

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación hidráulica y agronómica del sistema de riego de la finca
Zona 2, Zamorano, Honduras

Estudiante

Xavier Steffano Vargas Solorzano

Asesores

José Adrián Ordoñez Bonilla, Mtr.

Jeffrey Jose Diaz Sierra, M.sc.

Jofiel Ramon Jirón Zeledón, Ing. Agrónomo

Honduras, agosto 2023

Autoridades

SERGIO RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA ODILA TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	7
Índice de Anexos	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Materiales y Métodos	14
Descripción de Lugar.....	14
Fuente de Agua.....	14
Datos Climatológicos de la Zona.....	15
Descripción del Estudio.....	17
Levantamiento de Información en Campo	17
Toma de Coordenadas Perimetales.....	18
Determinación y Evaluación del Diseño Agronómico del Sistema de Riego	18
Elaboración de Mapas.....	18
Parámetros Agronómicos del Sistema de Riego	20
Determinación y Evaluación del Diseño Hidráulico del Sistema de Riego.....	24
Mapa de Tuberías	24
Parámetros Hidráulicos del Sistema de Riego	24
Resultados y Discusión.....	29
Estudio Agronómico.....	29
Mapa Perimetral y Distribución del Área.....	29
Distribución de Lotes.	30
Mapa de Texturas de Suelo	31
Mapa de Sectores de Riego	33

Mapa Topográfico	34
Mapa Integrado de Zona 2, Zamorano	35
Variables Climáticas Consideradas en el Diseño	36
Evaluación Agronómica.....	37
Evaluación Hidráulica	39
Mapa y Evaluación Hidráulica de Tuberías	39
Evaluación de Estación de Bombeo	46
Propuesta de Mejora al Diseño Agronómico	48
Propuesta de Mejora al Diseño Hidráulico	52
Evaluación de la Estación de Bombeo con la Propuesta	56
Conclusiones	58
Recomendaciones	59
Referencias.....	60
Anexos.....	63

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Análisis de parámetros de calidad de agua de la fuente de riego proveniente de la microcuenca Santa Inés y quebrada de El gallo, Zamorano, Honduras.....	15
Cuadro 2 Datos de temperatura, humedad relativa, evapotranspiración del cultivo de referencia y precipitación del año 2022/2023, Zona 2, Zamorano, Honduras.	16
Cuadro 3 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0) de los últimos ocho años de Zona 2, Zamorano, Honduras.	16
Cuadro 4 Cultivos sembrados en Zona 2, Zamorano, Honduras.	17
Cuadro 5 Distribución del área dentro de la finca Zona 2, Zamorano, Honduras.	30
Cuadro 6 Distribución lotes dentro de Zona 2, Zamorano, Honduras.....	31
Cuadro 7 Tasa de infiltración básica para los tipos de suelo encontrados en Zona 2, Zamorano, Honduras.....	32
Cuadro 8 Distribución de los sectores de riego, superficie y unidad productiva correspondiente de Zona 2, Zamorano, Honduras.	33
Cuadro 9 Variables que considerar en el diseño del sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.	37
Cuadro 10 Evaluación agronómica del sistema de riego actual de Zona 2, Zamorano, Honduras.	39
Cuadro 11 Distancia de tuberías laterales de Zona 2, Zamorano, Honduras.	41
Cuadro 12 Pérdidas de carga en tuberías secundarias en los diferentes sectores de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.	42
Cuadro 13 Velocidades críticas y sus pérdidas de carga en tuberías principales del sistema de riego de Zona 2, Zamorano.	43
Cuadro 14 Carga dinámica total y caudal instantáneo por sectores de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.....	44
Cuadro 15 Ejemplo de carga dinámica total del sector 10, Bomba Combustible de Zona 2, Zamorano, Honduras.....	45

Cuadro 16 Ejemplo de carga dinámica total del sector 10, Bomba Eléctrica de Zona 2, Zamorano, Honduras.....	45
Cuadro 17 Cintas de riego recomendadas para Zona 2, Zamorano, Honduras.....	49
Cuadro 18 Propuesta de diseño agronómico para el sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.	51
Cuadro 19 Propuesta de tuberías secundarias para el sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.	53
Cuadro 20 Velocidades y sus pérdidas de carga en la propuesta de tuberías principales representativas del sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.	54
Cuadro 21 Carga Dinámica Total y caudal instantáneo de la propuesta del sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.	55

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de la Finca, Zona 2, Zamorano, Honduras.	14
Figura 2 Mapa perimetral de la finca Zona 2, Zamorano, Honduras.	29
Figura 3 Distribución de lotes dentro de la finca Zona 2, Zamorano, Honduras.	30
Figura 4	32
Figura 5 Mapa de sectores de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.	33
Figura 6 Mapa topográfico de Zona 2, Zamorano, Honduras.	35
Figura 7 Mapa integrado de suelos, topografía y sectores de Zona 2, Zamorano, Honduras.	36
Figura 8 Mapa de tuberías principales y secundarias de Zona 2, Zamorano, Honduras.	40
Figura 9 Curva de rendimiento Bomba Combustible y puntos de trabajo para todos los sectores de riego.	47
Figura 10 Curva de rendimiento, Bomba Eléctrica y puntos de trabajo para todos los sectores de riego.	48
Figura 11 Propuesta de sectores de riego para Zona 2, Zamorano, Honduras.	50
Figura 12 Propuesta de distribución de tuberías primarias y secundarias para el sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.	52
Figura 13 Puntos de trabajo de la bomba de combustible, alcanzado para regar todos los sectores de riego, bajo la nueva propuesta de diseño en Zona 2, Zamorano, Honduras.	56
Figura 14 Puntos de trabajo de la bomba eléctrica alcanzado para regar todos los sectores de riego, bajo la nueva propuesta de diseño en Zona 2, Zamorano, Honduras.	57

Índice de Anexos

Anexo A Elaboración de calicatas para el muestreo de suelos de Zona 2, Zamorano, Honduras.	63
Anexo B Herramienta utilizada para realizar la evaluación del sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.....	64
Anexo C Medición de distancia entre emisores y laterales de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.	65
Anexo D Elaboración de uniformidad de riego y obtención de caudal unitario en Zona 2, Zamorano, Honduras.....	66
Anexo E Medición del diámetro de las tuberías principales y secundarias, de Zona 2, Zamorano, Honduras.....	67
Anexo F Perdidas de cargas en tuberías secundarias de Zona 2, Zamorano, Honduras.	68
Anexo G Fichas técnicas de emisores recomendados por cultivo en la propuesta agronómica e hidráulica de Zona 2, Zamorano, Honduras.....	69
Anexo H Velocidades y diámetros en las dos bombas de la propuesta de tuberías principales en Zona 2, Zamorano, Honduras.	70
Anexo I Ficha técnica AZUD utilizado en el sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.....	71

