicación.* 35
Formula 3. *Lamina de Riego.* 36
Formula 4. *Tiempo de riego.* 36
Formula 5. *Caudal por Hectárea.* 36
Formula 6. *Caudal Total.* 37
Formula 7. *Área de la Válvula.* 37
Formula 8. *Caudal de la válvula.* 38
Formula 9. *Numero de Turnos.* 38
Formula 10. *Jornada de Riego.* 38
Formula 11. *Diámetro económico.* 39
Formula 13. *Lamina Neta.* 40
Formula 14. *Demanda Hídrica Bruta.* 40
Formula 15. *Lamina Neta Corregida.* 40
Formula 16. *Área del Turno.* 41
Formula 17. *Caudal del Turno.* 41
Formula 18. *Perdidas por fricción Hazen-Williams* 42

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo monográfico a tres mujeres maravillosas que son las únicas personas incondicionales que me han ayudado y querido por sobre todas las cosas las cuales son mi abuela **Luz Marina Muñoz**, mi madre **Mildred Yessenia Trejos** y **Ileana Mendoza Centeno** que me han acompañado en este largo y difícil trayecto que es la vida universitaria donde aprendí, sufrí, reí, y salí adelante por sobre todas las adversidades económicas.

Br. Elías Moisés Obando Trejos

Dedico esta monografía a mis padres, **Silverio José Moreno García** y **Aurelia Justina Aguirre Henrríquez**, pilares fundamentales en mi vida. Su esfuerzo constante, su ejemplo de perseverancia y sus enseñanzas han guiado cada uno de mis pasos. Gracias a su apoyo inquebrantable y a la confianza depositada en mí, he podido enfrentar los retos con firmeza y determinación. Esta obra representa no solo un logro personal, sino también el fruto de sus sacrificios y de los valores que me han inculcado.

Br. Silverio Raúl moreno Aguirre

AGRADECIMIENTO.

A Dios, creador de todo lo que existe, por darme la fortaleza necesaria para seguir adelante.

A nuestras familias, por estar siempre a nuestro lado brindándome apoyo y escuchándome en cada etapa de este proceso.

A las personas especiales que me acompañaron y me respaldaron a lo largo de los años de mi formación.

A mis amigos y compañeros, quienes sin esperar nada a cambio me ofrecieron su ayuda, consejos, palabras de aliento y tiempo para que pudiera alcanzar mi meta.

A todos los docentes que nos compartieron sus conocimientos durante estos años de universidad, demostrando dedicación y esfuerzo dentro y fuera del aula.

Finalmente, a nuestro tutor, **Ing. Walter Arnulfo Solórzano Guerrero**, por su valiosa guía, sus consejos y su acompañamiento cercano en el desarrollo de este trabajo, no solo como tutor, sino también con la amabilidad de un amigo.

Br. Silverio Raúl Moreno Aguirre

I. INTRODUCCIÓN

El diseño de un sistema de riego eficiente es esencial para la optimización de recursos hídricos y el incremento en la productividad agrícola. En el contexto del cultivo de plátano (Musa paradisiaca), particularmente la variedad CEMSA ¾, la implementación de un sistema de riego por microaspersión se presenta como una solución efectiva para asegurar una distribución uniforme del agua, ajustada a las necesidades específicas del cultivo.

Este proyecto de monografía tiene como objetivo principal diseñar un sistema de riego por microaspersión para la Finca Agrícola Experimental UNI, ubicada en la comunidad La Bolsa, municipio de Las Flores, departamento de Masaya. A través de este diseño, se busca no solo satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo de plátano, sino también optimizar los recursos disponibles, maximizar el rendimiento del cultivo y garantizar la sostenibilidad del sistema agrícola.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de mejorar las prácticas de riego en la región, enfrentando desafíos como la variabilidad climática y la escasez de agua. Además, la implementación de tecnologías eficientes de riego puede contribuir significativamente a la productividad y rentabilidad del cultivo de plátano, un alimento de gran relevancia económica y nutricional en Nicaragua.

A lo largo de este documento, se analizarán las condiciones topográficas de la zona de estudio, se elaborará un diseño agronómico, geométrico e hidráulico del sistema de riego, y se calculará el costo de inversión necesario para su implementación. Con estos análisis, se pretende proporcionar una guía práctica y técnicamente viable para la mejora de las técnicas de riego en la Finca Agrícola Experimental UNI, beneficiando tanto a los agricultores como a la comunidad en general.

II. ANTECEDENTES.

El riego por microaspersión es una técnica que ha ganado importancia en la agricultura moderna debido a su eficiencia en la distribución de agua. Este método se caracteriza por su capacidad de proporcionar una cobertura uniforme del agua en el suelo, lo que resulta en un uso más eficiente de los recursos hídricos. Según (Pacheco , 1995), el riego por microaspersión ha adquirido gran aceptación por su efectividad en la distribución del agua sin traslapes en los diámetros de humedecimiento.

(Ramirez & Cruz , 2016), Realizaron un estudio en la finca experimental el Plantel (UNA) con el objetivo de evaluar el patrón de humedecimiento en el sistema de riego por micro aspersión. De acuerdo a los análisis e interpretaciones de los resultados del presente estudio demuestran que las variaciones en el caudal y presión de los micro aspersores impactaron la distribución uniforme del agua. Se determino que le radio de alcance y el traslape entre los micro aspersores fueron adecuados para cubrir el área evaluada, aunque se identificaron zonas con menor cobertura debido a las variaciones en la presión y la configuración del sistema.

El análisis del contenido de humedad reveló diferencias significativas en la distribución del agua en el suelo, lo que resultó en áreas con exceso y déficit de humedad. Esto sugiere la necesidad de ajustar el sistema para mejorar la uniformidad y eficiencia del riego. La velocidad de infiltración varió en diferentes puntos, afectando la uniformidad del riego y la eficiencia del sistema. Este hallazgo subraya la importancia de ajustar los parámetros de riego para mejorar la distribución del agua. La intensidad de aplicación del agua también mostró variaciones que influyeron en la eficiencia del riego, lo cual indica la necesidad de un mejor control y ajuste de los micro aspersores para optimizar la aplicación del agua. El análisis reveló zonas con exceso y déficit de humedad, indicando la necesidad de ajustes en el riego. Se identificaron áreas de mejora en el sistema de microaspersión para lograr una distribución más eficiente del agua.

III. JUSTIFICACIÓN.

La implementación de un sistema de riego por microaspersión para el cultivo de plátano (Musa paradisiaca) variedad CEMSA ¾ en la Finca Agrícola Experimental UNI es crucial para mejorar la eficiencia en el uso del agua y aumentar la productividad agrícola. La necesidad de este proyecto surge de la importancia económica y nutricional del plátano en Nicaragua, donde su cultivo enfrenta desafíos significativos debido a la variabilidad climática y la disponibilidad limitada de recursos hídricos. (Larios Zamora , 2021).

Estudios específicos en banano (Musa Paradisiaca.) con sistemas de microaspersión han demostrado altas eficiencias de aplicación de agua, alcanzando valores entre el 80% y 90%, lo que se traduce en un uso más racional del recurso hídrico sin comprometer el crecimiento del cultivo, (Silva, 2019). Este tipo de eficiencia es esencial en zonas como la Finca Agrícola Experimental UNI, donde las condiciones topográficas y climáticas requieren una gestión eficiente del agua para mantener un suministro constante durante las diferentes etapas fenológicas del plátano.

La micro irrigación ha sido identificada como una estrategia eficaz para enfrentar los efectos de la variabilidad climática en la agricultura, ya que permite adaptar la programación del riego a las necesidades reales del cultivo, los sistemas de micro irrigación contribuyen a mejorar la eficiencia del uso del agua, reducir el estrés hídrico en las plantas y aumentar la estabilidad de la producción agrícola, (University of Florida IFAS Extension, 2012). Por ello, la implementación del riego por microaspersión en la Finca Agrícola Experimental UNI representa una alternativa técnica adecuada para garantizar un manejo sostenible del recurso hídrico en el cultivo de plátano.

IV. OBJETIVOS.

4.1 Objetivo general.

- Diseñar un sistema de riego por microaspersión del cultivo de plátano variedad CEMSA ¾ en la Finca Agrícola Experimental de la UNI, ubicada en la comunidad La Bolsa, Municipio de Masaya, departamento de Masaya.

4.2 Objetivos específicos.

- Determinar las propiedades hidrofísicas y condiciones topográficas del área de estudio donde se procederá a realizar el diseño del sistema de riego por microaspersión.

- Realizar el diseño agronómico, geométrico e hidráulico del sistema de riego por microaspersión que cumpla los requerimientos hídricos del cultivo de plátano variedad CEMSA ¾.

- Calcular los costos de inversión del sistema de riego por microaspersión del cultivo de plátano en la Finca Agrícola Experimental UNI.

V. MARCO TEORICO.

5.1 Generalidades del cultivo

El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo y un frutal tropical clave en la dieta y economía global, especialmente en América Latina, principal exportadora. Originario del sudeste asiático, se expandió globalmente desde el siglo V a.C., consolidándose en Centroamérica por su valor alimentario y comercial. Requiere clima cálido (26-30 °C), alta disponibilidad hídrica (1,800–2,500 mm/año), suelos profundos y pH 5.8–6.5. La variedad CEMSA ¾ destaca por su uniformidad, ideal para exportación, aunque es susceptible a ciertas plagas y resistente al Mal de Panamá. En Nicaragua, las principales zonas productoras son Rivas, Costa Caribe, Chinandega y Rivas, concentrando el 70% de la producción nacional.

5.1.1 Cultivo de plátano.

Los plátanos pertenecen al género Musa y representan al cuarto cultivo más importante en el mundo, ya que sólo lo superan el arroz, trigo y maíz (Jones, 2000) y es el frutal tropical más importante por su consumo internacional. Estas especies se cultivan en más de 120 países, las cuales producen cerca de 100 millones de toneladas anualmente (Heslop Harrison & Schwarzacher, 2007), los cuales constituyen el principal alimento de al menos 400 millones de personas ya que cuenta con un gran contenido de carbohidratos, vitaminas y minerales. Los países de América Latina son los principales exportadores de fruta fresca hacia los Estados Unidos y Europa.

5.1.2 Origen del cultivo de plátano.

El plátano, perteneciente a la familia de las musáceas, tiene sus orígenes en el sudeste asiático. Según (Arias , Dankers, Liu, & Pikauskas , 2004), su cultivo comenzó en el sur de la India en el siglo V A.C. y se expandió a Malasia, Madagascar, Japón y Samoa. Llegó a África entre los años 1000 y 1500 D.C. y se introdujo en el Caribe y Latinoamérica poco después del descubrimiento de

América, destacando en Bolivia y Brasil. Es crucial en Centroamérica por su valor económico y alimentario, cultivado en áreas con bajo desarrollo industrial y exportado principalmente a Estados Unidos y Europa. Los plátanos, esenciales en la dieta del trópico húmedo, aseguran carbohidratos fundamentales para millones, adaptándose a diversas tradiciones culinarias. A menudo se cultiva junto a café, coco y ñame, siendo un cultivo mayoritariamente tradicional en 5.4 millones de hectáreas en 2006, con una producción global de 34.01 millones de toneladas.

5.1.3 Taxonomía del cultivo de plátano.

Según (Champion, 1968) la clasificación taxonómica es la siguiente:

- Clase: Monocotiledóneas
- Orden: Escitamineas
- Familia: Musaceae
- Subfamilia: Musoideae
- Género: Musa
- Especies: Acuminata y Balbisiana
- Sección: Eumusa
- Reino: Plantae

5.1.4 Requerimientos edafoclimáticos.

- **Clima:** La temperatura óptima para el desarrollo del fruto es de 26 a 30 °C; temperaturas más bajas prolongan la cosecha por más de un mes
- **Requerimiento hídrico:** Requiere abundante agua; 1,800-2,500 mm anuales, 150-250 mm mensuales, y 5-10 litros diarios según la edad de la planta. La distribución del riego debe ser uniforme durante todo el año para un desarrollo óptimo.
- **Luminosidad:** El plátano necesita 6-8 horas de sol diarias.

- **Viento:** Las plantaciones de plátano deben ubicarse en áreas con vientos menores a 20 km/h para evitar daños foliares, pérdida de producción y maduración precoz.
- **Suelo:** El cultivo de plátano requiere suelos profundos (1.2 m) y bien gestionados; ajustar riego y fertilización en suelos arenosos, y evitar encharcamiento en suelos pesados para prevenir toxicidad.
- **Pendiente:** Es posible cultivar en pendientes de hasta 40% (fuertemente escarpada), lo ideal para poder implementar un sistema platanero y con riego eficiente es una pendiente no mayor al 2%.
- **pH:** Este factor nos indica la alcalinidad y/o acidez del suelo, para el plátano se recomienda un pH moderadamente ácido (5.8 a 6.5); en este rango se facilita la disponibilidad de nutrientes.

5.1.5 Variedad CEMSA ¾.

La variedad CEMSA ¾ se caracteriza por tener plantas vigorosas, pseudotallo cilíndrico con una altura entre 2.15 a 2.75 m color verde. La disposición de las hojas es recta. El período de duración del primer ciclo vegetativo (siembra-floración) es de 210 a 270 días, el período de duración del primer ciclo productivo (floración-cosecha) es de 90 a 110 días, con un ciclo total entre 300 a 380 días. El peso neto del racimo (sin raquis) es de 7 a 13 kg, la posición de los frutos son curvos hacia arriba y son de color verde, con un promedio de 46 dedos por racimo. CEMSA ¾ es susceptible a sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis M.) y nematodos y resistente al Mal de Panamá (Fusarium oxysporum F.) (Martinez & González, 2007).

5.1.6 Principales zonas de producción.

En Nicaragua, el cultivo extensivo de plátano se concentra en Matagalpa y Jinotega al norte, con condiciones climáticas favorables y altitudes propicias. En la Región Autónoma del Atlántico Norte y Sur, conocida como la Costa Caribe, se aprovechan suelos fértiles y altas precipitaciones para el cultivo. En el Pacífico, Chinandega y

Rivas también destacan por sus climas cálidos y suelos adecuados, aunque la producción puede variar según las estaciones y el agua disponible.

Tabla 1.

Zonas de Producción de Nicaragua.

Departamento	N° Manzanas	Porcentaje
Rivas	10186.00	40%
RAAN	2973.00	12%
RAAS	2453.00	10%
Chinandega	2137.00	8%
Managua	1821.00	7%
Granada	1264.00	5%
Masaya	1138.00	4%
León	888.00	3%
Rio San Juan	678.00	3%
Matagalpa	606.00	2%
Jinotega	521.00	2%
Carazo	347.00	1%
Nueva Segovia	276.00	1%
Boaco	152.00	1%
Chontales, Estela, Madriz	118.00	1%
Total	**25558.00**	**100%**

Fuente: Análisis del Subsector Hortofrutícola de Nicaragua.

5.2 Generalidades del sistema de riego.

El riego por microaspersión aplica agua en finas gotas mediante micro aspersores, logrando una distribución uniforme y precisa en cultivos sensibles. El sistema incluye centro de control (bomba, filtros, válvulas), líneas de conducción, manifolds, laterales y los emisores. Opera a bajas presiones (1–3 bar) y con caudales de 20 a 150 l/h, ofreciendo ventajas como ahorro de agua, fertiirrigación y buena uniformidad, pero exige mayor inversión, mantenimiento y es susceptible a obstrucciones. Su eficiencia depende de presión, calidad del agua, diseño y mantenimiento. Los marcos de instalación (rectangular, cuadrangular o triangular) determinan la cobertura, y la elección del micro aspersor debe considerar alcance, uniformidad, resistencia y costos.

5.2.1 Sistema de riego por micro aspersión.

El riego por microaspersión es un método de irrigación que utiliza dispositivos de tamaño reducido, conocidos como micro aspersores, para distribuir el agua en forma de finas gotas sobre un área específica del suelo. Este sistema está diseñado para proporcionar una aplicación uniforme del agua, controlada y precisa, especialmente adecuada para cultivos sensibles al agua y áreas con requerimientos específicos de humedad. (Howell, 2001).

Los micro aspersores están diseñados para proporcionar riego a través de gotas extremadamente finas. Cuentan con un deflector rotatorio, también conocido como rotor o bailarina, que facilita una cobertura de diámetro más amplio, una tasa de precipitación menor que los difusores, un tamaño de gota más grande y una distribución de agua más uniforme. Existen varios tipos de rotores para cada tipo de micro aspersor. A diferencia de la nebulización, la microaspersión lanza agua en forma de pequeños chorros hacia la planta, en lugar de suministrarla en forma de neblina. Además, cuentan con elementos rotatorios que distribuyen el agua sobre la superficie.

5.2.2 Componentes del riego por microaspersión.

Los sistemas de riego por microaspersión suministran el agua a los cultivos en forma de lluvia artificial. La aspersión se aplica generalmente en cada árbol. Los difusores de los micro aspersores tienen varias formas de asperjar el agua, como la lluvia en círculos o sectores de círculos, la nebulización y los chorros.

Los micro aspersores deben seleccionarse con gastos adecuados para evitar encharcamientos y escurrimientos de agua. Deben de utilizarse láminas precipitadas horarias que no excedan la velocidad de infiltración de agua en el suelo. El micro aspersor y/o micro jet riega un espacio más amplio y más uniforme dentro de la zona radicular de los árboles frutales. (Tovar, 1993).

- **Unidad de bombeo:** Esta debe ser configurada para satisfacer las demandas de presión y flujo que el sistema de riego por microaspersión necesita.
- **Filtración:** Esta es la parte del centro de control que se dedica a remover las impurezas presentes en el agua usada por los micro aspersores. La filtración incluye un manómetro antes de la entrada y otro después de la salida del agua ya filtrada, los cuales señalan la disminución de la carga de filtrado e indican cuándo es necesario limpiar los filtros.
- **Válvulas de control:** entre éstas podemos encontrar, válvulas check o unidireccionales y válvulas de compuerta.
- **Válvulas de seguridad:** entre estas se encuentran principalmente una válvula reguladora de presión.

Los dispositivos de seguridad más utilizados son:

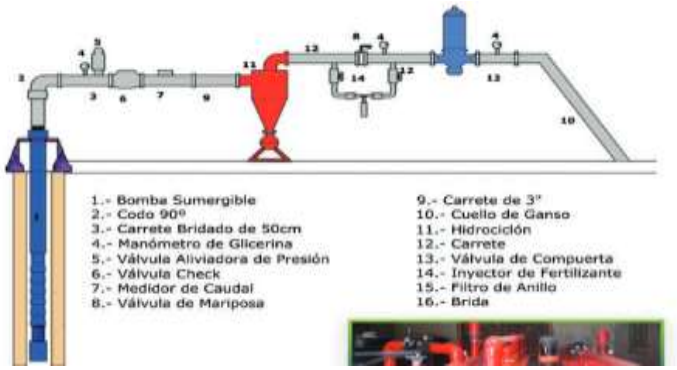
- **Válvula aliviadora de aire y vacío:** Son colocadas en las partes altas del terreno en las tuberías principales subterráneas para desalojar el aire que queda atrapado dentro de ellas y también su función es romper el vacío permitiendo la entrada de aire cuando se para el sistema, también se coloca

en la parte terminal de la línea principal, antes de pasar al último crucero divisor.

- **Válvula aliviadora de presión:** Su función es proteger la línea de conducción principal, de repentinos excesos de presión causados por cierres rápidos de a válvulas. Por lo general siempre se coloca una en cada extremo de la tubería. (Granados, 2015).

Figura 1.

Sarta de Descargar con Sistema de Filtrado.