Resumen

Los objetivos de este estudio fueron evaluar hidráulica y agronómicamente el sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras, y desarrollar propuestas hidráulicas y agronómicas para el mejoramiento del sistema de riego de estos terrenos agrícolas. El estudio se realizó entre los meses de septiembre a noviembre del 2022 y de enero a mayo del 2023. Se consultó sobre el historial del terreno y del sistema, junto a la herramienta de evaluación del sistema para obtener la información actual, se tomaron datos en campo para realizar los mapas perimetrales, topográfico, suelos, riego y sectores de riego. Mediante la información completa adquirida y con los mapas se procedió a realizar los cálculos hidráulicos, como la ecuación de Hazen-Williams con las cuales se obtuvieron las pérdidas de carga en tuberías y los cálculos agronómicos, tales como las ecuaciones de densidad de emisores, caudal unitario, caudal instantáneo, precipitación instantánea, ETc máxima, número de sectores de riego y tiempo de riego. Se evidenció un diseño agronómico con oportunidades de mejora, habiendo mucha variabilidad en el tamaño de cada sector de riego, afectando los caudales instantáneos y un exceso en las horas de riego. Hidráulicamente se encontraron pérdidas de carga y velocidades superiores, excedentes a lo recomendado. Se diseñó una propuesta hidráulica y agronómica, con los recursos existentes de Zona 2 con el cual se redujo las horas de riego totales, se mejoró la uniformidad de los caudales instantáneos; disminuyendo la carga dinámica total por sector y mejorando los puntos de trabajo de la bomba.

Palabras clave: Demanda hídrica, pérdidas de carga, puntos de trabajo de bomba, precipitación instantánea, sectores de riego.

Abstract

The objectives of this study were to evaluate the irrigation system of Zone 2, Zamorano hydraulically and agronomically; and to develop hydraulic and agronomic proposals for the improvement of the irrigation system. The study was conducted from September to November 2022 and January to May 2023 in Zone 2, Zamorano. The history of the system was consulted, together with the system evaluation tool to obtain current information, field data was collected to make perimeter, topographic, soil, irrigation, and irrigation sector maps. Using the complete information acquired and the maps, hydraulic calculations were made, such as the Hazen-Williams equation with which the head losses in pipes and agronomic calculations were obtained, such as the equations of emitter density, unit flow, instantaneous flow, instantaneous precipitation, maximum Etc. A poor agronomic design was evidenced, with a lot of variability in the size of each irrigation sector, affecting the instantaneous flow rates and an excess of irrigation hours. Hydraulically, load losses and higher velocities were found, more than what was recommended. A hydraulic and agronomic proposal was designed, with the existing resources of the farm, which reduced the total irrigation hours, improved the uniformity of the instantaneous; flow rates reduced the total dynamic load per sector and improved the pump working points.

Key words: Head losses, instantaneous precipitation, irrigation sectors, pump working points, water demand.

Introducción

La agricultura de hoy en día tiene como finalidad tener producciones sostenibles donde se eficienten todos los recursos disponibles. El riego, al ser uno de estos recursos, es una herramienta indispensable en el desarrollo de cualquier cultivo, ya que la demanda de nutrientes para poder expresar su máxima productividad es alta, siendo la necesidad hídrica una de ellas, en la mayoría de los cultivos extensivos. Los sistemas de riego han sido implementados en las explotaciones agrícolas de los países en desarrollo siendo sustentables y productivos al mismo tiempo. En la actualidad el agua se considera un recurso escaso que tiene una creciente demanda de un mejor manejo y un extremo cuidado, siendo el riego uno de los principales consumidores de este recurso, ocupando el 70% del consumo a escala mundial (Roldán Cañas et al. 2009).

El riego se convirtió en la tecnología principal en el sector agropecuario que permite solventar cualquier problemática que se nos presente como en el manejo hídrico, se puede proporcionar la cantidad exacta de aguas que un cultivo necesita. Esta herramienta también nos ayuda a brindar tecnología avanzada y de punta para la fertilización de igual manera, eficientizando los recursos que se manejen (Aguiles Salinas 2010). Alrededor del 60% de los alimentos necesarios para nutrir a la población mundial deben proceder de explotaciones agrícolas que estén bajo riego y se deben manejar correctamente, ya que cada vez más los recursos son escasos, de 260 millones de hectáreas que se encuentran bajo riego a nivel mundial las tres cuartas partes les corresponden a los países en desarrollo (FAO 1999).

Según el estado de energía que tenga la planta afectara la disponibilidad de agua en el suelo, lo que nos indica el nivel de dificultad que tienen estas para poder absorber el agua. La disponibilidad de agua que se tiene en la profundidad de suelo, que alcanza hasta las raíces de las plantas, es la reserva disponible que los cultivos tienen de líquido vital, es por eso que se debe proporcionar la cantidad adecuada de agua que el cultivo necesite para obtener los resultados esperados y tener un buen manejo de recursos hídricos (Fuentes Yague 2003).

La cantidad de riego disponible para un cultivo dependerá de la lámina de riego y del tipo de sistema de riego con el que se cuente. En la actualidad existen varios tipos de sistemas de riego que han sido el producto de la evolución de la humanidad y por lo tanto de la agricultura; así tenemos el riego por superficie: riego tendido, surco y melga, en el caso de riego presurizado que tiene varias alternativas como el riego por goteo, microaspersión y aspersión. Cada uno de los mencionados tienen su diferente rendimiento y propósito, y son de suma importancia según las necesidades de cada productor.

El sistema de riego por goteo distribuye el agua en forma de gotas, de una manera continua y uniforme en un lugar que esté bien cercano a la planta, humedeciendo el 30% del volumen del suelo. Este tipo de sistema de riego tiene como fin suplementar agua a la planta de una manera repetitiva para abastecer el consumo que esta utilizó para alimentarse y crecer de la mejor manera, desarrollando un sistema radicular amplio y sano. En este sistema, el agua de las tuberías primarias y secundarias cuentan con una presión alta, pero al momento que la gota cae esta no es enviada a presión para que la misma tenga mayor precisión, ahorro y un mejor manejo del agua, cada emisor o gotero es regulado con diferentes tipos de caudal para un mejor manejo y dependiendo del cultivo con el cual se esté trabajando (Demin 2014).

El diseño agronómico del riego son mejoras para poder tener un mejor manejo del recurso hídrico que involucra a la calidad de agua, clima, suelo, y cultivo, adaptando un tipo de sistema de riego que se acopla a estos parámetros con el fin de tener una producción de excelencia. La elaboración de un diseño para riego nos ayuda a la planeación precisa, de cómo regar, para poder brindar el recurso del agua de la mejor manera, así teniendo un máximo rendimiento y ayudando a la disminución de costos de producción, para que el sistema de riego se convierta en una herramienta que potencialice las producciones para que estas sean rentables, eficientizando los recursos naturales que se manejen (Villafañe 1998).

El diseño hidráulico es de suma importancia en la realización del diseño de riego, ya que este nos ayuda a mejorar el riego en el cual estemos trabajando, seleccionando las tuberías correctas, sus

medidas apropiadas para poder manejar de mejor manera el agua y no tener problemas en el rendimiento del cultivo.

En la finca Zona 2 de Zamorano se producen una variedad de cultivos, los cuales son sembrados en diferentes épocas del año y habiendo mucha variación entre ellos, incluyendo orgánicos y cultivos extensivos, los cuales tienen diferentes necesidades hídricas, unos requiriendo una mayor cantidad que otros, es por eso que se necesita un sistema de riego de excelencia que permita dar el mejor rendimiento para todos los cultivos los cuales se manejen y se obtengan resultados de importancia relevante educativa y económicamente hablando.

Los objetivos del estudio fueron evaluar el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego en la finca Zona 2, Zamorano, por medio del mapeo agronómico e hidráulico del sistema de riego actual y desarrollar propuestas de mejora del diseño agronómico e hidráulico para el sistema de riego.

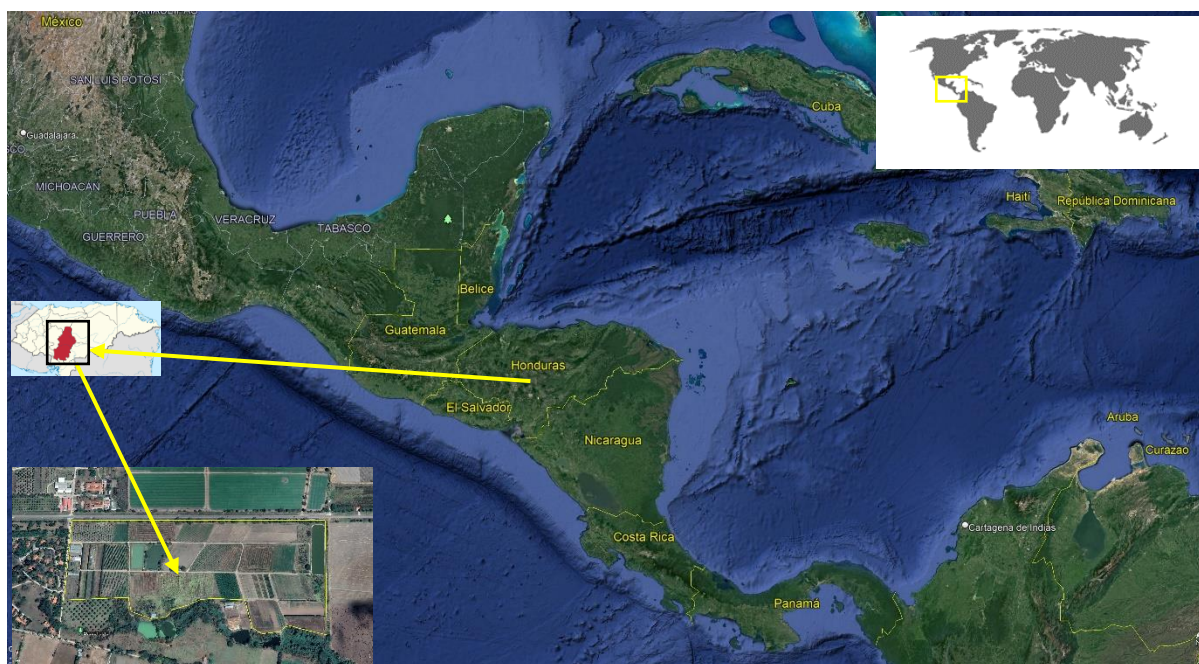
Materiales y Métodos

Descripción de Lugar

El estudio se realizó en la finca Zona 2, de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, el cual cuenta con una superficie de 32.9 hectáreas, siendo 22.79 hectáreas bajo riego. Está ubicada en el municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras (Figura 1). La zona tiene una altura de 788 msnm y un promedio anual de temperatura de 26°C. La recolección de datos se realizó en los meses de septiembre, octubre, noviembre del año 2022 y en enero, febrero, marzo, abril y mayo del año 2023.

Figura 1

Ubicación de la Finca, Zona 2, Zamorano, Honduras.



Fuente de Agua

La fuente de donde proviene el agua para el riego es la microcuenca quebrada El Gallo con caudal de captación establecido para la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano de 6 litros por segundo, que es equivalente a 189,216 metros cúbicos anuales, misma que abastece los reservorios de agua: lagunas 1, 2, y 3 de Zona 2 y lagunas Carbonal 1 y 2; que son utilizadas para almacenar y suministrar el recurso hídrico. Según un análisis de agua realizado este año se encontró que los

parámetros de calidad de esta se encuentran condiciones aceptables para su uso en el riego (Cuadro 1).

Cuadro 1

Análisis de parámetros de calidad de agua de la fuente de riego proveniente de la microcuenca Santa Inés y quebrada de El gallo, Zamorano, Honduras.

Parámetros	Unidades	Resultados	Límites máximos permisibles	Validación
pH	pH	7.91	6.5-8.5	Cumple
Sólidos totales	Mg/L	55.93	1000	Cumple
Temperatura	°C	26.0	23.0-27.0	Cumple

Nota. °C: grados centígrados, cm: centímetros, Mg: miligramos, L: Litros.

Datos Climatológicos de la Zona

Se utilizó la estación meteorológica ATMOS 41 ubicada en el campus central de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, para obtener principalmente los datos de precipitación y evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) para poder realizar los cálculos del diseño agronómico (Cuadro 2). Mediante la estación meteorológica David Vantage Pro-2 se obtuvieron los datos históricos de la (ET_o), de cada año a partir del 2016 hasta el 2022, lo cual nos ayudó a definir el valor más crítico durante los últimos ocho años para realizar los cálculos de la (ET_c) (Cuadro 3).

Cuadro 2

Datos de temperatura, humedad relativa, evapotranspiración del cultivo de referencia y precipitación del año 2022/2023, Zona 2, Zamorano, Honduras.

Mes	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)	ET _o (mm)	Precipitación (mm)
	Mínima	Máxima	Media			
2022						
Septiembre	17.60	34.20	23.63	87.22	3.85	7.40
Octubre	14.80	34.30	23.84	83.90	3.72	11.10
Noviembre	14.80	34.50	23.07	84.69	2.95	40.10
Diciembre	11.30	33.20	21.59	79.59	2.85	152.30
2023						
Enero	10.10	34.00	21.48	74.25	3.07	137.80
Febrero	11.90	34.60	22.81	65.73	3.85	142.30
Marzo	12.90	37.50	23.88	66.59	4.12	196.50
Abril	14.90	38.50	25.38	62.17	4.63	149.20
Mayo	17.60	36.10	25.71	70.62	4.25	45.50
Total	-	-	-	-	33.29	1095.70
Promedio	13.99	35.21	23.49	74.97	3.70	91.30

Nota. °C: grados centígrados, mm: milímetros, ET_o: evapotranspiración del cultivo de referencia.