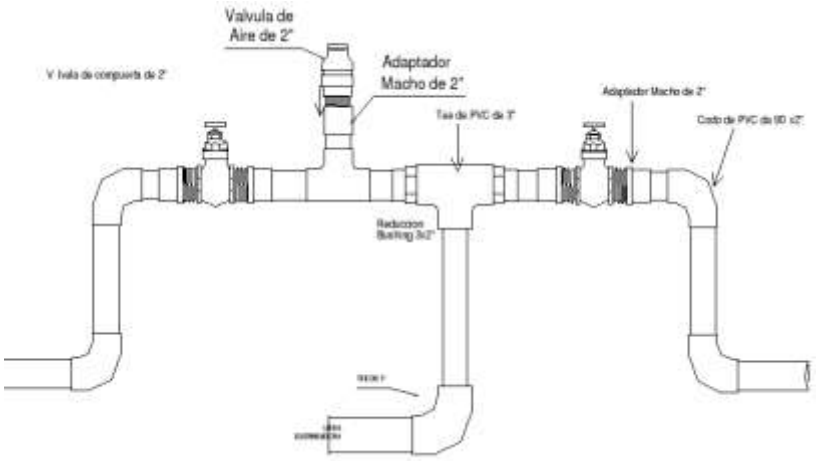
Fuente: Manual de operación y mantenimiento sistema de riego por (ADRA PERU , 2009).

- **Líneas conducción:** Estas líneas son las tuberías de abastecimiento de agua. La línea principal comienza en la descarga del centro de control y tiene su terminación ya sea en el caballete o en el lugar donde se bifurca dando lugar a dos líneas sub principales comúnmente llamadas Manifold.
- **Caballete:** El caballete es el punto de unión entre la tubería principal y la línea del manifold. Estos caballetes cuentan por lo general con una válvula de paso cuando son sistemas con micro aspersores regulados, y de una a tres y/o uno a dos reguladores de la presión en un mismo caballete cuando son micro aspersores no regulados en secciones homogéneas continúas. Pueden contar con válvulas volumétricas automatizadas para regular el paso del agua en las cantidades deseadas.

- **Manifold:** Este es el punto de partida del sistema de riego, donde el agua es distribuida a través de las líneas de riego por tuberías de PVC instaladas bajo tierra. Estas tuberías están dispuestas de manera perpendicular a las líneas de riego.

Figura 2.

Caballete doble con válvulas de control hidráulico y válvulas de aire.

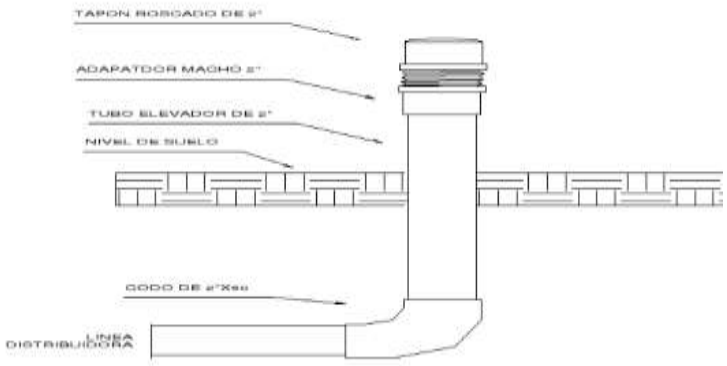


Fuente: (Rincon del vago , 2016)

- **Laterales de riego:** Las tuberías, hechas de polietileno con un diámetro de 16 mm, suministran agua a los micro aspersores. Se conectan al manifold y se instalan paralelas a las filas de cultivo para facilitar el riego.
- **Lavado final:** Su propósito es drenar el agua sucia que fluye de la tubería, lo cual es esencial para prevenir la obstrucción de los micro aspersores.

Figura 3.

Lavado Final.



Fuente: (Rincon del vago , 2016)

- **Micro aspersores:** Los micro aspersores son los emisores encargados de distribuir el agua cerca de los cultivos, los micro aspersores aplican el agua en forma de roció, ya sea de forma seccional con micro jet o en forma circular según se requiera.

Figura 4.

Componentes de un Micro aspersor.



Fuente: (Iagua, 2019)

5.2.3 Características hidráulicas del micro aspersor.

Los aspectos hidráulicos de un micro aspersor de riego se relacionan con las cualidades y factores que determinan su operación y eficacia en lo que respecta a la dispersión del agua.

- **Presiones de operación.**

Los sistemas de riego por micro aspersión operan a bajas presiones entre 1 a 3 bares. Esto permite el uso de tuberías de menor diámetro y reduce la energía requerida para el bombeo.

- **Caudales de descarga.**

El caudal del micro aspersor varía entre 20 a 150 litros por hora, dependiendo del alcance, terreno y cultivo. Caudales menores mejoran la uniformidad del riego.

- **Cobertura y disposición.**

Se requiere una extensa red de tuberías con micro aspersores espaciados entre si para lograr una cobertura total del área a regar.

5.2.4 Ventajas y desventajas del sistema de riego por micro aspersión.

Ventajas del sistema de riego por micro aspersión.

- Alta uniformidad en la distribución del agua, lo que mejora la eficiencia.
- Requiere menor cantidad de agua comparado con el riego por aspersión convencional.
- Permite un buen mojado de la zona radicular de los cultivos.
- Baja evaporación y escorrentía superficial del agua.
- Adaptable a diferentes tipos de suelo y topografías.
- Permite la fertiirrigación para aplicar fertilizantes y otros productos junto con el agua.
- Ideal para cultivos en hileras y plantaciones de árboles y arbustos.

Desventajas del sistema de riego por micro aspersión.

- Requiere una extensa red de tuberías para cubrir toda la superficie.
- Los micro aspersores son más propensos a obstrucciones que el riego por goteo.
- Costo más elevado que la aspersión convencional.
- Requiere de filtros, reguladores y válvulas para un buen control.
- Daño a cultivos sensibles por el impacto de las gotas.
- Mayor mantenimiento preventivo y limpieza que el riego localizado.

5.2.5 Factores que afectan a la eficiencia del riego por micro aspersión.

- Presión de agua: La presión necesaria para el riego es ajustada por el cabezal de control. Una presión incorrecta puede afectar la uniformidad y eficiencia del riego.
- Calidad del agua: Los micro aspersores pueden obstruirse fácilmente por la acumulación de sedimentos, impurezas o residuos orgánicos presentes en el agua. Esto puede afectar la uniformidad del riego y disminuir la eficiencia del sistema.
- Mantenimiento del sistema: Es importante mantener una limpieza y filtrado adecuados para evitar obstrucciones. Los drenes ayudan a evitar obstrucciones y desaguan el agua sucia.
- Diseño del sistema: Un diseño adecuado es crucial para garantizar una distribución uniforme del agua. La línea principal y secundaria suministran agua a los micro aspersores.
- Inversión inicial: Los sistemas de microaspersión requieren una alta inversión inicial, lo que puede ser un obstáculo para algunos agricultores.
- Interferencias en labores de cultivo: Una vez establecido el riego, la instalación puede interferir en labores de cultivo o de acondicionamiento del terreno.
- Averías y obstrucciones: Es un sistema fijo y con muchos elementos expuestos, por lo que puede averiarse o romperse.

5.2.6 Marcos de riego en sistemas de riego por micro aspersión.

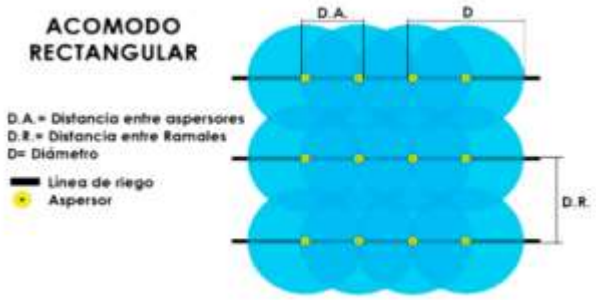
Los marcos de riego en sistemas de micro aspersión se refieren a la disposición geométrica de los aspersores en el campo, influenciando directamente la distribución del agua. Según la literatura agronómica, estos marcos incluyen configuraciones rectangular, cuadrangular y triangular, cada uno adaptado a diferentes tipos de terreno y necesidades de riego La elección del marco adecuado es crucial para maximizar la eficiencia del riego, asegurando una cobertura uniforme y óptima del agua sobre el área cultivada, lo cual es fundamental para el crecimiento saludable de los cultivos y la gestión eficiente de los recursos hídricos en la agricultura moderna. (Khan, Smith , & Jones, 2014).

- **Marco de riego rectangular.**

Los micro aspersores ocupan los vértices de rectángulos, donde la distancia mayor del rectángulo se aplicará a la separación entre líneas y la menor a la separación de los aspersores en la misma línea. Esta disposición tiene como objetivo corregir la acción del viento sobre la distribución del agua.

Figura 5.

Marco de riego rectangular.



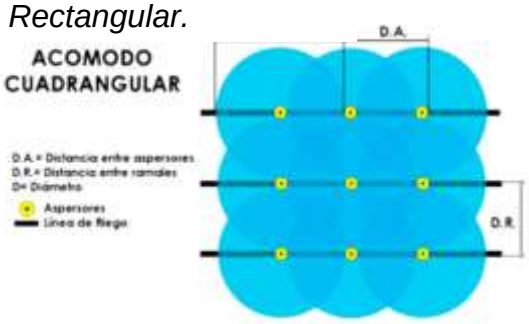
Fuente: (HYDRO ENVIROMENT, 2024)

- **Marco de riego cuadrangular.**

Los aspersores ocupan los vértices de cuadrados siendo la distancia entre líneas igual a la distancia entre micro aspersores continuos en una misma línea.

Figura 6.

Marco de Riego Rectangular.



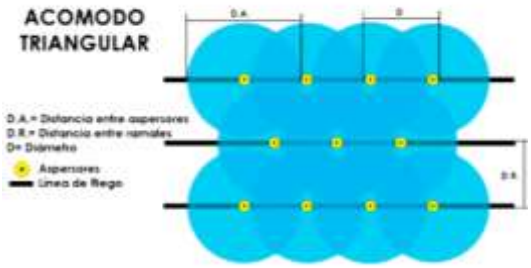
Fuente: (HYDRO ENVIROMENT, 2024)

- **Marco de riego triangular.**

Los micro aspersores ocupan los vértices de triángulos equiláteros. La disposición reduce el número de aspersores usados para una misma superficie, en relación a las anteriores. Sin embargo, presenta dificultades de operación cuando necesita ir cambiando de posición las tuberías.

Figura 7.

Marco de Riego Triangular.



Fuente: (HYDRO ENVIROMENT, 2024)

5.2.7 Criterios para la selección de micro aspersores.

Existe una amplia variedad de micro aspersores disponibles en el mercado con diferentes características y especificaciones. Seleccionar el micro aspersión adecuado es clave para lograr un sistema de riego eficiente.

Algunos criterios importantes para la selección de los micro aspersores:

- Radio o alcance mojado: Elegir en función del marco o distancia entre líneas del cultivo. Comúnmente entre 1 a 4 metros de radio.
- Uniformidad de distribución: Preferir micro aspersores con coeficientes de uniformidad altos (mayor a 90%).
- Resistencia a la obstrucción: Optar por aquellos con filtros, laberintos o trayectorias de paso de agua que minimicen obstrucciones.
- Resistencia a la presión: Que operen en un rango de 1 a 3 bar sin problemas de deformación.
- Materiales de construcción: Resistentes a la radiación UV como policarbonatos o ABS.
- Compatibilidad con inyectores: en sistemas fertirrigados, que sean compatibles con inyectores de abono.
- Costos: Analizar la relación costo-beneficio de cada modelo.
- Servicio técnico: Elegir entre marcas que provean buen soporte técnico postventa.

5.3 Propiedades edáficas del suelo.

Las propiedades edáficas del suelo se refieren a las características físicas, químicas y biológicas que influyen en su capacidad para sustentar el crecimiento de las plantas. Entre estas propiedades se incluyen la textura, estructura, permeabilidad, capacidad de retención de agua, pH, contenido de nutrientes y la actividad microbiana. Estas características son cruciales para determinar la fertilidad del suelo y su aptitud para la agricultura, ya que afectan directamente la disponibilidad de agua, nutrientes y oxígeno para las plantas, (Brady & Weil, 2008).

5.3.1 Textura de suelo.

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula (separaciones de suelo, o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo. Los nombres para las clases de tamaño de partícula corresponden estrechamente con la terminología estándar comúnmente utilizada, incluida aquella del sistema utilizado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Los sistemas nacionales usan nombres similares, pero varían en las fracciones de arena, limo y arcilla y en las clases texturales. (FAO, 2009).

Tabla 2.

Constantes Hidrológicas de los Suelos.

Textura	CC (%)	MP (%)
Arenoso	7.20	3.40
Arenoso Franco	9.90	4.20
Franco Arenoso	22.10	6.80
Franco Arcillo Arenoso	26.90	17.40
Arcillo Arenoso	36.40	25.50
Franco	24.90	11.70
Franco Arcilloso	34.10	20.80
Arcillo Limoso	41.90	27.80
Franco Arcillo Limoso	37.30	20.70
Franco Limoso	30.60	13.00
Limoso	29.50	5.60
Arcilloso	42.20	29.58

Fuente: (USDA TRIANGLE, 2000)

5.3.2 Profundidad radicular del suelo.

La profundidad radicular del suelo se refiere a la distancia vertical desde la superficie del suelo hasta la profundidad máxima a la que pueden penetrar las raíces de las plantas. Esta profundidad depende de varios factores, como la textura y estructura del suelo, la presencia de capas compactadas o de impedimentos físicos (como rocas), y las características propias de las plantas. Una mayor profundidad radicular permite a las plantas acceder a un mayor volumen de suelo para la extracción de agua y nutrientes, lo cual es crucial para su crecimiento y resistencia a condiciones adversas como la sequía. (Brady & Weil, 2008).

5.3.3 Densidad real.

La densidad real del suelo, también conocida como densidad de partículas, es la masa de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen, excluyendo los poros y el espacio aéreo. Se expresa generalmente en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). La densidad real es una propiedad física fundamental del suelo que proporciona información sobre la composición mineralógica y la compactación del suelo. La densidad real típicamente oscila entre 2.60 y 2.75 g/cm^3 para la mayoría de los suelos minerales, aunque puede variar dependiendo de la composición mineralógica específica. (Brady & Weil, 2008).

5.3.4 Densidad aparente.

La densidad aparente del suelo es la masa de una unidad de volumen de suelo seco, incluyendo tanto las partículas sólidas como los poros. Se expresa comúnmente en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). La densidad aparente es una medida de la compactación del suelo y afecta la porosidad, la capacidad de retención de agua, y la penetración de las raíces. (Brady & Weil, 2008).

5.4 Propiedades hidro físicas del suelo.

Las propiedades hidro físicas del suelo se refieren a las características relacionadas con el movimiento y la retención del agua en el suelo, (Hillel, 1998).

5.4.1 Capacidad de campo.

Es la cantidad de agua que el suelo retiene contra la gravedad, se consigue dejando drenar el agua del suelo saturado, este nivel de humedad es la mayor cantidad de agua que queda retenida en los poros, es decir, que el suelo puede llegar a almacenar sin drenar. Se expresa en porcentaje de volumen de agua existente con respecto al volumen del suelo representado en porcentaje o en centímetros cúbicos de agua por centímetros cúbicos de suelo. (FAO , 2016).

5.4.2 Punto de marchitez permanente.

Según (Ortiz , 2011), se conoce como tal, al porcentaje o nivel de humedad del suelo al cual las plantas se marchitan en forma permanente, si el suelo no recibe nuevos aportes de agua; la evaporación desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya hasta llegar a un nivel en el que las raíces ya no puedan extraer agua desde el suelo.

5.4.3 Velocidad de infiltración.

La velocidad de infiltración es la tasa a la cual el agua se mueve desde la superficie del suelo hacia el perfil del suelo, siendo absorbida por los poros y grietas del mismo. Se mide generalmente en unidades de milímetros por hora (mm/h) o centímetros por hora (cm/h). La velocidad de infiltración es una propiedad crucial del suelo que afecta la disponibilidad de agua para las plantas, la recarga de acuíferos y el control de la erosión. (Hillel, 1998).

5.5 Condiciones topográficas.

La planimetría es fundamental en el diseño de sistemas de riego, ya que representa gráficamente las características horizontales del terreno. Esta técnica permite

observar las relaciones entre los puntos del terreno sin tener en cuenta la altitud, lo que es esencial para una correcta planificación y distribución del agua. Además, optimiza la gestión del riego de manera eficiente y sostenible, facilitando el diseño de redes de tuberías que reduzcan los costos en materiales y excavaciones. Al centrarse en la superficie horizontal, la planimetría asegura que el agua se distribuya de manera uniforme, minimizando el desperdicio y mejorando el rendimiento hidráulico.

La distribución eficiente de los puntos de riego es otro aspecto clave que facilita la planimetría. A través de un diseño optimizado de las redes de tuberías, se logra calcular las presiones necesarias y las pérdidas por fricción, lo que permite una mejor distribución del agua. Esta información también facilita las expansiones futuras del sistema sin necesidad de nuevos estudios de campo. Además, al asegurar una distribución uniforme del agua, se garantiza que todos los sectores del terreno reciban el riego necesario, lo que es crucial para evitar tanto el exceso como la falta de agua en diferentes áreas.

Por otro lado, la altimetría es igualmente esencial en el diseño de sistemas de riego, ya que se enfoca en las variaciones de altura del terreno. A diferencia de la planimetría, que se centra en las distancias horizontales, la altimetría permite evaluar las elevaciones y pendientes del terreno, información clave para entender la topografía. En terrenos inclinados, el flujo del agua puede verse afectado, por lo que el análisis altimétrico optimiza el control del riego, especialmente en sistemas de riego por gravedad. De esta forma, se asegura una distribución eficiente del agua sin la necesidad de bombeo mecánico.

5.6. Diseño agronómico.

El diseño agronómico del riego es un conjunto de propuestas y datos enfocados en el manejo eficiente del agua en la agricultura. Considera aspectos como suelo, clima, cultivo y calidad del agua, analizando las ventajas y limitaciones de distintos métodos de riego. Su objetivo es garantizar un uso óptimo del agua que maximice

el rendimiento o el retorno económico sin dañar el suelo. Además, este diseño evalúa los recursos disponibles bajo las condiciones climáticas locales, adaptándose a las preferencias del agricultor. Facilita la planificación del riego en el área y el diseño específico de cada método a implementar, promoviendo decisiones informadas. (Villafañe, 1998).

5.6.1 Evaporación.

La evaporación corresponde al proceso en el cual el agua que se encuentra en estado líquido en una superficie es removida como vapor de agua (FAO, 2006.). El agua se puede evaporar desde distintos tipos de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación. Para que el cambio de estado ocurra, se requiere de energía, como por ejemplo la radiación solar directa. Además, la fuerza impulsora para retirar el vapor de agua es la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie y la presión de vapor de la atmósfera.

5.6.2 Transpiración.

Es el proceso por el cual el agua es absorbida por las raíces de las plantas y luego evaporada a la atmosfera a través de las estomas en las hojas. Este fenómeno es fundamental para el crecimiento vegetal, ya que pasa desde el sistema de raíces de las plantas hacia el tallo, después a las hojas y finalmente a la atmosfera. La transpiración ayuda en la regulación térmica de la planta y en el transporte de nutrientes y agua desde el suelo1. Además, la cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que retienen y llega a formar parte de ellas, usada en procesos de crecimiento y fotosíntesis. (Rothschuh Osorio, 2023).

5.6.2 Coeficiente del cultivo.

Según (Ortiz, 2011), el coeficiente de cultivo Kc refleja la relación entre suelo, agua y planta, y representa la tasa de transpiración real del cultivo en comparación con la demanda evaporativa atmosférica. Este coeficiente depende de varios factores, como la fecha de siembra, la textura del suelo, los métodos de riego, las condiciones

climáticas y el manejo del cultivo. El valor de Kc varía durante el ciclo vegetativo y es específico para cada cultivo. Generalmente, oscila entre 0.3 y 1.3, alcanzando su máximo cuando el cultivo cubre más del 70% del área y durante la formación de frutos. Este valor es crucial para optimizar el uso del agua en el riego.