Cuadro 3

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) de los últimos ocho años de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Mes	ET _o 2016	ET _o 2017	ET _o 2018	ET _o 2019	ET _o 2020	ET _o 2021	ET _o 2022	ET _o 2023
Enero	4.56	4.61	4.55	3.86	5.3	4.92	4.92	3.9
Febrero	5.16	5.14	5.12	4.97	5.08	4.68	5.17	4.8
Marzo	5.67	5.76	5.96	5.64	5.82	5.64	5.94	5.2
Abril	5.93	5.87	5.87	5.81	5.96	6.1	6.03	5.3
Mayo	5.9	5.18	5.52	5.23	5.27	5.42	5.83	5.9
Junio	4.86	4.36	5.03	5.56	4.67	5	4.98	-
Julio	5.01	4.87	5.83	5.7	5.33	4.95	4.76	-
Agosto	5.82	5.13	5.35	5.71	5.54	5.21	4.72	-
Septiembre	4.9	5.15	4.87	5.75	5.29	5.09	5	-
Octubre	4.78	4.4	4.87	5.26	4.63	4.95	4.6	-
Noviembre	3.75	3.81	4.19	5	3.99	4.02	4	-
Diciembre	3.99	3.92	3.73	3.96	3.92	4	3.6	-
ET _o más alta	5.93	5.87	5.96	5.81	5.96	6.1	6.03	5.9

Nota. ET_o: Evapotranspiración del cultivo de referencia.

Descripción del Estudio

Levantamiento de Información en Campo

Recolección de Información General.

Para iniciar esta investigación se solicitó información al jefe técnico, al ingeniero a cargo de la Unidad Riego y Drenaje, y a cada una de las unidades productivas que utilizan la finca para conocer sobre los antecedentes, las prácticas de mantenimiento, y la descripción de la operación agronómica e hidráulica del sistema de riego actual. Por otro lado, se identificó en campo los diferentes tipos de cultivos sembrados y con ayuda de los operadores de cada unidad se obtuvo los datos agronómicos de cada cultivo, lo que fue de gran ayuda para poder realizar la evaluación del riego y la propuesta agronómica. (Cuadro 4).

Cuadro 4

Cultivos sembrados en Zona 2, Zamorano, Honduras.

Cultivo	Unidad Productiva	Distancia entre planta (m)	Distancia entre hileras (m)	Densidad recomendada (pl/ha)
Limón	Frutales	6	7	200
Cultivos orgánicos	Agricultura Orgánica	0.2	0.2	2200
Coliflor	Agricultura Orgánica	0.4	1.5	200000
Yuca	Agricultura Orgánica	0.6	1.5	6520
Maíz Orgánico	Agricultura Orgánica	0.2	1.5	42560
Plátano	Frutales	1.5	1.5	3300
Papaya	Frutales	2	1.5	1666
Sorgo	Granos y Semillas	0.15	0.8	220000
Frijol	Granos y Semillas	0.15	0.6	180000
Maíz	Granos y Semillas	0.12	0.4	86000
Arroz	Granos y Semillas	0.03	0.2	200-300(kg de semilla/ha)
Frijol/UIDC	UIDC	0.1	0.7	180000
Maíz/UIDC	UIDC	0.2	1	120000
Sorgo/UIDC	UIDC	0.2	1	120000

Nota. m: metros, pl/ha: plantas por hectárea, UIDC: Unidad de Investigación y Desarrollo de cultivos.

Toma de Coordenadas Perimetricas

Para realizar el mapa actualizado de la finca se tomaron coordenadas caminando por el perímetro de la finca con la ayuda del GPS Garmin, modelo ETREX 22x, se tomaron puntos de referencia para poder graficarlos posteriormente en la aplicación QGIS Desktop 3.16.3.

Determinación y Evaluación del Diseño Agronómico del Sistema de Riego

Elaboración de Mapas

Al no existir mapas actualizados de la finca, se realizaron los mapas cartográficos de suelo, riego, topográfico y de sectores de riego, mediante la aplicación QGIS Desktop 3.16.3, para poder adquirir variables y realizar los respectivos cálculos del diseño hidráulico y poder estimar el diseño agronómico que existe en finca productiva.

Mapa Perimetral.

Finalizando el recorrido del perímetro de la finca, se colocó las coordenadas en un cuadro de Excel Microsoft 365, y subsiguientemente transformar el archivo XLS a un archivo CSV, para poder reunir los datos obtenidos a la aplicación QGIS.

Posteriormente, se agregó la capa como texto delimitado, obteniendo los puntos. Se agregó una imagen satelital para la unión de los puntos con la creación de una capa con un tipo de geometría de polígono.

Mapa de Distribución de Lotes.

Según los datos ya existentes sobre los lotes de producción de la finca, juntamente con el apoyo de los operadores de las diferentes unidades productivas, se elaboró un mapa de distribución de lotes para poder identificar las divisiones de todo el terreno, y a que unidad productiva corresponden. Se recorrió el perímetro de cada lote, se colocó las coordenadas en un cuadro de Excel Microsoft 365, y posteriormente se transformó el archivo XLS a un archivo CSV, para poder reunir los datos obtenidos a la aplicación QGIS. Luego se agregó la capa como texto delimitado, obteniendo los puntos. Se agregó una imagen satelital para la unión de los puntos con la creación de una capa tipo con un tipo de geometría de polígono.

Mapa de Texturas de Suelo.

Para la realización del mapa de textura de suelo, se elaboraron 10 calicatas por toda la finca de manera aleatoria, se realizó un muestreo de suelo. Estas muestras fueron analizadas mediante el método organoléptico donde se obtuvo la textura de suelo de cada calicata (Thien 1979) (Anexo A).

Por cada punto de muestreo se tomó la coordenada mediante el GPS Garmin, para colocarlos en un cuadro de Excel Microsoft 365, para después transformar el archivo XLS a un archivo CSV, para poder incorporar los datos a la aplicación QGIS. Posteriormente, se agregó la capa como texto delimitado por comas, se obtuvieron los puntos de las muestras en el mapa perimetral, con estos puntos se realizó un proceso de interpolación IDW, herramienta que utiliza una metodología que se basa en la distancia que se tiene de un punto que se conoce y otro (Duarte Hernandez y Montaña Avalos 2020).

Mapa de Sectores de Riego.

Para la realización del mapa de sectores de riego actuales se tomaron coordenadas del perímetro de cada sector, luego se colocaron las coordenadas en un cuadro de Excel Microsoft 365, que después se los convirtió el archivo XLS a un archivo CSV, para poder incorporar los datos a QGIS, y luego se agregó una capa como texto delimitado por comas y se unió los puntos con una nueva capa con un tipo de geometría de polígonos.

Mapa Topográfico.

Para la elaboración del mapa topográfico, se solicitó la ayuda de la Unidad de SIG y Topografía, Zamorano, en conjunto con la unidad de Servicios Agrícolas, específicamente Agricultura de Precisión. Para lo cual se realizó el levantamiento topográfico de toda la finca Zona 2, con la utilización del vehículo aéreo no tripulado (VANT), dron DJI, Phantom 4, RTK, el cual realizó un vuelo por toda el área, de donde obtuvo imágenes para luego ser analizadas por el software PIX4D el cual procesó las imágenes obtenidas por el dron y obteniendo un orto mosaico, generando un modelo digital del terreno para así obtener las curvas a nivel. Posteriormente se utilizaron las curvas del terreno para incorporarlas QGIS, mediante la creación de una capa tipo ráster y obtener el mapa topográfico.

Mapa de Riego.

Se realizó un mapa de tuberías con ayuda de los operadores de riego de las diferentes unidades productivas de Zamorano las cuales trabajan en Zona 2. De igual manera se observó las tuberías de manera real para conocer su ubicación exacta y su diámetro, después se obtuvo las coordenadas de inicio y fin de las tuberías principales y secundarias, tomando en cuenta la presencia de los accesorios de tubería (tee, codos, reductos y tapones) en toda Zona 2, posteriormente se incorporó a la aplicación QGIS y se los unió mediante una capa tipo archivo con el tipo de geometría cadena de líneas. Luego se les dio la nomenclatura asignada y se agregó el campo de "longitud" para saber la distancia de cada tubería.

Parámetros Agronómicos del Sistema de Riego

Se tomaron datos dentro del lote para obtener parámetros del diseño agronómico ya establecido en Zona 2. Se consultó el número de sectores actuales dentro de la finca y el tiempo que se riega, añadiendo los parámetros que se describen en las siguientes fórmulas. Se utilizó la herramienta de recolección de información para la evaluación del funcionamiento y operación del sistema de riego (Anexo B).

Densidad de Emisores.

Se tomó la distancia entre goteros en la cinta de riego en campo en los diferentes lotes de la finca para determinar la densidad de emisores en cada sector de riego. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 1 (Anexo C).

$$Ne = \left(\frac{10,000}{Dh \times Dsh} \right) \quad [1]$$

Donde:

Ne= Número de emisores por hectárea

Dh= Distancia entre hileras (m)

Dsh= Distancia entre emisores sobre hilera (m)

Caudal del Emisor.

Se realizó el aforo de los emisores en campo por el método directo con el cual se captó el agua por un tiempo determinado (Ecuación 2). Se obtuvieron los caudales por emisores y estos se utilizaron para obtener el coeficiente de uniformidad por el método de Christiansen (CUC).

$$Q = \frac{V}{T} \quad [2]$$

Donde:

Q = Caudal, en litros por hora.

V = Volumen, en litros.

T = Tiempo, en horas.

Con esta metodología es necesario tomar como mínimo 16 caudales de emisores distribuidos en el sector de riego de forma aleatoria, cada muestra fue tomada mediante la ayuda de un recipiente plástico que se colocó debajo del emisor captando todo el volumen de agua que se estaba aplicando. Se estableció que cada recipiente captó el volumen del emisor durante un periodo de tiempo de 10 minutos y se midió el volumen de agua de cada recipiente con la ayuda de una probeta (Anexo D). Este cálculo nos ayudó a conocer la uniformidad en la cual se está suministrando el riego dentro de la finca, siendo un índice de evaluación del funcionamiento del sistema de riego (Bedoya Cardoso y Montiel 2016). Se realizó el cálculo para obtener el caudal por emisor mediante ecuación 3.

$$CUC = 100 \times \left(\frac{1 - \sum |X_i - X|}{X \times n} \right) \quad [3]$$

Donde:

CUC= coeficiente de uniformidad

X_i= datos individuales, (de 1 a n)

X= promedio de todos los datos

n= número de datos

$|X_i - X|$ = valor absoluto de la diferencia entre $X_i - X$

Precipitación Instantánea del Sistema.

Esta variable nos indica la precipitación que estará brindando el sistema en mm/h, mismo que va a depender del cultivo que este sembrado, ya que va a variar según la demanda hídrica de cada cultivo. Se realizó el cálculo mediante la ecuación 4.

$$Ph = \left(\frac{N_E \times Q_e}{10,000} \right) \quad [4]$$

Donde:

Ph= Precipitación instantánea del sistema, mm/h.

Ne= Número de emisores por hectárea.

Qe= Caudal del emisor, L/h.

Tiempo de Riego.

Se calculó el tiempo ideal que se necesite regar, para que se efectúen las necesidades hídricas de cada cultivo, para lo cual se realizó el cálculo utilizando la ecuación 5.

$$TR = \left(\frac{ET_{Cmax}}{Ph \times Ef} \right) \quad [5]$$

Donde:

TR= Tiempo de riego, h

ETc max= Evapotranspiración máxima del cultivo, mm/d

Ef= Eficiencia del sistema

Número de Sectores de Riego.

Para obtener los sectores de riego que deberían estar presentes en la finca y la correcta operación del sistema de riego, se necesitó el tiempo de riego diario y tiempo disponible para regar,

siendo las horas laborables del personal encargado de regar cada área de la finca, utilizando la ecuación 6 para realizar el cálculo.

$$NS = \left(\frac{NHTD}{TR} \right) \quad [6]$$

Donde:

NS= Número de sectores

NHTD= Número de horas tiempo de riego diario (máximo 24h/d), en h

TR= Tiempo de riego, en h

Número de Hectáreas por Sector de Riego.

Para poder obtener el área de cada sector se dividió el número hectáreas en cada área de la finca por el número de sectores, que sirvió para obtener una nueva distribución de sectores de riego. realizando el cálculo mediante la ecuación 7.

$$NHSR = \left(\frac{ha}{NS} \right) \quad [7]$$

Donde:

NHSR= Número de hectáreas del sector de riego

Caudal Unitario.

Teniendo el número de emisores y el caudal de ellos se realizó la fórmula para obtener el caudal de una hectárea utilizando la ecuación 8.

$$Q_u = N_e \times Q_e \quad [8]$$

Donde:

Qu= Caudal unitario, en m³/h/ha.

Ne= Número de emisores por hectárea.

Qe= Caudal del emisor, en m³/h.

Caudal Instantáneo.