La (FAO, 2006), recomienda determinar estos coeficientes a partir de cuatro estaciones vegetativas bien diferenciadas:

- **Fase Inicial:** Es la fase en que se produce la germinación y el crecimiento que alcanza una cobertura del 10%.
- **Fase de desarrollo del cultivo:** Desde la etapa anterior hasta que el cultivo alcanza una cobertura del 70 al 80%.
- **Fase final del Período:** Desde a la maduración de los frutos hasta la cosecha.

5.6.3 Evapotranspiración.

La evaporación y la transpiración, dos procesos que ocurren simultáneamente en la agricultura, son influenciados por la disponibilidad que ocurren simultáneamente en la agricultura, son influenciados por la disponibilidad de agua y radiación solar. Al inicio del ciclo de cultivo, la evaporación predomina, pero a medida que el cultivo crece y cubre el suelo y cubre el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. Al final, cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la evapotranspiración ocurre como transpiración. (FAO, 2006).

5.6.4 Evapotranspiración de referencia.

La evapotranspiración de referencia (ETo) es la tasa de evaporación de un cultivo hipotético de pasto, con altura de 0.12 m, resistencia superficial de 70 s m-1 y albedo de 0.23. Se calcula usando el método FAO Penman-Monteith, que emplea datos meteorológicos para determinar parámetros climáticos. Este método es altamente recomendado por su capacidad para aproximar la ETo en diferentes ubicaciones

con precisión, facilitando la gestión del agua en la agricultura y la meteorología aplicada. (FAO, 2006).

Tabla 3.

Métodos Para Determinar la ETP de Referencia.

Métodos	Temperatura	HR	Viento	Insolación	Radiación	Evaporación
Penman – Monteith (1992)	X	X	X	X	X	
Evaporímetro clase A		X	X			X
Hargreaves (1989)	X	X	X	X	X	
Blaney - Criddle (1977)	X	X	X	X		

Fuente: FAO, 2006

5.6.5 Evapotranspiración real.

Según (Ortiz, 2011), la evapotranspiración real del cultivo, es la combinación del agua transpirada por los cultivos y de la evaporada directamente desde el suelo hacia la atmósfera y se calcula como el producto entre la evapotranspiración potencial por el coeficiente de cultivo Kc.

5.6.6 Lamina de riego.

La lámina de riego en agricultura es la cantidad de agua que se distribuye sobre la superficie del suelo durante un ciclo de riego, garantizando que los cultivos reciban la humedad necesaria sin desperdiciar recursos. Esta medida varía según varios factores, como el tipo de cultivo, la densidad de siembra, el tipo de suelo y las condiciones del agua (salinidad, entre otros). La lámina de riego es fundamental para mantener la zona de raíces adecuadamente hidratada y requiere conocer las propiedades físicas y químicas del suelo. Además, su valor puede fluctuar a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo, dependiendo de la especie y otras condiciones del entorno. (Catalán, Sanchez, Villa, Inzunza , & Mendoza , 2007).

5.6.7 Intensidad de aplicación de riego.

El contacto inicial del agua con el suelo, conocido como infiltración, es esencial para la eficiencia del riego. Los sistemas de riego aplican el agua de diversas formas, ya sea concentrada o dispersa, afectando la distribución y volumen. La estructura del suelo, influenciada por su porosidad y partículas, determina la capacidad de infiltración. Conocer estas características permite aplicar el agua de manera más eficiente, facilitando su absorción. Sin embargo, un riego excesivo puede dañar la estructura del suelo, provocando compactación y sellado. Esto reduce la infiltración y genera problemas como la erosión y el encharcamiento. (TRAXCO, 2017).

5.6.8 Caudal por hectárea.

El caudal por hectárea en agricultura se refiere a la cantidad de agua que se aplica por unidad de superficie (hectárea) para el riego de cultivos. Es una medida importante para garantizar que las necesidades hídricas de los cultivos se satisfagan adecuadamente. (Andrango Qumbiamba , 2019).

5.6.9 Tiempo de riego.

El tiempo de riego según (Carrazón Alocén, 2007), no es más que el tiempo que se deberá estar regando en la parcela para poder aplicar la lámina de riego calculada. Se establece el tiempo de aplicación de riego en función de la lámina de riego definida para el proyecto, la superficie a ser regada y el caudal de riego.

5.6.10 Turnos de riego.

Los turnos de riego consisten en dividir un área agrícola en partes iguales, suministrando agua según la demanda hídrica del cultivo en tiempos específicos. Esto garantiza un crecimiento óptimo, satisface las necesidades del cultivo y aumenta la producción al transformar zonas de secano en regadío. (TRAXCO, 2017).

5.6.11 Frecuencia de riego.

La frecuencia de riego es crucial para ajustar la extracción de nutrientes y la evapotranspiración del cultivo a las necesidades reales. Evita lixiviados excesivos, pérdida de agua y nutrientes, y contaminación de recursos hídricos. En áreas con escasez de agua, variar la frecuencia puede reducir el consumo de agua. El riego ideal mantiene el contenido de agua en la capacidad de campo (CC) y evita que sea menor que el punto de marchitez (PP), reduciendo el riesgo de marchitez, (Castañón Najera , 2000).

5.7 Diseño geométrico.

El diseño geométrico en el diseño de sistemas de riego se refiere a la configuración espacial del sistema de riego, incluyendo la disposición y dimensiones de los componentes del sistema. Este diseño toma en cuenta múltiples factores como el tamaño del área a regar, la geometría del terreno, la densidad de siembra, el tipo de cultivo, la topografía, el tipo de suelo, entre otros aspectos de carácter agronómico. En el diseño de sistemas de riego por goteo, por ejemplo, el diseño geométrico es una de las tres grandes partes, junto con el diseño agronómico y el diseño hidráulico, (Angeles , 2019).

5.7.1 Red de distribución.

Para una red de distribución de agua a presión, es importante tener en cuenta la diferencia de altura entre el área de captación (tanque de almacenamiento, pozo, rio, lago, laguna, canal, etc.) y el área de riego. En situaciones donde esto no sea factible, será necesario emplear tanques de ruptura de presión para asegurar que el agua llegue a las parcelas en las condiciones óptimas, (Arango Tobón, 1998).

5.8 Diseño hidráulico.

El diseño hidráulico se refiere al proceso de planificación y cálculo de sistemas que involucran el flujo y la distribución de fluidos, como el agua, a través de redes de tuberías, canales u otros conductos. Este proceso implica determinar las

características del sistema, como el tamaño de las tuberías, las presiones requeridas, las tasas de flujo y la ubicación de válvulas y accesorios, con el objetivo de garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema hidráulico, (Tullis, 2013).

El diseño hidráulico de sistemas de riego busca dimensionar tuberías y calcular presiones para garantizar caudales eficientes y evitar problemas como la cavitación. La selección adecuada de componentes como bombas, válvulas y filtros asegura el cumplimiento de las condiciones operativas. Se consideran aspectos de seguridad, resistencia a la corrosión, eficiencia energética y normativas vigentes. Un buen diseño mejora la eficiencia operativa y la distribución uniforme del agua, reduciendo pérdidas por fricción. Optimiza costos de operación y mantenimiento, prolongando la vida útil y confiabilidad del sistema. Integrar criterios de presupuesto desde el inicio permite una gestión eficiente de recursos y maximiza los beneficios económicos a largo plazo.

VI. DISEÑO METODOLOGICO.

6.1 Diseño de investigación.

6.1.1 Según el enfoque de la investigación.

La presente investigación adopta un enfoque metodológico mixto, integrando técnicas de investigación cualitativas y cuantitativas para proporcionar una visión más completa y detallada del tema de estudio. En el desarrollo de esta investigación, se realizará un análisis riguroso de los datos recolectados en el campo. Este análisis implicará la evaluación y el diseño de los datos recopilados, lo que permitirá una interpretación más precisa y relevante de los mismos.

Estos datos serán fundamentales para realizar los cálculos necesarios en el área del diseño. Esto incluye el diseño agronómico, que se enfoca en maximizar la eficiencia y la sostenibilidad de las prácticas agrícolas; el diseño geométrico, que se ocupa de la disposición espacial y la configuración de los componentes del sistema; y el diseño hidráulico, que se centra en la gestión eficaz del agua y otros fluidos en el sistema. Además, se llevará a cabo una evaluación presupuestaria del diseño propuesto.

Esta evaluación tiene como objetivo determinar la rentabilidad del proyecto, teniendo en cuenta tanto los costos asociados con la implementación y el mantenimiento del sistema, como los beneficios potenciales que se pueden obtener de su uso. Esta evaluación financiera es esencial para garantizar que el proyecto sea económicamente viable y beneficioso.

6.1.2 Según en alcance de los resultados.

El objetivo de esta investigación es realizar un estudio descriptivo mediante la recopilación de datos en el terreno, lo que permitirá diseñar un sistema de riego por microaspersión. Este diseño busca aumentar la productividad y competitividad agrícola. Al optimizar el uso del agua, se pretende mejorar la rentabilidad y

sostenibilidad de los productores, promoviendo prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles.

6.1.3 Según el tiempo de ocurrencia.

Esta investigación adopta un enfoque prospectivo, centrado en identificar un problema específico en la Finca Agrícola Experimental como es la necesidad de un sistema de riego por microaspersión para el cultivo de plátano. El objetivo principal es diseñar y presupuestar un sistema de riego que solucione esta necesidad. Se espera que este diseño mejore la eficiencia del riego, lo que podría impactar positivamente en la productividad y sostenibilidad agrícola de la finca. En resumen, la investigación busca ofrecer soluciones prácticas y rentables para los desafíos de riego en la finca.

El estudio se centrará en el desarrollo de una propuesta de diseño de sistemas de riego por microaspersión, programado desde noviembre de 2024. Incluirá un análisis detallado de costos basado en las condiciones actuales de la Finca Agrícola Experimental, buscando una solución técnica y económicamente viable. El objetivo es ofrecer un diseño de riego integral y personalizado que maximice la eficiencia y rentabilidad, adaptado específicamente a las necesidades y circunstancias de la finca, garantizando así una gestión óptima de los recursos hídricos.

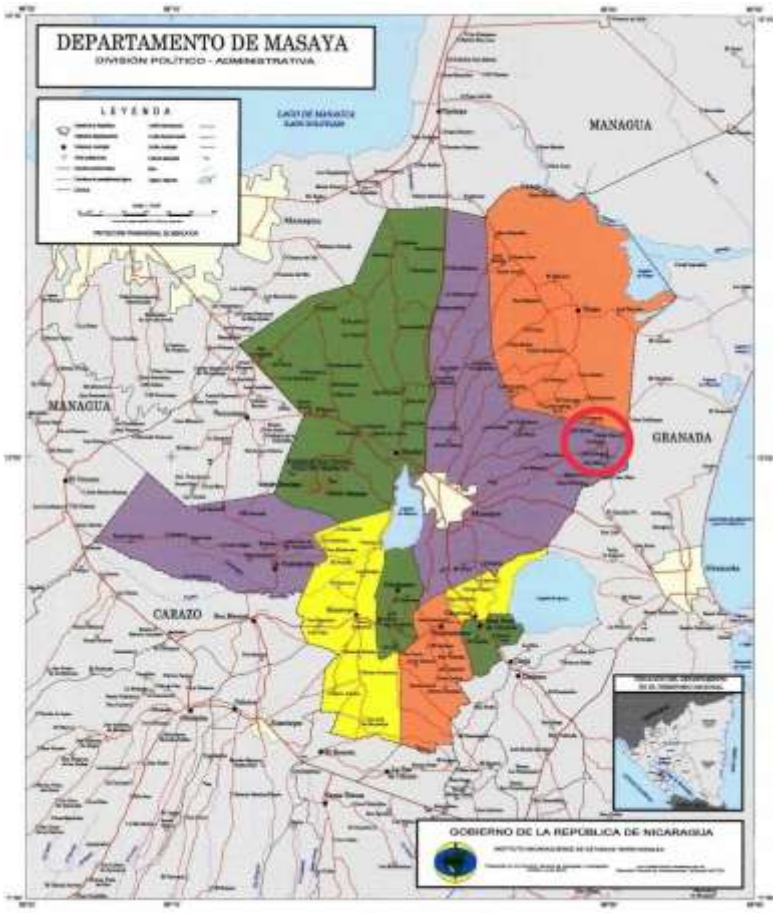
6.2 Ubicación y área de estudio.

6.2.1 Macro localización.

La zona de investigación está situada en el departamento de Masaya, en Nicaragua, específicamente en las coordenadas geográficas 11° 58′ 0″ de latitud norte y 86° 6′ 0″ de longitud oeste. Este lugar, caracterizado por su rica biodiversidad y su variada geografía, proporciona un contexto relevante para el estudio, permitiendo el análisis de diversas variables ambientales y sociales en un entorno específico.

Figura 8.

Macro Localización.



Fuente: INETER.

6.2.2 Micro localización.

El área de estudio seleccionada se encuentra en la Finca Agrícola Experimental UNI ubicada en la comunidad “La Bolsa” departamento de Masaya con las coordenadas geográficas 12° 0'41.85" latitud Norte y 85°59'54.32" longitud Oeste, con una elevación de 60 msnm.

Figura 9.

Micro Localización.



Fuente: Google Earth Pro.

6.3 Metodología.

La metodología que se implementó en este trabajo monográfico se basará en un análisis detallado de los datos recopilados directamente en el campo. Este análisis considerará diversos factores fundamentales, como el tipo de suelo, la topografía del terreno y las características específicas del cultivo.

Estos elementos son esenciales para la elaboración de un diseño agronómico preciso, así como para el desarrollo del diseño geométrico y del diseño hidráulico necesarios para la implementación efectiva de un sistema de riego por micro aspersión.

6.3.1. Muestreo de suelos.

El análisis de la textura del suelo se realiza mediante la recolección de una muestra representativa seleccionada aleatoriamente en la parcela, siguiendo un esquema en zigzag. Para ello, se obtienen entre 10 y 20 submuestras utilizando un palín, una herramienta con forma de "V". Si el suelo presenta humedad, las submuestras se dejan secar a la sombra antes de ser homogenizadas. Luego, se toma una muestra de 1.0 a 2.0 kg, la cual se almacena en bolsas etiquetadas para su posterior análisis en el laboratorio. La determinación de la textura se lleva a cabo mediante el hidrómetro de Bouyoucos, que mide la sedimentación de partículas, y el método del tacto, que evalúa la textura a través de la percepción sensorial

- **Método del Hidrómetro de Bouyoucos.**

En el laboratorio, se utiliza el hidrómetro de Bouyoucos para determinar la textura del suelo a través de la separación de las partículas de arena, limo y arcilla. La muestra se dispersa en agua con un dispersante (como el fosfato de sodio), y luego se mide la sedimentación de las partículas en un cilindro. El hidrómetro mide la densidad de las partículas suspendidas en el agua en diferentes momentos, lo que permite calcular la proporción de cada fracción del suelo (arena, limo, arcilla) a partir de las lecturas obtenidas a diferentes tiempos de sedimentación.

- **Método del Tacto.**

El método del tacto es una técnica simple que permite evaluar la textura del suelo de manera rápida en el campo. Para ello, se toma una pequeña muestra de suelo húmedo entre los dedos y se frotan las partículas. Dependiendo de cómo se sienta el suelo, se puede clasificar como arenoso (grano grueso, rugoso), limoso (suave, pegajoso) o arcilloso (pegajoso y elástico). Este método proporciona una estimación subjetiva de la textura del suelo sin la precisión de los métodos de laboratorio, pero es útil para una evaluación rápida en el terreno.

6.3.2 Determinación de la velocidad de infiltración.

La velocidad de infiltración se midió con el método de Porchet, usando un agujero cilíndrico de 15 cm de diámetro y 30 cm de profundidad. Se aplicó agua con precisión, midiendo el tiempo de infiltración con una regla graduada y cronómetro.

6.3.3 Determinación para el levantamiento topográfico del área en estudio.

La inspección preliminar del terreno incluye la identificación de fuentes de agua y el levantamiento topográfico. Para ello, se emplea Google Earth Pro para la visualización del área y la exportación del mapa topográfico. Posteriormente, el análisis de líneas de contorno, pendientes y distancias se realiza mediante Global Mapper. Finalmente, el diseño geométrico del terreno es desarrollado utilizando AutoCAD.

6.3.4 Determinación para el diseño de riego por microaspersión.

El diseño de sistemas de riego por microaspersión se enfoca en satisfacer la demanda máxima de agua durante la etapa vegetativa del cultivo, considerando la evapotranspiración (ETc) en los meses cálidos. Se utiliza la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) para determinar el caudal de diseño y seleccionar materiales eficientes. Los cálculos se realizan con el software CROPWAT 8.0, que asegura una capa diaria de agua adecuada y compensa las pérdidas por evapotranspiración. El diseño involucra tres componentes clave: agronómico, geométrico e hidráulico.

- **Diseño agronómico.**

El diseño agronómico optimiza el uso del agua calculando los requerimientos hídricos del cultivo, considerando la evapotranspiración máxima (ETc) durante los meses cálidos. Utiliza la evapotranspiración de referencia (ETo) para determinar el caudal necesario. Con el software CROPWAT 8.0, se realizan cálculos precisos sobre las necesidades hídricas y las pérdidas por evapotranspiración. El objetivo es

aplicar una cantidad diaria de agua adecuada para satisfacer las necesidades del cultivo y favorecer su crecimiento.

- Formulas a utilizar.

La fórmula del Déficit del Cultivo (DC) calcula el agua necesaria para un cultivo, combinando su etapa de desarrollo (Kc) y la evapotranspiración de referencia (Eto) para programar riegos eficientes.

Formula 1.

Déficit del cultivo.

$$\boldsymbol{DC = Kc\ x\ Eto} \qquad \textbf{(1).}$$

Donde:

- DC = Déficit del cultivo (mm/día)
- Kc = Coeficiente del cultivo
- Eto = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

La ecuación de Intensidad de Aplicación (IA) calcula el agua aplicada por unidad de superficie y tiempo, optimizando el diseño y evitando desperdicios.

Formula 2.

Intensidad de Aplicación.

$$\boldsymbol{IA = \frac{Qe\ x\ 1000}{Ee\ x\ El}} \qquad \textbf{(2).}$$

Donde:

- IA= Intensidad de aplicación (mm/hr)
- Qe = Caudal del emisor (lph)
- Ee = Espaciamiento entre emisores.
- Es = Espaciamiento entre surco.

La ecuación de lámina de riego calcula el agua a aplicar considerando el déficit del cultivo (DC) y la frecuencia de riego (FR) para optimizar su uso.

Formula 3.

Lamina de Riego.

$$\boldsymbol{LR = DC\ x\ FR} \qquad \textbf{(3).}$$

Donde:

- LR = Lamina de riego (mm)
- DC = Déficit del cultivo. (mm/hr)
- FR = Frecuencia de riego (día)

La ecuación de tiempo de riego calcula el tiempo necesario para aplicar la lámina de riego (LR) según la intensidad de aplicación (IA), optimizando el riego.

Formula 4.

Tiempo de riego.

$$\boldsymbol{TR = \frac{LR}{IA}} \qquad \textbf{(4).}$$

Donde:

- TR = Tiempo de riego (hr)
- LR = Lamina de riego (mm)
- IA = Intensidad de aplicación. (mm/hr)

La ecuación de caudal por hectárea calcula el caudal necesario por hectárea según la intensidad de aplicación (IA), asegurando una distribución uniforme del agua.

Formula 5.

Caudal por Hectárea.

$$\boldsymbol{Qha = IA\ x\ 10} \qquad \textbf{(5).}$$

Donde:

- Qha = Caudal por hectárea (mch/ha)
- IA = Intensidad de aplicación (mm/hr)

La ecuación de caudal del turno calcula el caudal necesario para un turno de riego según el área del cultivo y el caudal por hectárea (Qha), optimizando la distribución del agua.

Formula 6.

Caudal Total.

$$\boldsymbol{QT = Area\ x\ Qha} \qquad \textbf{(6).}$$

Donde:

- QT = Caudal Total
- Área = Área de cultivo (m^2)
- Qha = Caudal por hectárea (mch/ha)

La ecuación de área de válvula calcula el área asignada a cada válvula, optimizando la distribución de agua según el número de válvulas disponibles

Formula 7.

Área de la Válvula.

$$\boldsymbol{AV = \frac{Area}{N°Valv}} \qquad \textbf{(7).}$$

Donde:

- AV = Área de válvula (ha)
- Área = Área de cultivo (m^2)
- N°Valv = Numero de válvulas

La ecuación de caudal de la válvula calcula el caudal que maneja cada válvula según el área asignada y el caudal por hectárea, asegurando un riego eficiente.

Formula 8.

Caudal de la válvula.

$$\boldsymbol{QV = AV * Qha} \qquad \textbf{(8).}$$

Donde:

- AV = Área de válvula (ha)
- QV = Caudal de válvula (mch)
- Qha = Caudal por hectárea (mch/ha)

La ecuación de número de turnos calcula los turnos necesarios para cubrir el caudal del turno con la capacidad de la bomba, optimizando su uso.

Formula 9.

Numero de Turnos.

$$\boldsymbol{N°T = \frac{QT}{QBomb}} \qquad \textbf{(9).}$$

Donde:

- N°T = Numero de turnos
- QT = Caudal del turno (gpm)
- Qbomb = Caudal de la bomba (gpm)

La ecuación de jornada de riego calcula la duración total del riego, optimizando su organización para una distribución eficiente del agua.

Formula 10.

Jornada de Riego.

$$\boldsymbol{JR = TR\ x\ N°T} \qquad \textbf{(10).}$$

Donde:

- JR = Jornada de riego (hr)
- TR = Tiempo de riego (hr)
- N°T = Numero de turnos

La fórmula de diámetro económico optimiza el flujo y la velocidad de circulación del agua, reduciendo costos y mejorando la eficiencia del sistema de riego.

Formula 11.

Diámetro económico.

$$\boldsymbol{D_{eco} = \sqrt{\frac{4*Q}{V*\pi}}} \qquad \textbf{(11).}$$

- Q = Caudal (m^3/s)
- V = Velocidad (m/s)
- π = Constante matemática para la determinación del área de secciones circulares.

La fórmula del diámetro económico permite determinar el diámetro óptimo de tubería, maximizando la eficiencia y el uso adecuado de los recursos.

Formula 12.

Lamina de Riego.

$$\boldsymbol{L_r = \left(\frac{CC-PM}{100}\right) * D_a * Prof} \qquad \textbf{(12).}$$

- LR = Lamina de riego (mm)
- CC = Capacidad de campo (%)
- PMP = Punto de marchitez permanente (%)
- Da = Densidad aparente (gr/cm3)
- PROF= Profundidad radicular (cm)

La lámina de riego es la cantidad de agua necesaria para reponer la humedad del suelo y cubrir las necesidades hídricas del cultivo, garantizando eficiencia y buen rendimiento.

Formula 12.

Lamina Neta.

$$\boldsymbol{L_n = LR * AGOTAMIENTO}\ \% \qquad \textbf{(13).}$$

- LN = Lamina de riego neta (mm)
- LR = Lamina de riego (mm)
- CC = Agotamiento permisible (%)

La lámina neta de riego es la cantidad exacta de agua que necesita el cultivo para reponer la humedad del suelo en la zona radicular, sin considerar pérdidas por evaporación, escurrimiento o infiltración profunda.

Formula 13.

Demanda Hídrica Bruta.

$$\boldsymbol{DHB = \frac{Et_r}{Ef}} \qquad \textbf{(14).}$$

- DHB = Demanda hídrica bruta (mm/día)
- ETR = Evapotranspiración real (mm/día)
- EF = Eficiencia del sistema de riego (%)

La demanda hídrica bruta es la cantidad total de agua que se debe aplicar al cultivo, considerando la lámina neta de riego más las pérdidas por evaporación, escurrimiento, filtración profunda y otras ineficiencias del sistema, para garantizar que la planta reciba el agua necesaria.

Formula 14.

Lamina Neta Corregida.

$$L_c = DHB * FR \quad \textbf{(15).}$$

- LC = Lamina neta corregida (mm)
- DHB = Demanda Hídrica Bruta (mm/día)
- FR = Frecuencia de riego (día)

La lámina neta corregida es la cantidad de agua que realmente debe aplicarse al cultivo, ajustada para tener en cuenta factores como eficiencia del riego, uniformidad de aplicación y pérdidas menores, garantizando que la planta reciba la humedad necesaria de manera precisa.

Formula 15.

Área del Turno.

$$A_t = \frac{Area}{NT} \quad \textbf{(16).}$$

- AT = Área del turno (ha)
- Área = Área del cultivo (ha)
- NT = Numero de turnos

El área del turno es la superficie de cultivo que un sistema de riego puede abastecer en un solo ciclo, de acuerdo con la capacidad de agua disponible y el tiempo destinado a aplicar la lámina de riego necesaria.

Formula 16.

Caudal del Turno.

$$Q_t = At * Qha \quad \textbf{(17).}$$

- QT = Caudal del tuno (mch)
- AT = Área del turno (ha)
- QHA = Caudal por hectárea (mch/ha)

El caudal del turno es el volumen de agua que debe suministrarse por unidad de tiempo para regar el área del turno, asegurando que se aplique la lámina de riego necesaria dentro del tiempo disponible.

6.3.5 Diseño geométrico para el diseño de sistema de riego por micro aspersión.

El diseño geométrico se realizará en AutoCAD, basado en estudios topográficos y agronómicos. Se organizarán áreas, calcularán líneas laterales y orientarán tuberías principales. Además, se definirá un horario de operación para sistemas de microaspersión. Todo busca optimizar el uso del agua y garantizar una distribución eficiente en las áreas designadas, aprovechando los recursos disponibles.

6.3.6 Diseño hidráulico para el diseño de sistema de riego por micro aspersión.

En el diseño del sistema de riego por microaspersión, se debe seleccionar el material adecuado para las tuberías, considerar el factor de rugosidad y establecer el caudal de diseño, basándose en el diseño agronómico. Es importante definir la longitud crítica de la tubería de conducción desde el equipo de bombeo hasta el último turno de riego. También se calculan los diámetros de las tuberías, manifold y laterales, considerando las pérdidas por fricción y las velocidades admisibles, utilizando el método de Hazen-Williams.

La ecuación de Hazen-Williams calcula la pérdida de carga en tuberías considerando caudal, diámetro y rugosidad, útil para estimar presiones y flujos en sistemas de riego.

Formula 17.

Perdidas por fricción Hazen-Williams

$$\boldsymbol{HF = 10.67\, x\, (\frac{Q}{C})^{1.852}\, \mathrm{x}\, (\frac{L}{D^{4.87}})} \qquad \textbf{(18).}$$

Donde:

- HF = Perdidas por fricción (m)
- Q = Caudal (m^3 / s)
- C = Factor de rugosidad del material
- L = Longitud de la tubería (m)
- D = Diámetro de la tubería (m)

6.3.7 Diseño metodológico para determinar costos de inversión.

La inversión necesaria para los proyectos de riego puede variar significativamente debido a diversos factores, como la distancia a la fuente de agua, la necesidad de bombeo, y las infraestructuras requeridas para la captación y almacenamiento. También influyen los materiales empleados, las condiciones del mercado y los equipos necesarios para la implementación del sistema. Estas variables determinan el costo total y deben ser cuidadosamente analizadas para asegurar que la inversión sea adecuada y sostenible en el tiempo.

Para estimar los costos de un sistema de microaspersión, se utiliza un método de estimación detallada que permite calcular los recursos necesarios con precisión. Este enfoque se basa en cotizaciones de mercado actuales, mediciones exactas de los componentes y la aplicación de costos unitarios por cada elemento. Así, se garantiza que los valores calculados reflejen fielmente los recursos requeridos para el proyecto, evitando subestimaciones o sobrecostos que puedan afectar la viabilidad económica.

En el proceso se consideran los costos directos, incluyendo materiales, excavación, mano de obra y transporte. La inclusión de todos estos elementos permite elaborar una propuesta completa y transparente para el productor, asegurando claridad en la inversión requerida. Este análisis integral no solo optimiza la planificación financiera, sino que también contribuye a la eficiencia del proyecto, maximizando los beneficios económicos y asegurando la correcta ejecución del sistema de riego.

VII. ANALISIS Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS.

7.1 Delimitación y análisis topográfico del área de estudio.

Se realizó un estudio topográfico del área utilizando GPS para obtener mediciones precisas del terreno y Google Earth para visualizarlo y analizar sus características. Con esta información, se diseñó un sistema de riego por microaspersión, optimizando el uso del agua según las condiciones del terreno. Posteriormente, se generaron las curvas de nivel mediante el software Global Mapper, exportando los datos en formato DWG para su integración con AutoCAD, lo que permitió elaborar los planos necesarios para implementar el sistema de riego de manera precisa.

7.1.1 Estudio y medición de las características topográficas del área en estudio.

Mediante la ejecución de un estudio detallado y la medición de las características topográficas de la zona de análisis, utilizando el software Global Mapper, se identificó que el área presenta una configuración irregular en su relieve. La superficie total abarca aproximadamente 2.67 hectáreas, lo que equivale a 3.79 manzanas según la unidad de medida utilizada comúnmente en el sector agrícola nicaragüense.

En lo referente a las curvas de nivel, se determinó que la diferencia altimétrica existente entre la estación de bombeo y el punto más crítico del diseño del sistema de riego es de 4 metros. La estación de bombeo se ubica a una altitud de 56 msnm, mientras que el punto crítico alcanza los 60 msnm.

El trazado en línea recta entre estos dos puntos presenta una distancia horizontal de 312 metros. Con base en esta información, y aplicando la relación entre la diferencia de elevación y la distancia horizontal, se calculó una pendiente negativa equivalente al 1.28 %, valor que resulta determinante para el dimensionamiento hidráulico y la eficiencia operativa del sistema de riego proyectado.

Figura 10.

Delimitación del polígono del área en estudio.



Fuente: Elaboración propia creada con el software Google Earth Pro.

7.1.2 Generación de curvas de nivel para el análisis topográfico del terreno.

Una vez completado el levantamiento topográfico utilizando Google Earth, se procedió a la generación de las curvas de nivel empleando el software Global Mapper, específicamente en su versión 22.1. Este programa se destacó por su capacidad para facilitar la creación de las curvas de nivel de manera precisa y eficiente. Una de sus principales ventajas es su capacidad para exportar el archivo generado en formato DWG, un tipo de archivo ampliamente reconocido y utilizado en el ámbito de diseño, particularmente en aplicaciones de Autodesk.

Este formato es especialmente valioso para nuestra tarea, ya que nos permitirá trabajar de manera fluida con AutoCAD, herramienta fundamental en el desarrollo del diseño del sistema de riego por microaspersión, asegurando la compatibilidad y la precisión en la elaboración de los planos necesarios para la implementación del sistema. Ver Lamina 1/3 de anexo de planos, pág. XVI

7.2 Datos generales del equipo de bombeo.

El sistema de bombeo actualmente instalado en la finca agrícola experimental UNI FAE posee las características técnicas y operativas necesarias para satisfacer los requerimientos establecidos en el desarrollo de este proyecto, asegurando un suministro eficiente y continuo de agua, fundamental para llevar a cabo las actividades planificadas.

Tabla 4.

Información del sistema de bombeo.

DATOS GENERALES		
Tipo de fuente de agua	Pozo artesiano	
Tipo de equipo de bombeo	Bomba sumergible	
Marca del equipo de bombeo	Franklin Electric	
Presión	Entrada 29 PSI abierta 14 PSI cerrada	Salida 7 PSI cerrada 15 PSI cerrada
Diámetro de descarga	4"	
Potencia del equipo de bombeo	20 hp	
Profundidad del pozo	76.2 m	
Nivel dinámico	30.76 m	

Fuente: Elaboración propia.

La bomba que se encuentra en el área de estudio tiene la capacidad de suministrar un caudal de 182.824 galones por minuto (gpm), valor suficiente para cubrir los requerimientos hidráulicos del proyecto y asegurar un flujo constante en toda la red. Operará a una presión de trabajo de 113.30 libras por pulgada cuadrada (PSI), calculada en función de la topografía, la distancia de conducción y las pérdidas de carga, garantizando así la distribución eficiente del agua incluso en los puntos de mayor elevación.

7.3 Determinación de las propiedades hidrofísicas del suelo.

Tabla 5.

Características generales de las propiedades hidrofísicas del suelo.

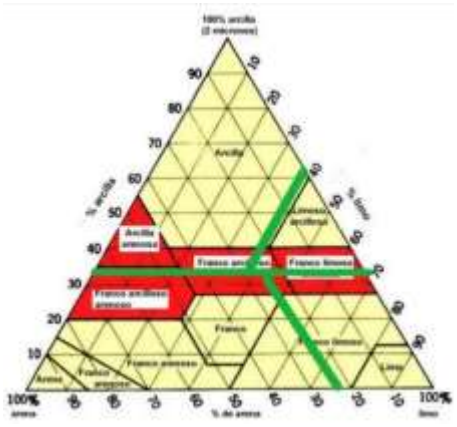
DATOS GENERALES		
DESCRIPCION	VALOR	UNIDADES
Capacidad de campo (CC)	61.76	%
Punto de marchitez permanente (PMP)	33.38	%
Densidad Aparente	1.09	g/ cm3
Contenido de humedad	42.86	cm3/cm3
Profundidad	60	cm
Porcentaje de agotamiento permisible	60	%

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio, se estableció que la muestra de suelo evaluada presenta un 38.46% de arcilla, un 23.14% de arena y un 38.40% de limo. Estos valores fueron utilizados para clasificar la textura del suelo, determinándose que corresponde a un suelo de tipo franco arcilloso, conforme a los criterios de clasificación textural establecidos en el triángulo textural. Ver figura 11.

Figura 11.

Determinación de textura de suelo utilizando el triángulo textural.



Fuente: Triangulo textural FAO

- Al manipular la muestra, se observaron características distintivas asociadas a un suelo franco arcilloso, como la presencia de pequeños grumos al amasarlo, una alta adherencia que generó manchas en las manos, la formación de una superficie rizada al ser raspado con la uña y una textura talcosa una vez seco.

- El contenido de humedad del suelo se determinó en un 30%, representando la cantidad de agua retenida en la matriz edáfica en relación con su peso seco. Este valor fue obtenido a través del método del cilindro, el cual permitió recolectar una muestra inalterada para su análisis. La humedad se calculó comparando los pesos húmedo y seco de la muestra tras un proceso de secado en un horno a 100 Cº.

- Mediante la aplicación del método del cilindro en una muestra inalterada recolectada en la zona de estudio, se determinó que la densidad aparente del suelo es de 1.09 g/cm³.

- Se determinó que la capacidad de campo del suelo es del 28%, representando la máxima cantidad de agua retenida tras el drenaje gravitacional. Asimismo, el punto de marchitez permanente se estableció en un 17%, indicando el límite de humedad en el cual las plantas no pueden absorber agua. Estos valores fueron obtenidos mediante análisis en laboratorio.

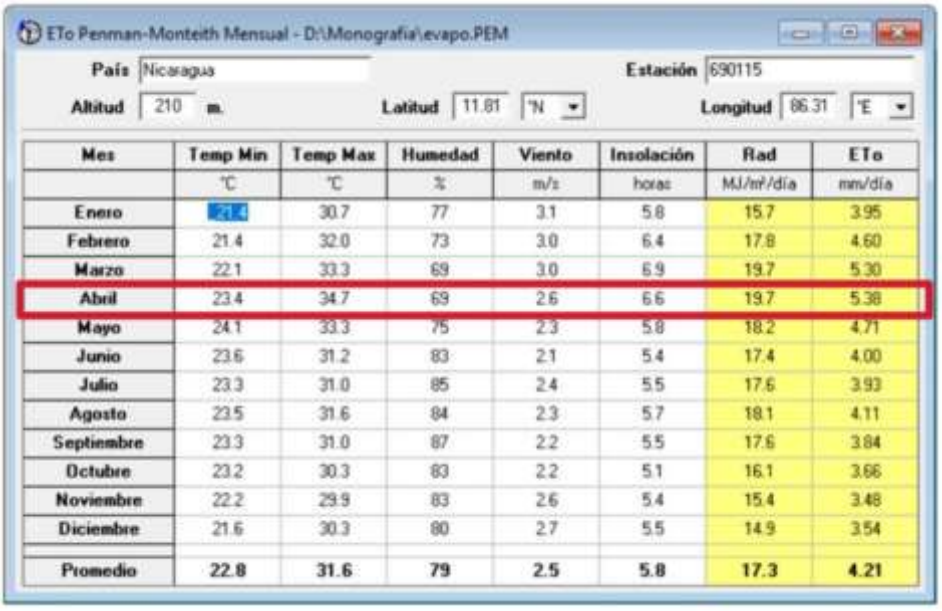
7.4 Parámetros de diseño del sistema de riego de la zona en estudio.

7.4.1 Determinación de la Evapotranspiración (Eto).

Se calculó el valor de Eto utilizando el método FAO Penman-Monteith, reconocido por su precisión y recomendación en la estimación de esta variable, considerando los parámetros climáticos necesarios y las mediciones de la superficie de referencia. Los datos específicos sobre geolocalización, precipitación, velocidad del viento, y temperaturas mínima y máxima fueron proporcionados por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Para el análisis, se empleó el software CROPWAT y datos meteorológicos de la estación de Masaya (2001-2017), obteniendo una Eto máxima de 5.38 mm/día en abril, mes de mayor temperatura en Nicaragua. Ver figura 12

Figura 12.

Determinación de la evapotranspiración mediante el uso del sotfware cropwat.



Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	21.4	30.7	77	3.1	5.8	15.7	3.95
Febrero	21.4	32.0	73	3.0	6.4	17.8	4.60
Marzo	22.1	33.3	69	3.0	6.9	19.7	5.30
Abril	23.4	34.7	69	2.6	6.6	19.7	5.38
Mayo	24.1	33.3	75	2.3	5.8	18.2	4.71
Junio	23.6	31.2	83	2.1	5.4	17.4	4.00
Julio	23.3	31.0	85	2.4	5.5	17.6	3.93
Agosto	23.5	31.6	84	2.3	5.7	18.1	4.11
Septiembre	23.3	31.0	87	2.2	5.5	17.6	3.84
Octubre	23.2	30.3	83	2.2	5.1	16.1	3.66
Noviembre	22.2	29.9	83	2.6	5.4	15.4	3.48
Diciembre	21.6	30.3	80	2.7	5.5	14.9	3.54
Promedio	22.8	31.6	79	2.5	5.8	17.3	4.21

Fuente: Cropwat 8.0

7.4.2 Coeficiente del cultivo (KC).

En el proceso de diseño de sistemas de riego, resulta fundamental la consideración del coeficiente de evapotranspiración del cultivo (Kc), parámetro adimensional que refleja la relación entre la evapotranspiración real del cultivo y la evapotranspiración de referencia. Para el presente proyecto, se ha tomado en cuenta el valor máximo de este coeficiente, establecido en 1.20, el cual corresponde a las etapas fenológicas en las que el cultivo presenta su mayor demanda hídrica. Este valor es determinante para el cálculo preciso de las necesidades de riego, ya que permite dimensionar el sistema de manera que se garantice el suministro adecuado de agua durante los periodos críticos de crecimiento y producción, evitando déficits que puedan afectar el rendimiento agrícola. Ver figura 17 de anexo, pág. iv.

Tabla 6.

Kc del cultivo de plátano.

	Kc del cultivo de plátano		
Etapa	Kc In	Kc med	Kc fn
1er. Año	0.15	1.10	0.90
2do. Año	0.60	1.20	1.05

Fuente: (FAO, 2006).