Teniendo el caudal unitario y la superficie total de riego se obtuvo el caudal emitido en cada sector de riego, obteniendo un resultado el cual servirá para encontrar el punto de trabajo de la bomba, realizando el cálculo mediante la siguiente ecuación 5.

$$Q_i = Q_u \times S_s \quad [9]$$

Donde:

Q_i = Caudal instantáneo, en m^3/h .

Q_u = Caudal unitario, en $m^3/h/ha$.

S_s = Superficie del sector de riego, en ha.

Determinación y Evaluación del Diseño Hidráulico del Sistema de Riego

Mapa de Tuberías

Se realizó un mapa para la identificación y comprensión de la ubicación de cada tubería tanto de principales como secundarias, comenzando con el numeró "1" en tuberías secundarias y "101" en tuberías principales y continuando en cada caso de forma ascendente; también se le dio nombre a cada válvula ubicada en la di furcación de cada lote de la finca comenzando con el numeró "1" en la válvula ubicada en el primer lote de la finca continuando de forma ascendente con el orden de los lotes que están distribuidos dentro de la finca.

Parámetros Hidráulicos del Sistema de Riego

Para la evaluación y diseño hidráulico se tomó en cuenta la longitud de cada tubería y los diferentes diámetros, presentes en el sistema de riego de la finca, los cuales se tomaron de manera real con ayuda de la herramienta de medición pie de rey (Anexo E). Obteniendo así dos tipos de pérdidas, uno correspondiente a las primarias, las cuales se pueden modificar a modo que sean menos perdidas y se pueda aprovechar mejor el recurso hídrico y tenga un correcto funcionamiento el sistema de riego, las perdidas primarias son aquellas perdidas valga la redundancia, obtenidas en tuberías primarias, secundarias, laterales y las perdidas secundarias corresponden a las pérdidas que

se pueden encontrar en cada accesorio de riego como lo son codos, "Y", "T", di furcaciones, válvulas, filtros (Heras 2011).

Pérdida de Cargas en Tuberías Principales.

Las pérdidas de cargas en las tuberías principales se dan cuando el agua entra en contacto con la zona de la tubería, donde ocurre una fricción, lo cual reduce la energía que se halla en forma de presión dentro de estas. Para la obtención de este cálculo se utilizó el coeficiente de resistencia y el coeficiente de rugosidad por medio de la ecuación de Hazen-Williams (Alegret y Martínez 2019). Se realizó el cálculo mediante la ecuación 10.

$$hf = K \times \frac{Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times Di^{4.871}} \quad [3]$$

Donde:

hf= Pérdida de carga por fricción

K= Coeficiente de resistencia

Q= Caudal

L= Longitud

C= Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

Di= Diámetro interno

Perdida de Carga en Tuberías Secundarias y Laterales.

Cuando el flujo continuo del agua llega hasta las tuberías secundarias, la alteración del diámetro de estas ya sea aumentando o disminuyendo va a afectar lo que son las pérdidas de cargas, sumándose las salidas múltiples del sistema. Para las tuberías laterales se utilizó la misma metodología, siendo la ecuación 11, la formula a utilizar para obtener las pérdidas de cargas para los tipos de tuberías. Se utilizó la ecuación 11 para realizar el cálculo, siendo similar a la ecuación 10, con la diferencia que se añadió el factor de corrosión por salidas múltiples en la tubería. En las tuberías secundarias las pérdidas de carga aceptables dentro de un sistema de riego corresponden al 10% de la presión de operación del emisor en mca.

$$hf = K \times \frac{Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times Di^{4.871}} \times F \quad [4]$$

Donde:

hf= Pérdida de carga por fricción

K= Coeficiente de resistencia

Q= Caudal

L= Longitud

C= Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

Di= Diámetro interno

F= Salidas múltiples

El factor de salidas múltiples es requerido por el número de acoples hechos a las tuberías secundarias y laterales, realizando el cálculo mediante la ecuación 12.

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{(m-1)^{0.5}}{6N^2} \quad [5]$$

Donde:

N = Número de salidas

m = Coeficiente de velocidad de H y W, 1.852

Diámetro Requerido en Tuberías Secundarias.

Para la propuesta de diseño hidráulico se necesitó saber el diámetro sugerido de la tubería para que las pérdidas de cargas en tuberías secundarias no pasen del 10% y así despejar la fórmula de pérdidas de carga en tuberías secundarias en función al diámetro y realizando el cálculo mediante ecuación 13.

$$Di_{req} = \left(K \times \frac{Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times hf} \times F \right)^{\left(\frac{1}{4.871} \right)} \quad [6]$$

Donde:

$D_{i_{req}}$ = Diámetro interno requerido

K = Coeficiente de resistencia

Q = Caudal

L = Longitud

C = Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

h_f = Pérdida de carga por fricción

F = Salidas múltiples

Pérdida de Cargas en Accesorios.

En los accesorios de los sistemas de riego también se pierden cargas, ya que con el flujo continuo el agua dentro de cada uno de estos se va a ver afectado, es por esto por lo que se realizó este cálculo utilizando la ecuación 14.

$$h_i = K_i \times \frac{v^2}{2g} \quad [7]$$

Donde:

h_i = pérdidas de carga en accesorios, en mca

K_i = factor adimensional (por tablas)

V = velocidad de flujo agua, en m/s

g = aceleración de la gravedad

Velocidad en Tuberías

Se utilizó la ecuación de caudal en conductos cerrados, despejando la variable velocidad, realizando el cálculo mediante la ecuación 15.

$$V = \frac{Q}{A} \quad [8]$$

Donde:

V = Velocidad de flujo promedio (m/s)

A = Área de la sección conductora (m²)

Carga Dinámica Total

Este término corresponde a todas las pérdidas por carga que tenga el sistema de riego realizando una suma de estas, con la finalidad de encontrar el punto más crítico y demostrar el requerimiento necesario de energía para abastecer a este punto, considerando lo siguiente:

Presión de operación del emisor

Tubería lateral

Tubería secundaria

Tubería principal

Desnivel topográfico

Válvulas

Filtros

Singularidades/Accesorio

Resultados y Discusión

Estudio Agronómico

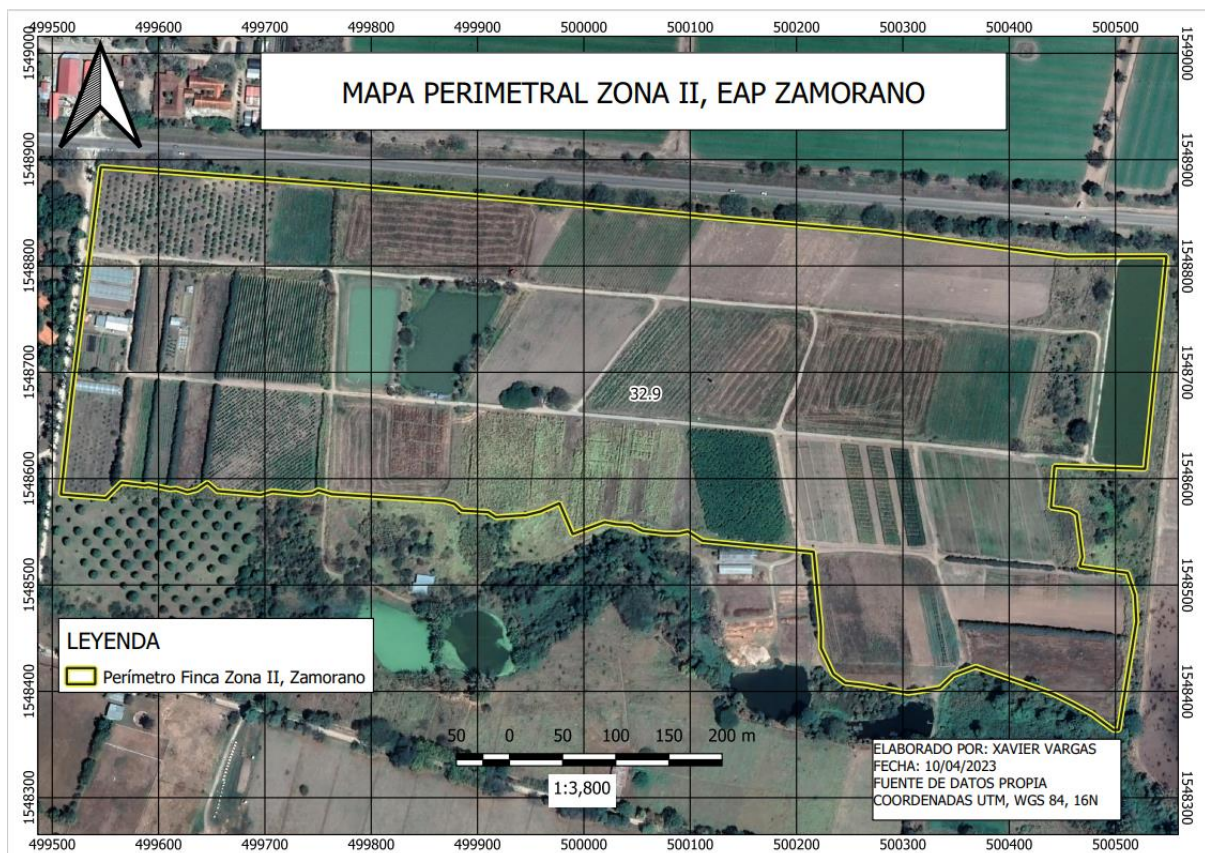
Se realizaron mapas de distribución de lotes, perímetro, suelo, sectores, y topografía de la finca Zona 2, por medio de la aplicación QGIS Desktop versión 3.16.3 que es un software libre y código abierto. Se obtuvo como resultados mapas de perímetro, distribución de lotes, sectores de riego, texturas de suelo, topografía y el integrado de estos.

Mapa Perimetral y Distribución del Área

La superficie de la finca Zona 2, cuenta con un área total de 32.9 hectáreas, siendo 22.79 hectáreas bajo riego y siendo parte del diseño actual del sistema de riego (Cuadro 5). La distribución del terreno se observa en la Figura 2.

Figura 2

Mapa perimetral de la finca Zona 2, Zamorano, Honduras.



Cuadro 5

Distribución del área dentro de la finca Zona 2, Zamorano, Honduras.

Zona II		
	(ha)	(m ²)
Área Total:	32.9	329000
Área en producción	26.29	262900
Área bajo riego	22.79	227900
Área no efectiva	6.61	66100

Nota. ha: hectáreas, m²: metros cuadrados.

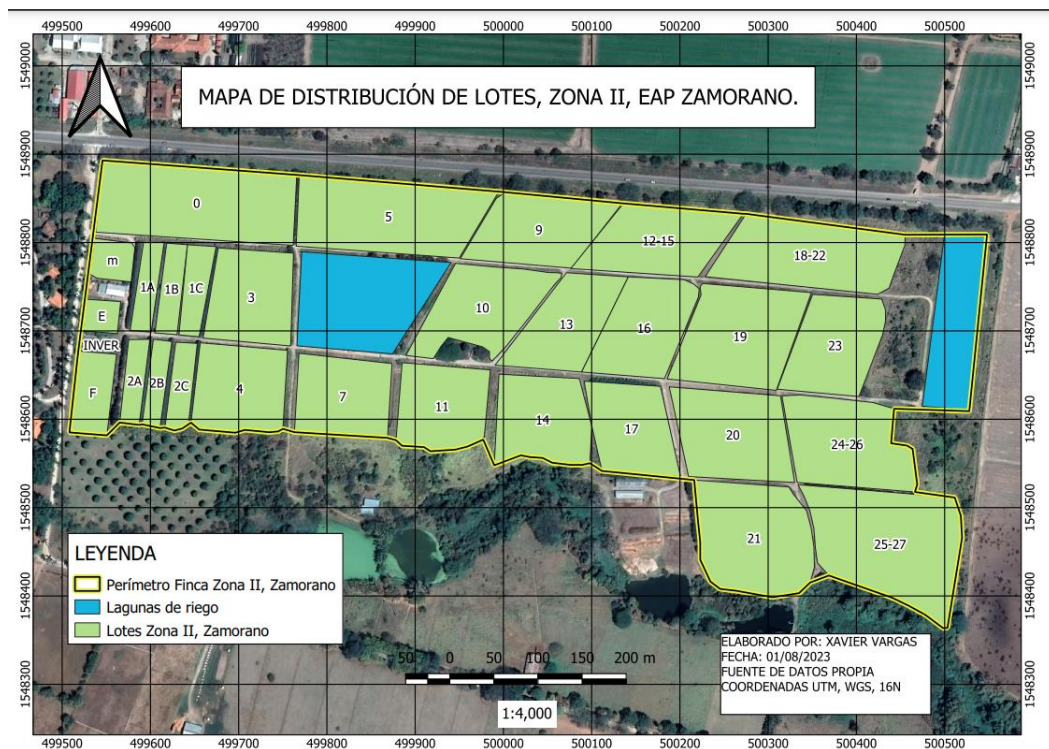
Distribución de Lotes.

La finca cuenta con la división de diferentes lotes, los cuales son asignados a las diferentes unidades productivas y tienen un número previamente determinado para su identificación (Figura 3).

Cada uno de estos cuentan con diferentes distribuciones de área (Cuadro 6).

Figura 3

Distribución de lotes dentro de la finca Zona 2, Zamorano, Honduras.