7.5 Velocidad de infiltración.

Con base en las mediciones realizadas en el campo, se evaluó la tasa de infiltración utilizando el método de Porchet, resultando en un valor de 8.22 mm/hora, lo cual sugiere una velocidad de infiltración moderadamente lenta. Este valor se calculó considerando la profundidad alcanzada en intervalos de 5 minutos, hasta completar un total de 120 minutos (2 horas) de prueba. Ver tabla 22 de anexo, pág. vi.

El tipo de suelo identificado en la zona de estudio corresponde a la clasificación de franco arcilloso, caracterizado por presentar una infiltración moderada que resulta

favorable para la implementación de sistemas de riego eficientes. Esta textura ofrece un equilibrio óptimo entre capacidad de retención de humedad y drenaje, permitiendo almacenar el agua suficiente para el desarrollo de los cultivos sin generar encharcamientos. Además, su estructura posibilita una adecuada aireación en la zona radicular, favoreciendo el intercambio gaseoso y contribuyendo al óptimo crecimiento y rendimiento de las plantas. Ver Tabla 7

Tabla 7.

Parámetros de velocidades de infiltración.

Tipo de Suelo	Velocidad de Infiltración (mm/hora)	Características	Parámetros
Suelos arcillosos	0.1 - 2.0	Baja infiltración, alta capacidad de retención de agua	Baja permeabilidad, alta retención de agua
Suelos franco arcillosos	2.0 - 8.0	Infiltración moderada, adecuada para cultivos de riego eficiente	Balance entre retención y drenaje, adecuada aireación
Suelos francos	5.0 - 15.0	Infiltración moderada a rápida, ideal para riego eficiente	Buena estructura, equilibrio entre drenaje y retención de agua
Suelos arenosos	10.0 - 30.0	Alta infiltración, pero con riesgo de pérdida rápida de agua	Baja capacidad de retención, drenaje rápido, alta porosidad
Suelos limosos	2.0 - 5.0	Infiltración moderada, adecuado para riego eficiente	Textura intermedia, porosidad adecuada para control de agua
Suelos orgánicos (turba)	3.0 - 15.0	Alta infiltración, alto contenido de materia orgánica	Alta capacidad de retención de agua, poroso, buena aireación

Fuente: (FAO, 2009)

7.6 Diseño del sistema de riego por micro aspersión.

7.6.1 Diseño agronómico.

El diseño agronómico del sistema de riego por microaspersión, implementado para un cultivo de plátano en un área de 2,67 hectáreas, se fundamentó en la recopilación y análisis de datos edáficos y climáticos. Presentó una capacidad de campo de 61,76 %, un punto de marchitez permanente de 33,38 %, una densidad aparente de 1,09 g/cm³ y un contenido de humedad actual de 42,86 %, parámetros que influyeron directamente en la determinación de las necesidades hídricas del cultivo.

La evapotranspiración real de 6,46 mm/día es la demanda hídrica neta del cultivo.

Tabla 8.

Datos del sistema de riego.

Datos del sistema de riego		
Descripción	Valor	Unidades de medida
Método de riego	Micro aspersión	
Marco de plantación	Rectangular	
Modelo del aspersor	Aquamaster 2005	
Frecuencia de riego	1	dia
Caudal del aspersor	70	lph
Presión de trabajo	2	Bar
Diámetro mojado	7	m
Espaciamiento entre emisores (Ee)	4.5	m
Espaciamiento entre laterales (El)	5	m
Caudal de bombeo (gpm)	182.76	gpm
Caudal de bombeo (m3/hr/)	41.52	m3/hr
Longitud del lateral	53.91	m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.

Datos edáficos.

Datos edáficos		
Descripción	Valor	Unidades de medida
Capacidad de campo (CC)	61.76	%
Punto de marchitez permanente (PMP)	33.38	%
Densidad aparente (Da)	1.09	gr/cm3
Contenido de humedad	42.86	%
Profundidad	60	Cm
Porcentaje de agotamiento permisible	60	%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.

Datos ambientales.

Datos ambientales		
Descripción	Valor	Unidades de medida
Área	2.67	ha
Cultivo	Plátano	
Evapotranspiración potencial (Eto)	5.38	mm/día
Coeficiente del cultivo (Kc)	1.20	
Evapotranspiración real (Etr)	6.46	mm/día
Eficiencia	80	%
Demanda hídrica bruta (DBH)	8.08	mm/día

Fuente: Elaboración propia

- **Evapotranspiración real.**

Mediante la aplicación de la fórmula 1, se calculó la necesidad hídrica diaria del cultivo, obteniéndose un valor de 6,46 mm/día.

$$Et_r = 5.38 \frac{mm}{dia} * 1.20 = 6.46\, mm/dia$$

$$Et_r = 6.46\, mm/dia$$

Este resultado representa la cantidad de agua requerida para compensar las pérdidas por evapotranspiración y mantener el cultivo en condiciones óptimas de crecimiento, asegurando así un equilibrio hídrico adecuado durante su desarrollo.

- **Lamina de riego.**

Mediante la fórmula número 12, considerando la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente, la densidad aparente y la profundidad radicular del cultivo, se determinó un valor de 185,60 mm.

$$L_r = \left(\frac{61.76\% - 33.38\%}{100}\right) * 1.09 \frac{gr^3}{cm} * 60cm = 18.56\ cm$$

$$L_r = 18.56\ cm \cong 185.60\ mm$$

Este valor representa el volumen máximo de agua que el suelo puede retener, constituyendo la humedad disponible para el cultivo antes de que ocurran pérdidas por escorrentías y percolación. Resulta fundamental para programar la frecuencia y duración de riego, optimizando el uso del recurso hídrico y asegurando un desarrollo vegetal óptimo.

- **Lamina neta.**

Aplicando la fórmula número 13, considerando el porcentaje de agotamiento permisible y adicionando un 40 % por la alta capacidad de campo de los suelos arcillosos, se obtuvo un valor de 74.24 mm.

$$L_n = 185.60\ mm * 40\% = 74.24\ mm$$

$$L_n = 74.24\ mm$$

Esta lámina indica el volumen de agua a aplicar en cada riego para mantener la humedad por encima del punto de marchitez permanente, asegurando un crecimiento adecuado de las plantas, evitando estrés hídrico y optimizando el rendimiento del cultivo.

- **Demanda hídrica bruta.**

Mediante la aplicación de la fórmula número 14, se determinó un valor de 8,08 mm/día, que corresponde a la lámina real de riego necesaria para el cultivo.

$$DHB = \frac{6.46\ mm/dia}{80\%} = 8.08\ mm/dia$$

$$DHB = 8.08\ mm/dia$$

Este cálculo considera una evapotranspiración real de 6,46 mm/día y una eficiencia de diseño del 80 %, asegurando que el volumen de agua aplicado compense las pérdidas del sistema y satisfaga las necesidades hídricas del cultivo de manera efectiva.

- **Frecuencia de riego.**

A través de la fórmula de frecuencia de riego, se determinó que el intervalo óptimo entre riegos es de nueve días, lo que permite mantener la humedad del suelo dentro de los niveles necesarios para el crecimiento adecuado del cultivo.

$$FR = \frac{74.24\ mm}{8.08\ mm/dia} = 9.18\ dias$$

$$FR = 9.18\ dias \cong 9\ dias$$

- **Lamina neta corregida.**

Mediante la fórmula número 15 se determinó la lámina neta corregida, considerando la frecuencia de riego diario que será aplicado por el sistema de riego localizado.

$$L_c = 8.08 \frac{mm}{dia} * 1\ dia = 8.08\ mm$$

$$L_c = 8.08\ mm$$

Se obtuvo un valor de 8.08 mm, que representa las necesidades hídricas del cultivo como lamina de riego neta aplicar.

- **Intensidad de aplicación.**

Aplicando la fórmula 2 para la intensidad de aplicación, se obtuvo un valor de 3,11 mm/h.

$$I_{ap} = \frac{70\ lph}{5\ m * 4.5\ m} = 3.11 \frac{mm}{hr}$$

$$I_{ap} = 3.11 \frac{mm}{hr}$$

Este resultado indica la velocidad a el agua es aplicada durante el riego para garantizar una distribución uniforme.

- **Tiempo de riego.**

Mediante la aplicación de la fórmula 4, se determinó un tiempo de riego de 2 horas y media.

$$TR = \frac{8.08\ mm}{3.11\ mm/hr} = 2.59\ hr$$

$$TR = 2.59\ hr \cong 2\ hr\ y\ 30\ minutos$$

Esta es la duración necesaria para garantizar que el volumen de agua se aplique de manera uniforme y cubra las necesidades hídricas del cultivo.

- **Caudal por hectárea.**

Mediante la aplicación de la fórmula 5, se determinó un caudal por hectárea de 31,10 m³/h.

$$Q_{ha} = 3.11 \frac{mm}{hr} * 10 = 31.10 \frac{mch}{ha}$$

$$Q_{ha} = 31.10 \frac{mch}{ha}$$

Este es el valor necesario para asegurar un suministro adecuado de agua que cubra las demandas del cultivo de manera eficiente.

- **Caudal total.**

Mediante la aplicación de la fórmula 6, se calculó el caudal total del sistema, obteniéndose un valor de 365,53 gpm.

$$Q_{total} = 2.67\ ha * 31.10 \frac{mch}{ha} = 83.04\ m^3/hr$$

$$Q_{total} = 83.04 \frac{m^3}{hr} \cong 365.53\ gpm$$

Resultado basado en el caudal por hectárea y el área total del cultivo, asegurando así un suministro de agua adecuado para cubrir las necesidades hídricas de toda la parcela.

- **Numero de turnos.**

Mediante la aplicación de la fórmula 9, se determinó que el riego debe realizarse en dos turnos, optimizando la distribución del agua y asegurando una cobertura uniforme en todo el cultivo.

$$Turnos = \frac{365.53\ gpm}{167.67\ gpm} = 2.18\ turnos$$

$$Turnos = 2.18\ turnos\ \cong 2\ turnos$$

- **Área del turno.**

Mediante la aplicación de la fórmula número 16, se determinó que cada turno de riego abarcará un área de 1,34 hectáreas, lo que permite una distribución eficiente del agua y un manejo adecuado del recurso hídrico en el cultivo.

$$A_t = \frac{2.67\ ha}{2} = 1.34\ ha$$

$A_t = 1.34\ ha$

- **Caudal turno.**

Mediante la aplicación de la fórmula número 17, se determinó un caudal de 182,76 gpm.

$$Q_t = 1.34\ ha * 31.10 \frac{mch}{ha} = 41.52\ m^3/hr$$

$$Q_t = 41.52 \frac{m^3}{hr} \cong 182.76\ gpm$$

Este resultado asegura que cada turno de riego reciba el volumen de agua necesario para satisfacer las demandas del cultivo de manera eficiente.

- **Jornada de riego.**

Mediante la aplicación de la fórmula 10, se determinó que la jornada de riego debe ser de 5 horas.

$$JR = 2.59\ hr * 2\ turnos = 5.18\ hr$$

$$JR = 5.18\ hr\ \cong\ 5\ hr$$

Este es el tiempo suficiente para garantizar la distribución uniforme del agua y cubrir las necesidades hídricas del cultivo.

Tabla 11.

Resumen del Diseño agronómico del sistema de riego.

Diseño agronómico		
Descripción	Valor	Unidades de medida
Evapotranspiración real	6.46	mm/día
Lamina de riego	185.60	mm
Lamina neta	74.24	Mm
DHB	8.08	mm/día
Frecuencia de riego	1	día
Lamina neta corregida	8.08	mm/día
Intensidad de aplicación	3.11	mm/hr
Tiempo de riego	2.59	Hr
Caudal por hectarea	31.10	mch/ha
Caudal del turno (m3/hr)	83.04	mch/m3
Caudal del turno gpm	365.53	Gpm
Numero de turnos	2	
Area del turno	1.34	Ha
Jornada de riego	5	Hr

Fuente: Elaboración propia.

7.6.2 Diseño geométrico.

Se utilizó AutoCAD para diseñar el área de 2,67 ha, definiendo el polígono y la orientación de siembra este-oeste, alineada con los laterales de riego, garantizando uniformidad y eficiencia en la aplicación del agua. El diseño permitió planificar estratégicamente los turnos de riego según la extensión del terreno y los requerimientos del cultivo.

El área se dividió en dos turnos de 1,34 ha cada uno, subdivididos según las válvulas instaladas, calculando el volumen de agua por válvula. Esto asegura un suministro hídrico equilibrado y uniforme, optimizando la operación de los turnos y contribuyendo al manejo sostenible del agua y al desarrollo óptimo del cultivo. Ver Lamina 2/3 de anexo de planos, pág. XVII

7.6.3 Diseño hidráulico.

Mediante la aplicación de la fórmula 12, se calcularon las pérdidas por fricción del sistema de riego por microaspersión, obteniéndose los resultados que permiten evaluar las reducciones de presión a lo largo de la red de distribución. Estos cálculos son fundamentales para dimensionar correctamente las tuberías, garantizar un flujo uniforme y asegurar que cada punto de riego reciba el caudal necesario para un funcionamiento eficiente del sistema.

- **Perdidas por fricción en tubería de conducción 4".**

$$H_f = 10.67 * (\frac{0.0115\ m^3/s}{150})^{1.852} * (\frac{294.07\ m}{(0.1087 m)^{4.87}})$$

$$H_f = 3.72\ m$$

- **Perdidas por fricción en tubería de conducción de 3".**

$$H_f = 10.67 * (\frac{0.0115\ m^3/s}{150})^{1.852} * (\frac{124.39\ m}{(0.0846\ m)^{4.87}})$$

$$H_f = 5.34\ m$$

$$\sum H_f = 3.72\ m + 5.34\ m = 9.06\ m$$

- **Perdidas por fricción en tubería lateral PE de 16 mm.**

$$H_f = 10.67 * (\frac{0.00023\ m^3/s}{140})^{1.852} * (\frac{54\ m}{(0.020\ m)^{4.87}})$$

$$H_f = 2.09\ m$$

La pérdida en el lateral con un diámetro interno de 20 milímetros es de 2.09 m. Esta será ajustada mediante la aplicación del factor de corrección propuesto por Christensen, el cual se determina en función del número de salidas, obteniéndose así la pérdida corregida correspondiente:

$$H_f = 2.09\ m * 0.3 = 0.627\ m$$

- **Cálculo de la perdida máxima permisible en el lateral y el manifold.**

$$Hf_{max} = 20\ m * 15\% = 3\ m$$

- **Perdidas por fricción en tubería de manifold de 2”**

$$H_f = 10.67 * (\frac{0.00596\ m^3/s}{150})^{1.852} * (\frac{62.30\ m}{(0.0574\ m)^{4.87}})$$

$$H_f = 5.21\ m$$

La pérdida registrada en el manifold es de 5.21 m. Esta será ajustada mediante la aplicación del factor de corrección propuesto por Christensen, el cual se determina en función del número de salidas, obteniéndose así la pérdida corregida correspondiente:

$$H_f = 5.21\ m * 0.3 = 1.56\ m$$

Cálculos de las velocidades en las tuberías que demanda el sistema de riego

Aplicando la fórmula de velocidades permisibles en tuberías se obtienen:

- **Cálculo de la velocidad en tubería de conducción de 4”.**

$$V = \frac{4 * 0.0115\ m^3/s}{(\pi * 0.1087\ m)^2}$$

$$V = 1.24\ m/s$$

- **Cálculo de la velocidad en tubería de conducción de 3”.**

$$V = \frac{4 * 0.0115\ m^3/s}{(\pi * 0.0846\ m)^2}$$

$$V = 2.05\ m/s$$

- **Cálculo de la velocidad en tubería lateral de 16 mm.**

$$V = \frac{4 * 0.0002\ m^3/s}{(\pi * 0.0140\ m)^2}$$

$$V = 1.52\ m/s$$

- **Cálculo de la velocidad en tubería de manifold de 2”**

$$V = \frac{4 * 0.0060\ m^3/s}{(\pi * 0.0566\ m)^2}$$

$$V = 2.37\ m/s$$

Los datos registrados en el sistema de conducción se obtuvieron velocidades de 1.24 m/s a 2.37 m/s que se mantienen dentro de los rangos permisibles establecidos para tuberías, conforme a los criterios técnicos aceptados en el diseño hidráulico. Esto garantiza un flujo eficiente, minimiza las pérdidas por fricción y evita problemas operativos como el desgaste prematuro o la generación de sobrepresiones, contribuyendo así a la durabilidad y buen funcionamiento del sistema. Ver tabla

Cálculos de diámetros de las tuberías que demanda el sistema de riego

Mediante la aplicación de la fórmula 11, se determinaron los diámetros económicos de las tuberías del sistema de riego.

- **Cálculo del diámetro económico en tubería de conducción de 4”**

$$D_{eco} = \sqrt{\frac{4 * 0.0115 m^3/s}{1.24\ \frac{m}{s} * \pi}}$$

$$D_{eco} = 0.1087\ m \cong 4"$$

- **Cálculo del diámetro económico en tubería de conducción de 3”**

$$D_{eco} = \sqrt{\frac{4 * 0.0115 m^3/s}{2.05 \frac{m}{s} * \pi}}$$

$$D_{eco} = 0.0845\, m \cong 3"$$

- **Cálculo del diámetro económico en tubería lateral de 16 mm”**

$$D_{eco} = \sqrt{\frac{4 * 0.0002 m^3/s}{1.52 \frac{m}{s} * \pi}}$$

$$D_{eco} = 0.0129\, m \cong 13\, mm$$

- **Cálculo del diámetro económico en tubería manifold de 2”**

$$D_{eco} = \sqrt{\frac{4 * 0.0060\, m^3/s}{2.37 \frac{m}{s} * \pi}}$$

$$D_{eco} = 0.0568\, m \cong 2"$$

Se obtuvieron diámetros en 4" y 3" para las conducciones principales, 2" para la tubería secundaria o manifold, y 16 mm para la manguera de polietileno. La selección de estos diámetros se realizó en concordancia con las velocidades de flujo recomendadas, garantizando un funcionamiento eficiente del sistema, una distribución uniforme del agua y la minimización de pérdidas por fricción a lo largo de toda la red de riego.

Tabla 12.

Perdidas por fricción calculadas del sistema.

TRAMOS	LONGITUD (mts)	CAUDAL (mch)	DIAMETRO		C	PERDIDA (mts)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDA Psi
			Pulg.	mm				
	CONDUCCION							
1	294.07	41.52	4"	108.72	150	3.72	1.24	5.29
2	124.39	41.52	3"	84.58	150	5.34	2.05	7.6
		TOTAL PERDIDA				9.06		
	LATERAL							
lateral 1	54	0.84		14	140	12.24	1.52	17.41
		SUMAS - PERDIDA				12.24		17.41
		HF CORRERGIDA				3.67		5.22
	MANIFOLD							
3	62.3	21.47	2"	56.63	150	5.57	2.37	7.92
	SUMAS - PERDIDA					5.57		7.92
	HF CORREGIDA					2.16		3.07

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de la presión en la descarga.**

$$P_{des} = Emisor + Lateral + Manifould + Conducción + Hidrociclon + Filtro + Desnivel + Valvula\ hidraulica + accesorios$$

$$P_{des} = 20 + 3.67 + 2.16 + 9.06 + 4.25 + 1.14 + 5.8 + 1.15 + 0.94$$

$$P_{des} = 48.18\ m$$

- **Cálculo de perdida en la columna.**

- $H_{fcolumna} = 10.67 * (\frac{0.0115\ m^3/s}{120})^{1.852} * (\frac{36\ m}{(0.1087m)^{4.87}})$

- $H_{fcolumna} = 0.685\ m$

- **Cálculo de la carga total dinámica.**

$CTD = Nivel\ dinamico + P_{des} + H_{fcolumna}$

$CTD = 30.76\,m + 48.18\,m + 0.685$

$CTD = 79.625\,m$

Tabla 13.

Carga total dinámica.

CARGA TOTAL DINAMICA	
DESCRIPCION	**PRESION (MTS)**
ASPERSOR/EMISOR	**20**
LATERAL	**3.67**
MANIFOULD	**2.16**
CONDUCCION	**9.06**
HIDROCICLON	**4.25**
FILTRO	**1.14**
DESNIVEL	**5.8**
VALVULA HIDRAULICA	**1.15**
PERDIDA EN LA COLUMNA	**0.685**
NIVEL DINAMICO	**30.76**
ACCESORIOS	**2.36**
PRESION TOTAL (MTS)	**81.04**
PRESION TOTAL (PIES)	**265.80**
PRESION TOTAL (PSI)	**115.07**

Fuente: Elaboración propia.

En el cálculo de la carga total dinámica se considera una presión de descarga de 48.18 metros, la cual incluye el nivel dinámico del pozo y una pérdida de carga adicional de 2.36 metros atribuida a los accesorios del sistema. Esta metodología difiere del cálculo de la presión de descarga aislada, en la cual no se contempla el nivel dinámico, lo que genera una diferencia en los resultados obtenidos.

Con base en estos resultados, se determinó los diámetros de la red de tuberías en el diseño hidráulico que abastecerá el sistema de riego donde la bomba debe operar con una presión en la sarta de descarga de 68.4 psi, lo que garantiza su capacidad para abastecer eficientemente el sistema de riego sin restricciones operativas. Lamina 3/3 de anexo de planos, pág. XVIII

7.7 Costos de inversión.

En las tablas presentadas se detalla de manera clara y ordenada la estimación correspondiente a la instalación de un sistema de riego por microaspersión, diseñado para garantizar una distribución eficiente y uniforme del agua en el área de cultivo. Esta estimación constituye una etapa fundamental dentro del proceso de planificación del sistema, ya que permite visualizar con precisión los recursos materiales necesarios y el costo asociado a su implementación.

La definición de los materiales requeridos se realizó a partir de un modelado técnico desarrollado en el software AutoCAD, herramienta que facilitó la representación gráfica del sistema de riego y la correcta disposición de cada uno de sus componentes. Mediante este modelado se logró establecer la ubicación exacta de la red principal, las líneas secundarias y los puntos de riego, asegurando así un diseño funcional y acorde a las necesidades del terreno y del cultivo.

A partir del diseño técnico, se determinaron las longitudes necesarias de tubería tanto para la red principal como para las líneas secundarias, considerando criterios técnicos como el trazado del sistema, la distancia entre microaspersores y la optimización del uso de materiales. Asimismo, se identificaron y cuantificaron los accesorios complementarios indispensables para la correcta instalación y operación del sistema, tales como conectores, codos, válvulas, derivaciones y elementos de control.

Con base en la información obtenida del modelado y la cuantificación de materiales, se procedió a la elaboración del presupuesto correspondiente. Este presupuesto refleja de manera detallada el costo total de los materiales contemplados en el

diseño, permitiendo tener una referencia económica confiable para la toma de decisiones. La estimación presupuestaria no solo facilita la evaluación de la viabilidad económica del proyecto, sino que también contribuye a una mejor gestión de los recursos durante la etapa de ejecución del sistema de riego.

7.7.1 Cálculo de los materiales necesarios para la implementación del sistema de riego por microaspersión.

- **Calculo tubería de conducción PVC**

Tabla 14.

Longitudes de tuberías de conducción PVC

Descripción	Longitud (m)
Tubería PVC 4"	294
Tubería PVC 3"	125

Fuente: Elaboración propia.

$$Nº\ Tuberias\ PVC\ 4" = \frac{294}{5.85} = 50.26\ Tubos \cong 51\ tubos$$

$$Nº\ Tuberias\ PVC\ 3" = \frac{125}{5.85} = 21.37\ Tubos \cong 22\ tubos$$

- **Calculo tubería de manifold PVC**

Tabla 15.

Longitudes de tuberías de manifold PVC

Descripción	Longitud (m)
Tubería PVC 2"	249

Fuente: Elaboración propia.

$$Nº\ Tuberias\ PVC\ 3" = \frac{291}{5.85} = 49.74\ Tubos \cong 50\ tubos$$

Tabla 16.

Presupuesto de materiales PVC

Lista de materiales PVC							
Proyecto	**Diseño de sistema de riego por microaspersión**						
Área de riego (Mz)	**3.79**						
Área de riego (Ha)	**2.67**						
Caudal (GPM)	**182.76**	**Ubicación**	**Finca agrícola experimental UNI (Comarca la bolsa, Masaya)**				
Presión en la descarga (PSI)	**68.51**						
		Materiales PVC					
Nº	**Unidad**	**Descripción**	**Cantidad**	**Costo Unitario**		**Costo Total**	
1	UND	Tubo PVC SDR 41 de 4"x 6 m	51	C$	840.00	C$	42,840.00
2	UND	Tubo PVC SDR 41 de 3"x 6 m	22	C$	588.00	C$	12,936.00
3	UND	Tubo PVC SDR 41 de 2"x 6 m	50	C$	352.80	C$	17,640.00
4	UND	Cruz Lisa PVC 4"	1	C$	600.00	C$	600.00
5	UND	Cruz Lisa PVC 3"	1	C$	520.00	C$	520.00
6	UND	Te Lisa PVC 4" S40	1	C$	250.00	C$	250.00
7	UND	Te Lisa PVC 3" S40	1	C$	189.00	C$	189.00
8	UND	Te Lisa PVC 2" S40	4	C$	65.00	C$	260.00
9	UND	Codo Liso PVC 3" x 90 S40	1	C$	180.00	C$	180.00
10	UND	Codo Liso PVC 2" x 90 S40	8	C$	56.00	C$	448.00
11	UND	Reducción Lisa PVC 4" x 3" S40	1	C$	190.00	C$	190.00
12	UND	Reducción Lisa PVC 4" x 2" S40	3	C$	220.00	C$	660.00
13	UND	Reducción Lisa PVC 3" x 2" S40	3	C$	165.00	C$	495.00
14	UND	Reducción Lisa PVC 2" x 1" S40	4	C$	52.00	C$	208.00
15	UND	Adaptador Macho PVC 2"	8	C$	35.00	C$	280.00
16	UND	Adaptador Hembra PVC 2"	2	C$	33.00	C$	66.00
17	UND	Adaptador Hembra PVC 1"	4	C$	23.00	C$	92.00
21	UND	Válvula de Bola Lisa PVC 3"	1	C$	1,564.00	C$	1,564.00

22	UND	Válvula de Bola Lisa PVC 2"	4	C$	532.00	C$	2,128.00
				Total		C$	81,546.00
				IVA		C$	12,231.90
		Costo total de materiales PVC		Total		C$	93,777.90
		Costo total por manzana		Total		C$	24,743.51

Fuente: Elaboración propia

La inversión total en materiales PVC para el sistema de riego por microaspersión asciende a C$ 93,777.90, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado (IVA). Este monto representa el costo total requerido para adquirir todas las tuberías, accesorios y válvulas necesarias para cubrir el área de riego de la parcela.

Para obtener el costo de inversión por manzana, se realiza una división simple: se toma el costo total de los materiales (C$ 93,777.90) y se divide entre la superficie total de la parcela, que es de 3.79 manzanas. Esta operación permite determinar cuánto capital se invierte, en promedio, en cada unidad de área. Al realizar la división, se obtiene un costo de C$ 24,743.51 por manzana, lo que refleja de manera precisa la inversión necesaria para cubrir una manzana de la parcela con el sistema de riego.

Tabla 17.

Lista de materiales riego

Lista de materiales riego							
Proyecto	**Diseño de sistema de riego por microaspersión**						
Área de riego (ha)	**2.67**						
Área de riego (mz)	**3.79**						
Caudal	**182.76 gpm**	**Ubicación**	**Finca agrícola experimental UNI (Comarca la bolsa, Masaya)**				
Presión en la descarga (PSI)	**68.51 PSI**						
Materiales de riego							
N.º	**Unidad**	**Descripción**	**Cantidad**	**Costo Unitario**		**Costo Total**	
1	UND	Rollos de manguera de PE 14 mm (500ML)	11	C$	4,662.00	C$	51,282.00
2	UND	Conectores inicial PVC x PE con Gormer	109	C$	25.00	C$	2,725.00
3	UND	Micro aspersor Aquamaster 2005 boquilla gris	1187	C$	59.20	C$	70,270.40
18	UND	Válvula hidráulica 2" dorot	4	C$	5,920.00	C$	23,680.00
19	UND	Válvula de aire triple efecto 2" Ari	2	C$	3,145.00	C$	6,290.00
20	UND	válvula de aire cinética 1"	4	C$	666.00	C$	2,664.00
					SUBTOTAL	C$	156,911.40
					IVA	C$	23,536.71
		Costo total materiales de riego				C$	180,448.11
		Costo total por manzana				C$	47,611.64

Fuente: Elaboración propia.

El costo total de los materiales, incluyendo tuberías, conectores, micro aspersores y válvulas, asciende a C$ 180,448.11, considerando el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

Para calcular el costo de inversión por manzana, se divide el costo total de materiales (C$ 180,448.11) entre el área total de la parcela, que es de 3.79 manzanas, obteniéndose un costo promedio de C$ 47,611.64 por manzana. Este valor representa el capital requerido por unidad de superficie para instalar el sistema de riego completo, permitiendo dimensionar de manera clara la inversión necesaria para cada manzana de cultivo.

Considerando un tipo de cambio de C$ 36.50 por dólar, el costo por manzana equivale aproximadamente a USD 1,304.90, lo que proporciona una referencia económica internacional del monto invertido. Este indicador facilita la planificación financiera y la comparación con otros sistemas o proyectos de riego, mostrando claramente cómo se distribuye la inversión entre el área total de la parcela.

En resumen, el análisis evidencia que la inversión en materiales de riego es significativa, y el cálculo del costo por manzana permite evaluar la eficiencia de la asignación de recursos económicos para la implementación del sistema de microaspersión.

Tabla 18.

Miscelánea.

Miscelánea							
Proyecto		**Diseño de sistema de riego por microaspersión**					
Área de riego (ha)		**2.67**					
Área de riego (mz)		**3.79**					
Caudal		**182.76 gpm**	**Ubicación**	**Finca agrícola experimental UNI (Comarca la bolsa, Masaya)**			
Presión en la descarga (PSI)		**68.51 PSI**					
			Miscelánea				
N.º	**Unidad**	**Descripción**	**Cantidad**	**Costo Unitario**		**Costo Total**	
1	1/4 Gl	Pegamento gris Durman 1/4"	6	C$	420.00	C$	2,520.00
2	UND	Cilicon industrial	1	C$	220.00	C$	220.00
3	UND	Teflón industrial	2	C$	120.00	C$	240.00
4	Saco	Trapos	0.5	C$	200.00	C$	100.00
5	GALON	Acenetona	1	C$	380.00	C$	380.00
6	UND	Cierras	2	C$	90.00	C$	180.00
						C$	3,640.00
						C$	546.00
		Costo total materiales de riego				C$	4,186.00
		Costo total por manzana				C$	1,104.49

Fuente: Elaboración propia.

La tabla de materiales misceláneos refleja los insumos adicionales necesarios para la instalación del sistema de riego por microaspersión en la finca agrícola experimental de la UNI, ubicada en la comarca La Bolsa, Masaya. Estos materiales incluyen pegamento, silicón, teflón, trapos, acetona y herramientas básicas, cuyo costo total asciende a C$ 4,186.00, considerando el IVA correspondiente.

Para calcular el costo por manzana, se divide el costo total (C$ 4,186.00) entre el área total de la parcela, que es de 3.79 manzanas, obteniéndose un costo promedio de C$ 1,104.49 por manzana. Este valor representa el capital adicional necesario por unidad de superficie para cubrir los insumos complementarios que aseguran la correcta instalación y funcionamiento del sistema.

Considerando un tipo de cambio de C$ 36.50 por dólar, el costo por manzana equivale aproximadamente a USD 30.25, ofreciendo una referencia económica para análisis comparativos y planificación financiera del proyecto.

En resumen, aunque la inversión en materiales misceláneos es pequeña en comparación con los costos de tuberías y riego, es un componente necesario que garantiza la correcta ejecución del sistema y la durabilidad de la instalación.

Tabla 19.

Costo de instalación.

Costo de instalación						
Proyecto		**Diseño de sistema de riego por microaspersión**				
Área de riego (ha)		**2.67**				
Área de riego (mz)		**3.79**				
Caudal		**182.76 gpm**	**Ubicación**	**Finca agrícola experimental UNI (Comarca la bolsa, Masaya)**		
Presión en la descarga (PSI)		**68.51 PSI**				
Costo de instalación						
N.º	**Unidad**	**Descripción**	**Cantidad**	**Costo Unitario**	**Costo Total**	
1	Ha	Instalación y mano de obra	2.67	C$ 3000	C$	8010
2		Transporte de materiales y movimiento de personal	1	C$ 6000	C$	6000
3	Días	Imprevisto	3	C$ 863.4	C$	2590.2
		Costo total de instalación			C$	16600.2
		Costo total por manzana			C$	4380

Fuente: Elaboración propia

La tabla de costo de instalación presenta los gastos asociados a la mano de obra, transporte de materiales y eventualidades imprevistas para la implementación del sistema de riego por microaspersión en la finca agrícola experimental de la UNI, ubicada en la comarca La Bolsa, Masaya. El costo total de instalación asciende a C$ 16,600.20.

Para calcular el costo de instalación por manzana, se divide el costo total (C$ 16,600.20) entre el área total de la parcela, que es de 3.79 manzanas, obteniéndose un costo promedio de C$ 4,380 por manzana. Este valor representa el gasto requerido por unidad de superficie para cubrir la instalación completa del sistema, incluyendo mano de obra, transporte y previsiones ante imprevistos. Considerando un tipo de cambio de C$ 36.50 por dólar, el costo de instalación por manzana equivale aproximadamente a USD 120, lo que permite dimensionar económicamente el esfuerzo necesario para implementar el sistema de riego.

Tabla 20.

Costo total del proyecto.

Costo total del proyecto					
Proyecto	**Diseño de sistema de riego por microaspersión**				
Área de riego (ha)	**2.67**				
Área de riego (mz)	**3.79**				
Caudal	**182.76 gpm**	**Ubicación**	**Finca agrícola experimental UNI (Comarca la bolsa, Masaya)**		
Presión en la descarga	**68.51 PSI**				
Costo por manzana	C$ 77,839.63	Costo por manzana	$ 2,132.59		
Costo total	C$ 295,012.21	Costo total	$ 8,082.53		

Fuente: Elaboración propia.

El proyecto de riego por microaspersión se diseñó para un área de 2.67 ha (3.79 mz) en la Finca Experimental UNI, Comarca La Bolsa, Masaya. El sistema opera con un caudal de 182.76 gpm y una presión de 68.51 PSI. El costo por manzana es de C$ 77,839.63 ($ 2,132.59). El costo total del proyecto asciende a C$ 295,012.21 ($ 8,082.53).

Con la culminación del diseño y dimensionamiento hidráulico del sistema de riego por microaspersión, se procedió a la elaboración del presupuesto final, considerando todos los componentes necesarios para su correcta implementación. El proyecto abarca una superficie total de 3.79 manzanas, equivalente a 2.67 hectáreas, en la Finca Agrícola Experimental UNI (Comarca La Bolsa, Masaya).

El cálculo detallado de materiales incluyó tanto la red de tuberías principales y secundarias en PVC, accesorios hidráulicos y válvulas de control, como la línea de distribución con mangueras de polietileno de 14 mm, micro aspersores, conectores y válvulas de aire. La selección de cada elemento se realizó en función de las especificaciones técnicas obtenidas en el diseño, asegurando un rendimiento óptimo del sistema y minimizando pérdidas por fricción, así como garantizando una distribución uniforme del agua.

El análisis de costos arrojó un costo unitario por manzana de USD 2,132.59, equivalente a C$ 77,839.63, lo que incluye materiales, accesorios y los ajustes necesarios para adecuar el sistema a las condiciones específicas del terreno y del cultivo. En términos globales, el costo total del proyecto asciende a USD 8,082.53, equivalente a C$ 295,012.21.

Este presupuesto refleja la inversión necesaria para contar con un sistema tecnológicamente eficiente, diseñado para optimizar el uso del recurso hídrico, garantizar la uniformidad de aplicación y favorecer el desarrollo del cultivo, contribuyendo así a la sostenibilidad productiva y económica del proyecto agrícola.

VIII. CONCLUSIONES.

De acuerdo con los objetivos planteados en el diseño de un sistema de riego por microaspersión para el cultivo de plátano (musa paradisiaca) variedad CEMSA 3/4 en la finca Agrícola Experimental UNI, ubicada en la comunidad la bolsa, municipio de Masaya, departamento de Masaya, Nicaragua se establece lo siguiente:

Con base al levantamiento topográfico, se delimitó el área de estudio, la cual comprendió una extensión total de 2.67 hectáreas. A partir del análisis altimétrico, se identificó una pendiente máxima del 1.28 %. Asimismo, el análisis de las propiedades hidrofísicas son óptimas para el cultivo del plátano, además las muestras recolectadas en campo revelaron una textura de suelo franco arcillosa; por tal motivo, se estableció un espaciamiento de entre lateral de 5 metros y entre emisores de 4.5 metros, garantizando una adecuada humectación del bulbo radicular del cultivo de plátano.

En cuanto al diseño agronómico, este se elaboró con base a los resultados de las propiedades hidrofísicas del suelo, obteniéndose una lámina de riego de 8.08 mm/día, considerando una eficiencia de aplicación del 80%. Además, se determinó una intensidad de aplicación de 3.11 mm/hr y un caudal por hectárea de 31.1 m^3/h. El diseño geométrico definió un área neta de riego de ha con una demanda total de 41.53 m^3/h, distribuidas en dos turnos de riego de 2.5 horas cada uno, mediante cuatro válvulas hidráulicas que operan 2 válvulas en primer turno y las otras dos en el segundo turno. El diseño hidráulico incorporó tuberías de conducción de PVC de 4” y 3”, y manifold de 2”, una carga total dinámica de 79.625 mca, correspondiente al turno dos que resultó ser el más crítico.

Finalmente, los costos de inversión del sistema de riego por micro aspersión se estimaron en función de los resultados de los diseños agronómico, geométrico e hidráulico, así como de los materiales requeridos para su instalación, incluyendo tuberías, codos, válvulas hidráulicas, mangueras de polietileno y micro aspersores. Se determinó un valor total de inversión de $ 8,082.53 USD, equivalente a $

2,132.59 USD por manzana, lo que proporciona al productor una referencia clara de los costos y alcances del proyecto.

Aunque el sistema requiere una inversión inicial considerable, su implementación garantiza beneficios sostenibles en términos de eficiencia en el uso del agua, incremento de la productividad y mejora en la calidad del cultivo de plátano, contribuyendo a mitigar la limitación del recurso hídrico en la finca agrícola experimental UNI.

IX. RECOMENDACIONES

- Se propone a las autoridades institucionales, e asumir la propuesta del sistema de riego por microaspersión para el cultivo de plátano ya que, es viable dicho proyecto y resolverá el problema de riego que enfrenta actualmente la Finca Agrícola Experimental.

- Garantizar el sistema de filtrado primario y secundario en la sarta de descarga para evitar obstrucciones en los emisores de riego, debido a que la fuente de agua es un pozo y presenta partículas de arenas.

- Se tiene que realizar la correcta operación de lo que esta debidamente establecido en la propuesta del diseño de riego por micro aspersión de la finca agrícola experimental UNI.

X. BIBILOGRAFIA.

Abcagro.com. (s.f.). Obtenido de http://www.abcagro.com/hortalizas/tomate.asp

ADRA PERU . (2009). *Manual de operación y mantenimiento del sistema de riego por goteo.*

Andrango Qumbiamba , P. (2019). *Determinación del caudal de riego según las necesidades hídricas de los cultivos para las comunidades de la UCICMA. .* Quito: UCE.

Angeles , H. (2019). Algunos Aspectos de Diseño, Operación, Mantenimiento y Evaluación de los Sistemas de Riego por Goteo. (31), 5.

Arango Tobón, J. C. (1998). *Métodos de riego.* Medellin: Universidad Nacional de Colombia.

Arias , P., Dankers, C., Liu, P., & Pikauskas , P. (2004). *La economía mundial del banano 1985-2002.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Brady , N., & Weil, R. (2008). *The nature and properties of soils (14th ed.).*

Brady , N., & Weil, R. (2008). *The nature and properties of soils (14th ed.).*

Brady , N., & Weil, R. (2008). *The Nature and Properties of Soils (14th ed.).* Pearson Prentice Hall.

Carrazón Alocén, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego.* Tegucigalpa.

Castañón Najera , G. (2000). *Ingenieria del Riego Utilización Racional del Agua .* Madrid : THOMSON LEARNIG .

Catalán, V., Sanchez, C., Villa, C., Inzunza , I., & Mendoza , M. (2007). *Programa para calcular las demandas de agua y calendarizar el riego de los cultivos.* Gomez Palacio, Dgo. Méx.: CENID-RASPA, INIFAP.

cenida.una.edu.ni. (2008). Obtenido de https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01CH517t.pdf

Champion, W. J. (1968). *The Genus Musa.* Royal Botanic Gardens.

FAO . (2016). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.* Obtenido de https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=Se%20denomina%20Capacidad%20de%20Campo,de%20la%20lluvia%20o%20riego).

FAO. (2006.). *ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE NR°56. .* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2009). *Guia para descripción de suelos .*

Granados García , I. (2015). *COMPATIBILIDAD DEL PRINCIPIO DE ÓPTIMO DE BELLMAN CON LOS METODOS SECUENCIALES DE OPTIMIZACIÓN DE REDES DE TUBERÍAS.* MADRID .

Heslop Harrison , & Schwarzacher. (2007). Domestication, Genomics and the Future for Banana. *Oxford Academic* , 1073–1084.

Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics.* Academic Press.

Howell, T. (2001). *Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture.* American Society of Civil Engineers (ASCE).

HYDRO ENVIROMENT. (2024). *HYDRO ENVIROMENT*. Obtenido de https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=220

iagua. (19 de Abril de 2019). *Iagua*. Obtenido de https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/conexiones-riego-localizado-revision-principales

INFOAGRO. (2012). *Infoagro.com*. Obtenido de Toda la agricultura en internet : https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano2.htm

Intagri. (2015). Obtenido de https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/manejo-de-enfermedades-de-plantulas-en-semilleros

Jones, D. R. (2000). *Disease of banana, abaca and ensete.* CABI.

Khan, S., Smith , R., & Jones, T. (2014). *Microirrigation for crop production: Design, operation, and management.* CRC Press.

Larios Zamora , E. (2021). *Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de plátano Musa paradisiaca en Nicaragua.* Universidad Nacional de Ingeniería, Managua.

Martinez , E., & González, M. (2007). *Instructivo técnico del cultivo del plátano.* CUBANS PUBLICATIONS .

Meza, D. R. (24 de Enero de 2023). *Consejo Nacional de Universidades - CNU*. Obtenido de revistasnicaragua.cnu.edu.ni: https://revistasnicaragua.cnu.edu.ni/index.php/RCientifica/article/view/7948/10106#:~:text=En%20Nicaragua%20la%20producci%C3%B3n%20de,empleos%20tanto%20rurales%20como%20urbanos.

Ortiz , E. (2011). *Manejo del agua en el suelo para cultivos agrícolas.*

Pacheco , N. P. (1995). *Riego y drenaje.* Puebla y educación.

Ramirez, D., & Cruz , J. (2016). *Evaluación del patrón de humedecimiento del agua en el sistema de riego por micro aspersión en la finca experimental del Plantel (UNA).* Tesis , Univerisdad Nacional Agraria , Managua.

Rincon del vago . (14 de Julio de 2016). *Rincon del Vago*. Obtenido de https://html.rincondelvago.com/riego-por-microaspersion.html

Rincon del vago . (14 de Julio de 2016). *Rincon del vago* . Obtenido de https://html.rincondelvago.com/riego-por-microaspersion.html

Rothschuh Osorio, U. (14 de Marzo de 2023). *BIO enciclopedia* . Obtenido de https://www.bioenciclopedia.com/transpiracion-de-las-plantas-que-es-y-proceso-825.html

Silva, R. (2019). Efficiency of water application of irrigation systems based on microsprinkling in banana plantations. *Scientia Agricola, 76*(3), 245-252.

Tomate Canario. (s.f.). *tomatecanario.es*. Obtenido de https://tomatecanario.es/origen-del-tomate/

Tovar. (1993). *Riego por microaspersión en frutales.*

TRAXCO. (9 de Marzo de 2017). *TRAXCO*. Obtenido de https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/aplicacion-del-riego

TRAXCO. (2017). *TRAXCO* . Obtenido de https://www.traxco.es/

Tullis, J. P. (2013). *Hydraulics of Pipelines: Pumps, Valves, Cavitation, Transients.* Nueva York: McGraw-Hill Education .

University of Florida IFAS Extension. (2012). *Agricultural management options for climate variability and change: Microirrigation.* Florida. Obtenido de https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1203?utm_source

Villafañe, R. (1998). *Diseño Agronomico de riego.* Maracay: EX-Libris.

Wylie, E. S. (2012).

XI. ANEXOS

11.1 ANEXOS DE FIGURAS.

Figura 13.

Método del Cilindro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14.

Métodos de Laboratorios Determinación de Textura de Suelos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15.

Picnómetro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16.

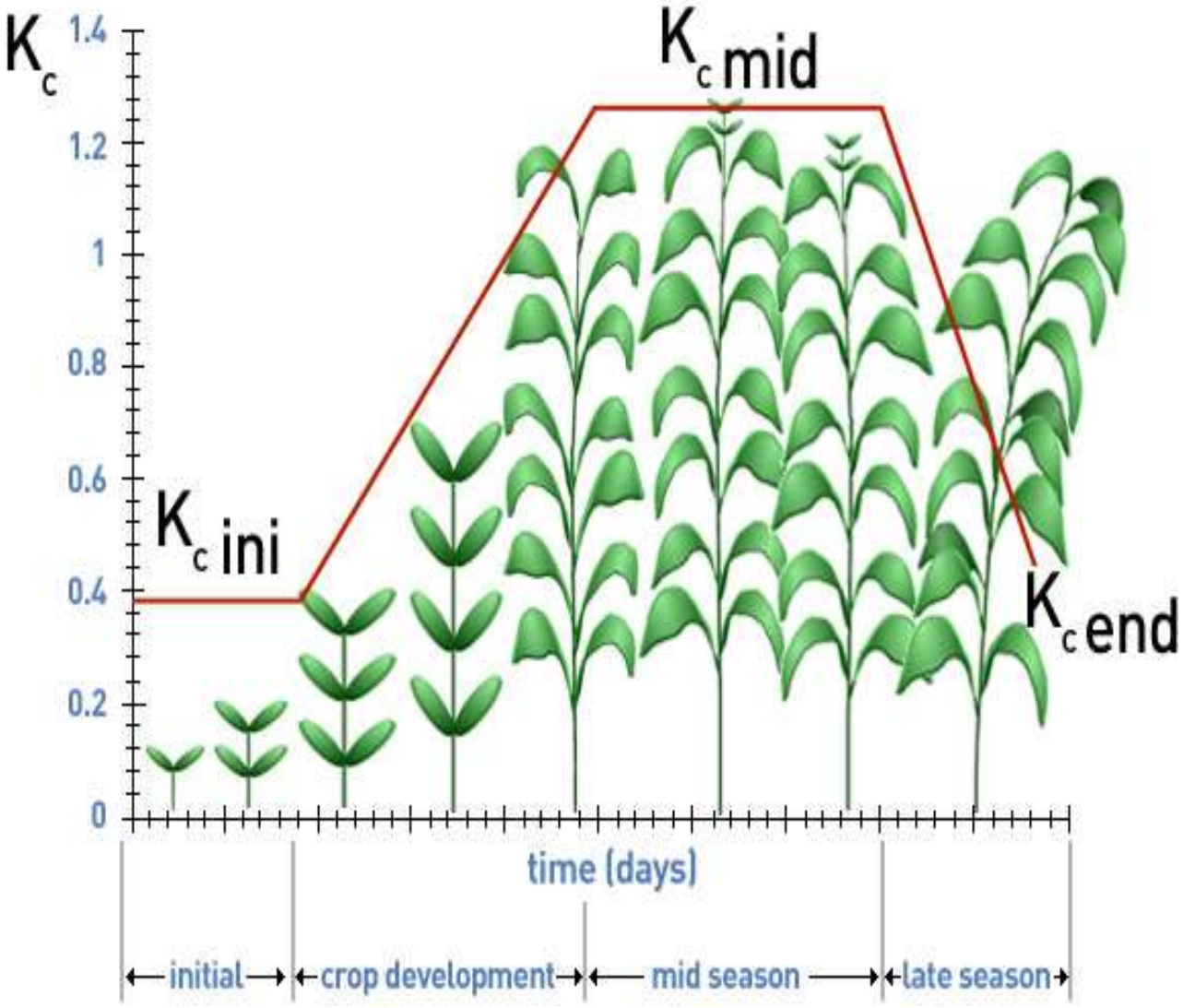
Determinación de Velocidad de Infiltración Método del Cilindro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17.

Desarrollo de Cultivo de Plátano.



Fuente: FAO

Figura 18.

Cotización.



SERVITEC RUC 0010202930034R

VENTA, INSTALACION Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE RIEGO Y ACUEDUCTOS

CLIENTE: Elias Obando Trejos/ Silverio Moreno Aguirre
PROYECTO: Tisma-Masaya
FECHA: 06/05/2025

ITEM	Unidad	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
		Materiales PVC			
1	UND	Tubo PVC SDR 41 de 4"x 6 m	51	C$ 840.00	C$ 42,840.00
2	UND	Tubo PVC SDR 41 de 3"x 6 m	22	C$ 588.00	C$ 12,936.00
3	UND	Tubo PVC SDR 41 de 2"x 6 m	50	C$ 352.80	C$ 17,640.00
4	UND	Cruz Lisa PVC 4"	1	C$ 600.00	C$ 600.00
5	UND	Cruz Lisa PVC 3"	1	C$ 520.00	C$ 520.00
6	UND	Te Lisa PVC 4" S40	1	C$ 250.00	C$ 250.00
7	UND	Te Lisa PVC 3" S40	1	C$ 189.00	C$ 189.00
8	UND	Te Lisa PVC 2" S40	4	C$ 65.00	C$ 260.00
9	UND	Codo Liso PVC 3" x 90 S40	1	C$ 180.00	C$ 180.00
10	UND	Codo Liso PVC 2" x 90 S40	8	C$ 56.00	C$ 448.00
11	UND	Reducción Lisa PVC 4" x 3" S40	1	C$ 190.00	C$ 190.00
12	UND	Reducción Lisa PVC 4" x 2" S40	3	C$ 220.00	C$ 660.00
13	UND	Reducción Lisa PVC 3" x 2" S40	3	C$ 165.00	C$ 495.00
14	UND	Reducción Lisa PVC 2" x 1" S40	4	C$ 52.00	C$ 208.00
15	UND	Adaptador Macho PVC 2"	8	C$ 35.00	C$ 280.00
16	UND	Adaptador Hembra PVC 2"	2	C$ 33.00	C$ 66.00
17	UND	Adaptador Hembra PVC 1"	4	C$ 23.00	C$ 92.00
18	UND	Valvula de Bola Lisa PVC 3"	1	C$ 1,564.00	C$ 1,564.00
19	UND	Valvula de Bola Lisa PVC 2"	4	C$ 532.00	C$ 2,128.00
		Materiales de riego			
20	UND	Rollos de manguera de PE 14 mm (500ML)	11	C$ 4,662.00	C$ 51,282.00
21	UND	Conectores inicial PVC x PE con Gormer	109	C$ 25.00	C$ 2,725.00
22	UND	Microaspersor Aquamaster 2005 boquilla gris	1187	C$ 59.20	C$ 70,270.40
23	UND	Valvula hidraulica 2" dorot	4	C$ 5,920.00	C$ 23,680.00
24	UND	Valvula de aire triple efecto 2" Ari	2	C$ 3,145.00	C$ 6,290.00
25	UND	Valvula de aire cinetica 1"	4	C$ 666.00	C$ 2,664.00
		Miscelanea			
26	1/4 Gl	Pegamento gris Durman 1/4"	6	C$ 420.00	C$ 2,520.00
27	UND	Cilicon industrial	1	C$ 220.00	C$ 220.00
28	UND	Teflon industrial	2	C$ 120.00	C$ 240.00
29	Saco	Trapos	0.5	C$ 200.00	C$ 100.00
30	GALON	Acenetona	1	C$ 380.00	C$ 380.00
31	UND	Cierras	2	C$ 90.00	C$ 180.00
		Costo de instalación			
32	Ha	Instalación y mano de obra	2.67	C$ 7,400.00	C$ 19,758.00
				SUB TOTAL	C$261,855.40
				IVA	C$ 39,278.31
				TOTAL	C$301,133.71

Fuente: Servitec, S.A.

Figura 19.

Grafica de Perdida de Carga Filtro Azud Helix System Discos.

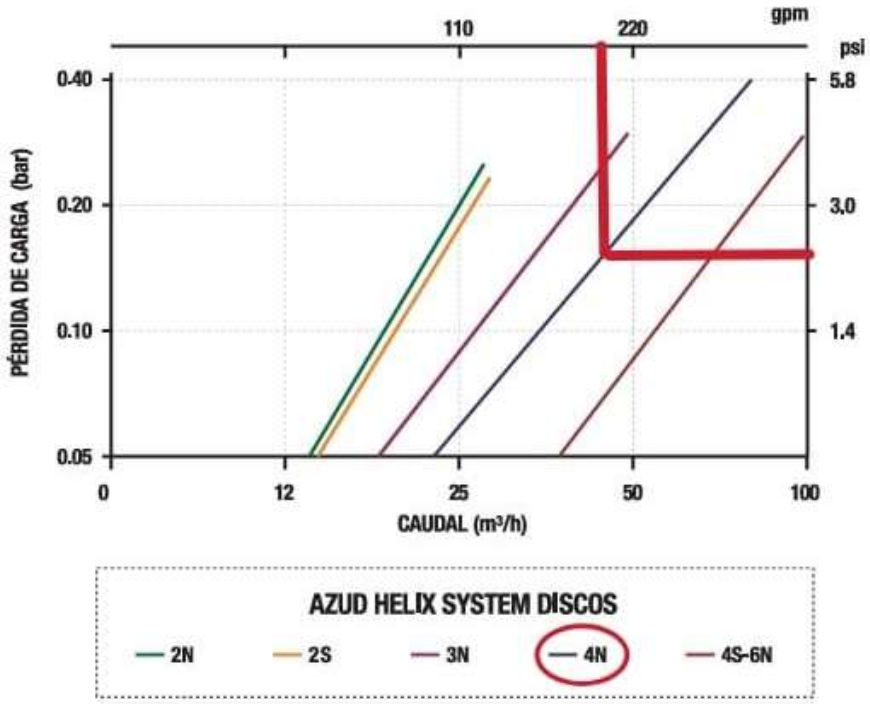


Figura 20.

Ficha Técnica Filtro Azud Helix System Modelo 4N.

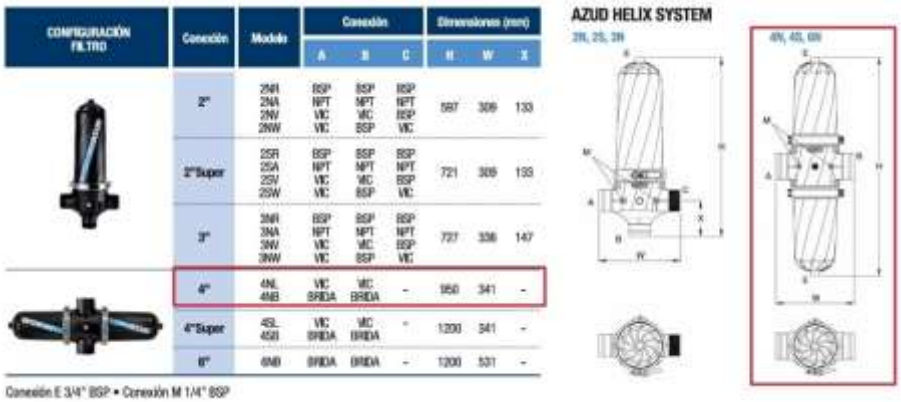


Figura 21.

Ficha Técnica del Micro Aspersor Aquamaster 2005.



CAUDALES Y DIÁMETRO HUMEDECIDO (m) A 2.0 BAR

Rotores- Diámetro Humedecido								
Color de boquilla	Caudal (l/h)	Negro		Azul		Gris		Verde
		primera etapa	Regular (segunda etapa)	primera etapa	Regular (segunda etapa)	primera etapa	Regular (segunda etapa)	
Violeta	35	2.0	5.5					
Marrón	50	2.0	6.5					
Gris	70			2.5	7.0			
Turquesa	90			2.5	9.0			
Verde	105			3.0	9.0			
Naranja	120					2.0	5.5	9.5
Negro	160					2.5	6.0	10.0
Azul	200					2.5	6.0	10.5
Amarillo	250					3.0	6.0	11.5
Rojo	300					3.0	7.0	12.5

Probado bajo condiciones de laboratorio a 0.25 m de altura

Figura 22.

Ficha de Válvula Hidráulica.

Caudal recomendado

Diámetro Nominal		Caudal Máximo	
[pulgadas]	[mm]	[m³/h]	[gpm]
1.5"	40	25	110
2"	50	25	110
2"S	50S	45	198
2.5"	65	45	198
3"	80	45	198
3"S	80S	120	528
4"	100	120	528
5"	125	120	528

RAF-P 0G

Válvula de Control por Actuador Hidráulico de tres vías

Presión de trabajo PN-10



Figura 23.

Ficha Técnica de Manguera de Polietileno.



Manguera de Polietileno



Manguera de Polietileno Toro®

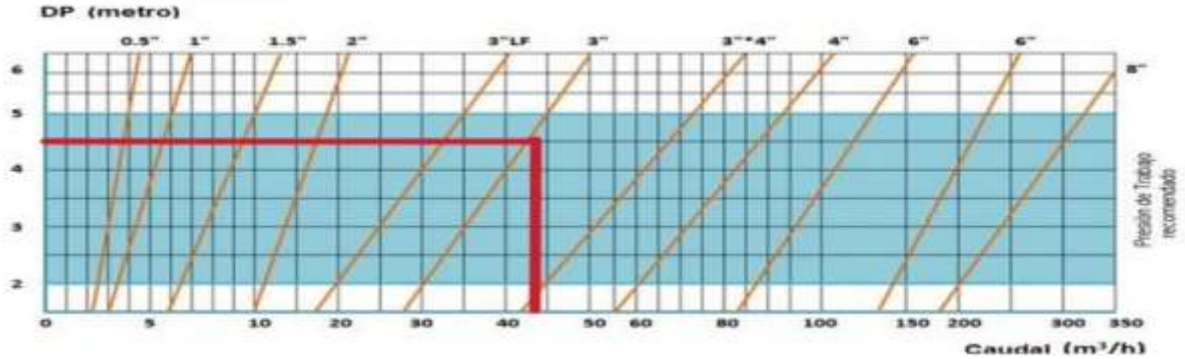
Manguera de Polietileno

No. de Parte	Diá. In.	Diá. Ex.	Nominal	Espesor	Longitud		Peso	Precio
EHW0645-050	6 mm	9 mm	3/8"	0.050"	500'	152 m	4.1 kg	$55.84
EHD1335-100	13 mm	15 mm	1/2"	0.035"	1000'	305 m	11.0 kg	$63.89
620x520-1000	13 mm	16 mm	1/2"	0.050"	1000'	305 m	16.3 kg	$77.78
EHD1350-100	13 mm	16 mm	1/2"	0.050"	1000'	305 m	16.4 kg	$86.24
EHD1643-100	16 mm	18 mm	5/8"	0.043"	1000'	305 m	16.8 kg	$85.14
EHD1645-100	16 mm	18 mm	5/8"	0.045"	1000'	305 m	17.1 kg	$88.09
EHD1845-100	18 mm	20 mm	-	0.045"	1000'	305 m	19.6 kg	$99.18
EHD1847-100	18 mm	20 mm	-	0.047"	1000'	305 m	21.1 kg	$107.57
EHD2052-100	20 mm	23 mm	3/4"	0.052"	1000'	305 m	25.7 kg	$130.71
EHD2057-100	20 mm	23 mm	3/4"	0.057"	1000'	305 m	28.3 kg	$144.00
EHD2657-066	26 mm	29 mm	1"	0.057"	660'	201 m	24.2 kg	$125.37

Figura 24.

Ficha Técnica hidrociclon.

Modelo	D Ent/Sal (pulg)	Caudal** (m3/h)	(GPM)	Depósito de Sedimentos (litros)
F710	3/4	2.4 – 4	10.6 – 17.2	1.5
F720	1	3.5 – 6	15.4 – 26.4	2.5
F730	1.5	6.5 – 10	28.6 – 44	5
F740	2	11 – 19	48.4 – 83.6	5
F750LF	3	20 – 35	88 – 154	5 (10*)
F750	3	29 – 45	127.6 – 198	5 (10*)
F755	3*4	45 – 73	198 – 321	30
F760	4	60 – 93	264 – 409	60
F770	6	93 – 155	409 – 682	150
F775	6	145 – 225	638 – 990	150(220*)
F780	8	200 - 330	880 - 1452	300



11.2 ANEXO DE TABLAS.

Tabla 21.

Datos Climáticos.

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES

DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA
RESUMEN MENSUAL

Estación:	MASAYA (L. OXIDACION) /	Código:	690115
Departamento:		Municipio:	MASAYA (L. OXIDACION)
Latitud:	11°58'48"	Longitud:	86°06'18"
Años:	2001 - 2019	Elevación:	210 msnm
Parámetro:	Dirección Predominante del Viento (RUMBO)	Tipo:	PV

DATOS CLIMATICOS EN EL PERIODO DE (2001-2017)

Mes	T Min (C°)	T Max (C°)	Humedad (%)	velocidad del Viento (m/s)	Insolación (horas)
Enero	21.4	30.7	77	3.1	5.8
Febrero	21.4	32.0	73	3.0	6.4
Marzo	22.1	33.3	69	3.0	6.9
Abril	23.4	34.7	69	2.6	6.6
Mayo	24.1	33.3	75	2.3	5.8
Junio	23.6	31.2	83	2.1	5.4
Julio	23.3	31.0	85	2.4	5.5
Agosto	23.5	31.6	84	2.3	5.7
Septiembre	23.3	31.0	87	2.2	5.5
Octubre	23.2	30.3	83	2.2	5.1
Noviembre	22.2	29.9	83	2.6	5.4
Diciembre	21.6	30.3	80	2.7	5.5

Fuente: INETER

Tabla 22.

Velocidad de Infiltración.

Lugar:	Finca Agrícola Experimental UNI		
Hora de inicio:	9:00:00	**Hora de finalización:**	11:00:00
Diámetro del agujero de infiltración (cm):	7.5 cm	**Profundidad del agujero de infiltración (cm):**	30

Hora	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	lectura h (cm)	Dh (cm)	Infiltracion acumulada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/min)	
09:00:00 a. m.	0	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	
9:05:00	5	5.00	25.80	4.20	4.20	0.84	
9:10:00	5	10.00	22.60	3.20	7.40	0.64	
9:15:00	5	15.00	19.80	2.80	10.20	0.56	
9:20:00	5	20.00	16.70	3.10	13.30	0.62	
9:25:00	5	25.00	12.50	4.20	17.50	0.84	
9:30:00	5	30.00	10.20	2.30	19.80	0.46	
9:35:00	5	35.00	8.50	1.70	21.50	0.34	
9:40:00	5	40.00	6.50	2.00	23.50	0.40	
9:45:00	5	45.00	5.30	1.20	24.70	0.24	
9:50:00	5	50.00	3.20	2.10	26.80	0.42	
9:55:00	5	55.00	2.40	0.80	27.60	0.16	
10:00:00	5	60.00	1.80	0.60	28.20	0.12	
10:05:00	5	65.00	28.20	0.00	0.00	0.00	
10:10:00	5	70.00	26.90	1.30	29.50	0.26	
10:15:00	5	75.00	25.10	1.80	31.30	0.36	
10:20:00	5	80.00	22.20	2.90	34.20	0.58	
10:25:00	5	85.00	20.90	1.30	35.50	0.26	
10:30:00	5	90.00	18.90	2.00	37.50	0.40	
10:35:00	5	95.00	16.50	2.40	39.90	0.48	
10:40:00	5	100.00	14.80	1.70	41.60	0.34	
10:45:00	5	105.00	11.20	3.60	45.20	0.72	
10:50:00	5	110.00	10.10	1.10	46.30	0.22	
10:55:00	5	115.00	8.00	2.10	48.40	0.42	
11:00:00	5	120.00	6.00	2.00	50.40	0.40	
				R:	**0.42**	**cm/min**	**Franco**
				Kfs:	**1.37E-02**	**cm/min**	**arcilloso**

Kfs:	**8.22**	**mm/h**	
		49.32	**mm/d**

Tabla 23.

Tabla de Diámetros Internos de Tuberías PVC.

Pulg	mm	SDR 13.5 (315 PSI) (AST2241)	SDR 17 (250 PSI) (AST2241)	SDR 26 (160 PSI) (AST2241)	SDR 32.5 (125 PSI) (AST2241)	SDR 41 (drenaje)
1/2"	12	18.2 / 21.3	….	….	….	….
3/4"	18	….	23.5 / 26.7	….	….	….
1"	25	….	29.5 / 33.4	30.4 / 33.4	….	….
1 1/4"	31	….	37.2 / 42.2	38.9 / 42.2	39.1 / 42.2	39.8 / 42.2
1 1/2"	38	….	42.6 / 48.3	44.6 / 48.3	45.3 / 48.3	45.9 / 48.3
2"	50	….	53.2 / 60.3	55.37 / 60.3	56.6 / 60.3	57.4 / 60.3
2 1/2"	62	….	64.4 / 73.0	67.4 / 73.0	68.5 / 73.0	69.5 / 73.0
3"	75	….	78.4 /88.9	82.0 / 88.9	83.4 / 88.9	84.6 / 88.9
4"	100	….	100.8 / 114.3	105.5 / 114.3	107.3 / 114.3	108.7 / 114.3
6"	150	….	148.5 / 168.3	155.3 / 168.3	157.9 / 168.3	160.1 / 168.3
8"	200	….	193.3 / 219.1	202.2 / 219.1	205.6 / 219.1	208.4 / 219.1
10"	250	….	240.9 / 273.1	252.1 / 219.1	256.2 / 273.1	259.8 / 273.0
12"	300	….	285.8 / 322.8	299.0 / 322.8	303.9 / 323.8	308.1 / 323.8

Fuente: Elaboración propia.

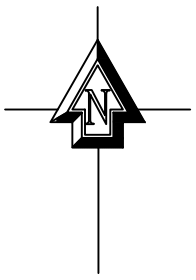
Tabla 24.

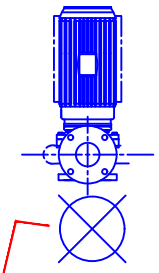
Perdidas de carga.

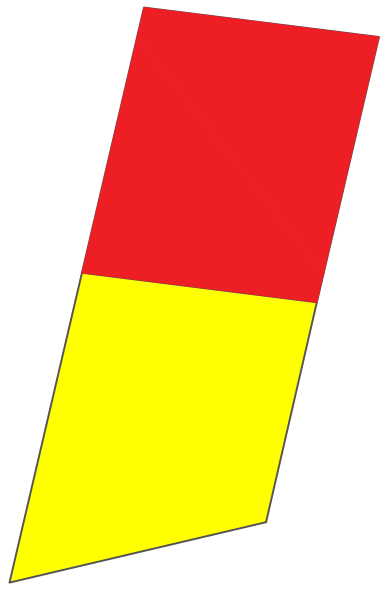
CARGA TOTAL DINAMICA	
DESCRIPCION	**PRESION (MTS)**
ASPERSOR/EMISOR	**20**
LATERAL	**3.67**
MANIFOULD	**2.16**
CONDUCCION	**9.06**
HIDROCICLON	**4.25**
FILTRO	**1.14**
DESNIVEL	**5.8**
VALVULA HIDRAULICA	**1.15**
PERDIDA EN LA COLUMNA	**0.685**
NIVEL DINAMICO	**30.76**
ACCESORIOS	**2.36**
PRESION TOTAL (MTS)	**81.04**
PRESION TOTAL (PIES)	**265.80**
PRESION TOTAL (PSI)	**115.07**

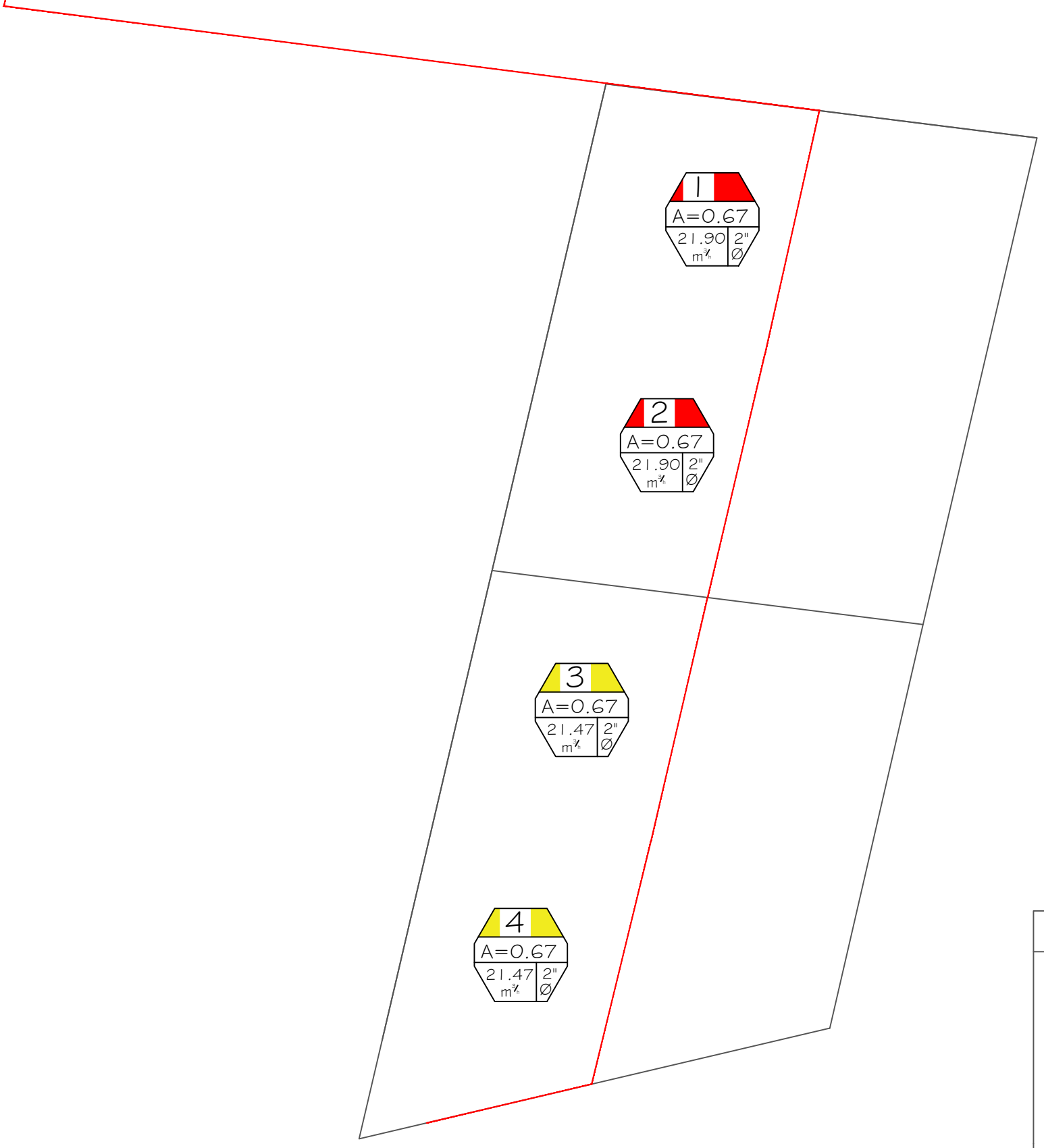
Fuente: Elaboración propia.

11.3 ANEXO DE PLANOS.





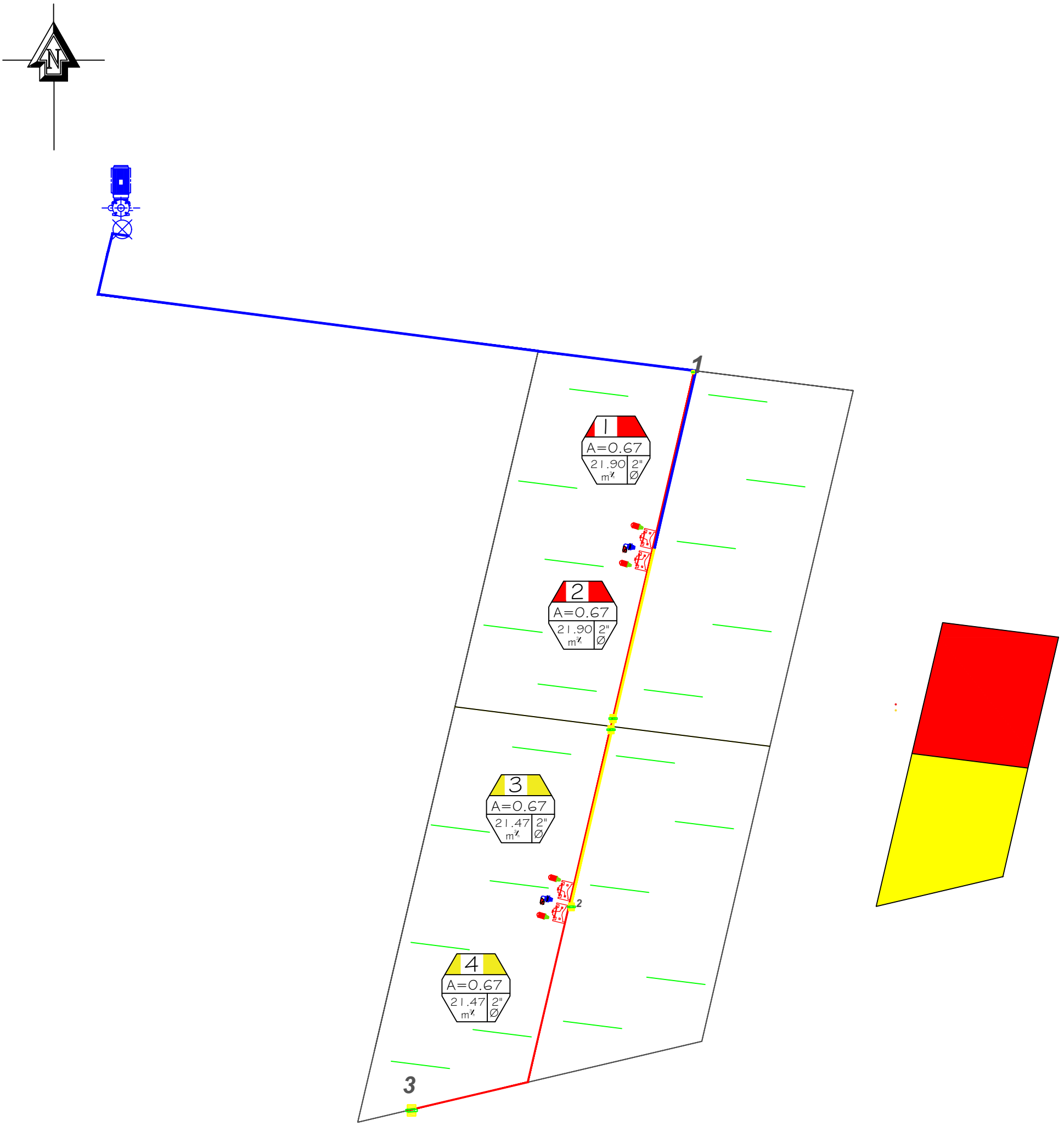




LEYENDA

- Pozo
- Estación de Bombeo
- Area del cultivo
- Detalle de valvula
- Red de distribución

UBICACIÓN: FINCA EXPERIMENTAL AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FAE-UNI			LAMINAS
CONTENIDO: PLANO DISEÑO GEOMETRICO	DIBUJO: BR. ELIAS OBANDO TREJOS BR. SILVERIO MORENO AGUIRRE	ESCALA: 1:5	DE 02 / 03
	DOCENTE: ING. WALTER ARNULFO SOLORZANO	FECHA: 02/03/2025	



LEYENDA

- Pozo
- Estación de Bombeo
- Valvula cinetica 1"
- Valvula Triple Efecto 2"
- Valvula hidraulica 2"
- TB. PVC 4" x 6m SDR41 C/Cem
- TB. PVC 3" x 6m SDR41 C/Cem
- TB. PVC 2" x 6m SDR41 C/Cem
- Dirección de surco
- Area del cultivo
- Lavado 2"

DATOS TÉCNICOS DE DISEÑO

SISTEMA DE RIEGO: MICROASPER	Q / EMISOR 70 LPH	PRES. TRABAJO 68.51 PSI	CULTIVO: PLATANO
AREA DE RIEGO: 2.67 ha	ESPAC. / EMISOR 4.5 m		ESPAC. / LATERAL 5 m
DEFICIT DE CULTIVO 8.08mm/dia	INTENSIDAD DE APLICACION 3.11 mm/hr		TIEMPO DE PUESTA 2.5 h
FRECUENCIA DE RIEGO DIARIO	# DE TURNOS 2		JORNADA 5 hrs
CAUDAL/HA 31.1 mch/ha	PRESION EN LA DESCARGA 113.30 PSI		CAUDAL MAX. REQUER. 182.824 GPM

UBICACIÓN: FINCA EXPERIMENTAL AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FAE-UNI

LAMINAS: DE 03 / 03

CONTENIDO: PLANO DISEÑO HIDRAULICO

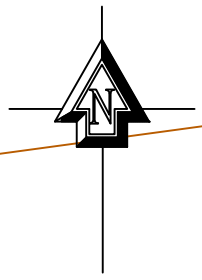
DIBUJO: BR. ELIAS OBANDO TREJOS
BR. SILVERIO MORENO AGUIRRE

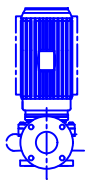
ESCALA: 1:5

DOCENTE: ING. WALTER ARNULFO SOLORZANO

FECHA: 02/03/2025

Punto	Coordenadas	
	Norte	Este
1	1327729	609062
2	1327757.52	6091174.12
3	1227990	609125
4	1327976.37	6092232.32





56 m

3

53 m

56 m

4

54 m

55 m

54 m

56 m

57 m

58 m

60 m

2

60 m

1

59 m

61 m

LEYENDA

Estación de Bombeo

Area del cultivo

Curvas de nivel

UBICACIÓN: FINCA EXPERIMENTAL AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FAE-UNI

LAMINAS

CONTENIDO: PLANO TOPOGRAFICO

DIBUJO: BR. ELIAS OBANDO TREJOS
BR. SILVERIO MORENO AGUIRRE

ESCALA: 1:5

DOCENTE

FECHA: 02/03/2025

DE: 01 / 03