Cuadro 6

Distribución lotes dentro de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Identificación de lote	Área (ha)	Unidad Productiva	Cultivo
0	1.31	Frutales	Limón
0	0.48	Frutales	Plátano
M	0.21	Agricultura Orgánica	Maíz Orgánico
E	0.14	Agricultura Orgánica	Cultivos orgánicos
Invernadero	0.04	Agricultura Orgánica	Coliflor
F	0.4	Agricultura Orgánica	Lote sin sembrar
1ª	0.24	Agricultura Orgánica	Lote sin sembrar
2ª	0.22	Agricultura Orgánica	Yuca
1B	0.25	Agricultura Orgánica	Lote sin sembrar
2B	0.2	Agricultura Orgánica	Yuca
1C	0.29	Agricultura Orgánica	Maíz Orgánico
2C	0.25	Agricultura Orgánica	Lote sin sembrar
3	0.96	Frutales	Plátano
4	0.98	Frutales	Papaya
5	1.63	Granos y semillas	Sorgo
7	0.92	Granos y semillas	Frijol
9	1.05	Granos y semillas	Sorgo
10	1.09	Granos y semillas	Arroz
11	0.92	Granos y semillas	Lote sin sembrar
12-15	1.08	Granos y semillas	Sorgo
13	0.94	Granos y semillas	Sorgo
14	0.99	Granos y semillas	Lote sin sembrar
16	1.01	Granos y semillas	Sorgo
17	0.89	Granos y semillas	Frijol
18-22	1.43	Granos y semillas	Lote sin sembrar
19	1.38	Frutales	Plátano
20	1.22	UIDC	Maíz/UIDC
21	1.51	UIDC	Sorgo/UIDC
23	1.02	Granos y semillas	Frijol
24-26	1.28	UIDC	Frijol/UIDC
25-27	1.97	UIDC	Lote sin sembrar

Nota. ha: hectáreas, UIDC: Unidad de Investigación y Desarrollo de cultivos.

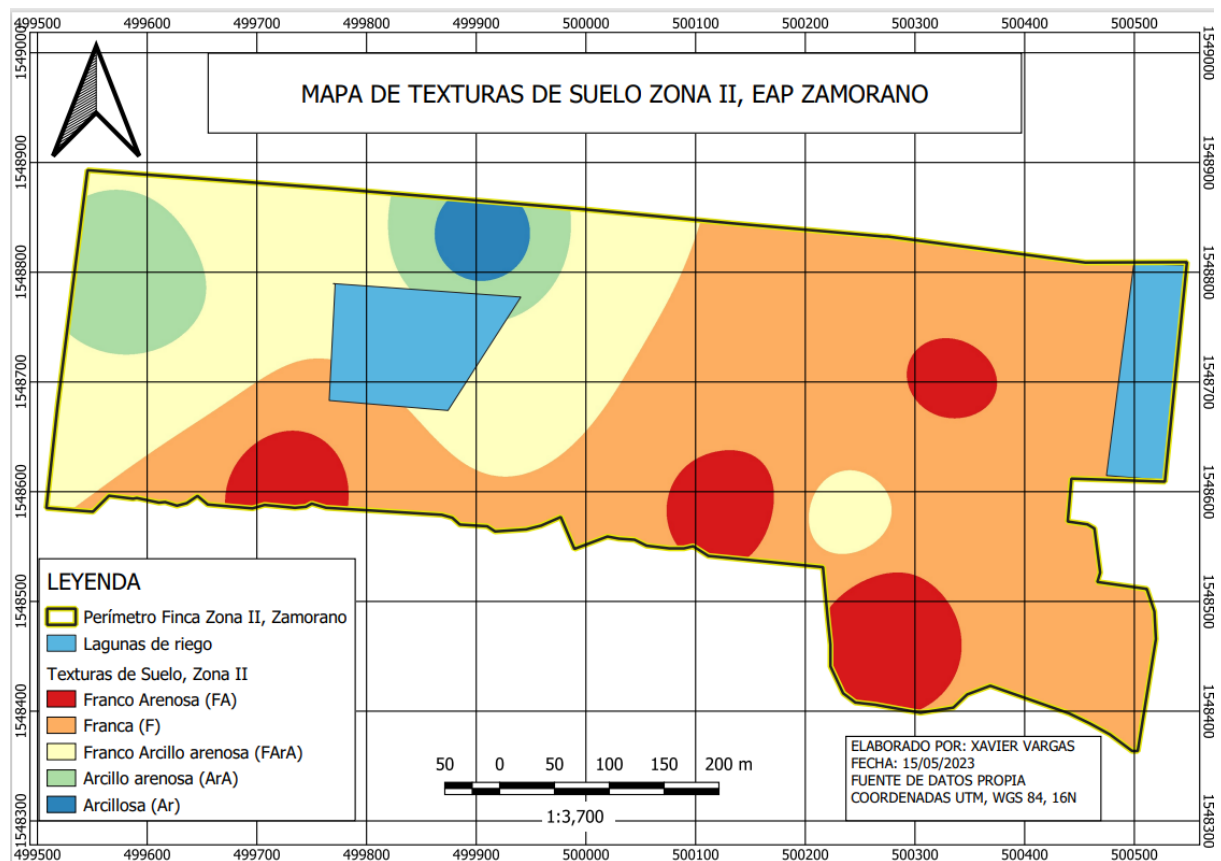
Mapa de Texturas de Suelo

Se encontraron cinco diferentes texturas de suelo (franco arenoso, franca, franco arcillo arenosa, arcillo arenosa y arcilloso) distribuidas a lo largo del perímetro de la finca (Figura 4). En donde se encontró que la textura franca es la más predominante, ocupando el 54% del área de la finca (Hernandez 2020). Dado este parámetro se definió la tasa básica de infiltración presente en el área estudiada (Cuadro 7). La infiltración se refiere al proceso por el cual el agua se introduce en el suelo, transportándose hacia y a través de sus capas, siendo influenciada por diferentes factores como la capacidad de los poros del suelo para retener y transportar el agua (Orjuela Matta et al. 2010). La tasa

de infiltración del suelo es importante para determinar el diseño de un sistema de riego, es por eso que la precipitación instantánea dentro de los sistemas de riego no debe mayor que velocidad o tasa de infiltración del suelo para evitar acumulaciones de agua en la superficie y perder la misma por medio de escorrentía causando disminución en la eficiencia del uso del agua (Morales A. 2020).

Figura 4

Mapa de texturas de suelo de Zona 2, Zamorano, Honduras.



Cuadro 7

Tasa de infiltración básica para los tipos de suelo encontrados en Zona 2, Zamorano, Honduras.

Tipo de suelo	Tasa de infiltración básica (mm/hora)
Franco arenosa (FA)	8-12
Franca (F)	7-10
Franco arcillo arenosa (FArA)	7.23
Arcillo Arenosa (ArA)	6.35-7.87
Arcillosa (Ar)	5

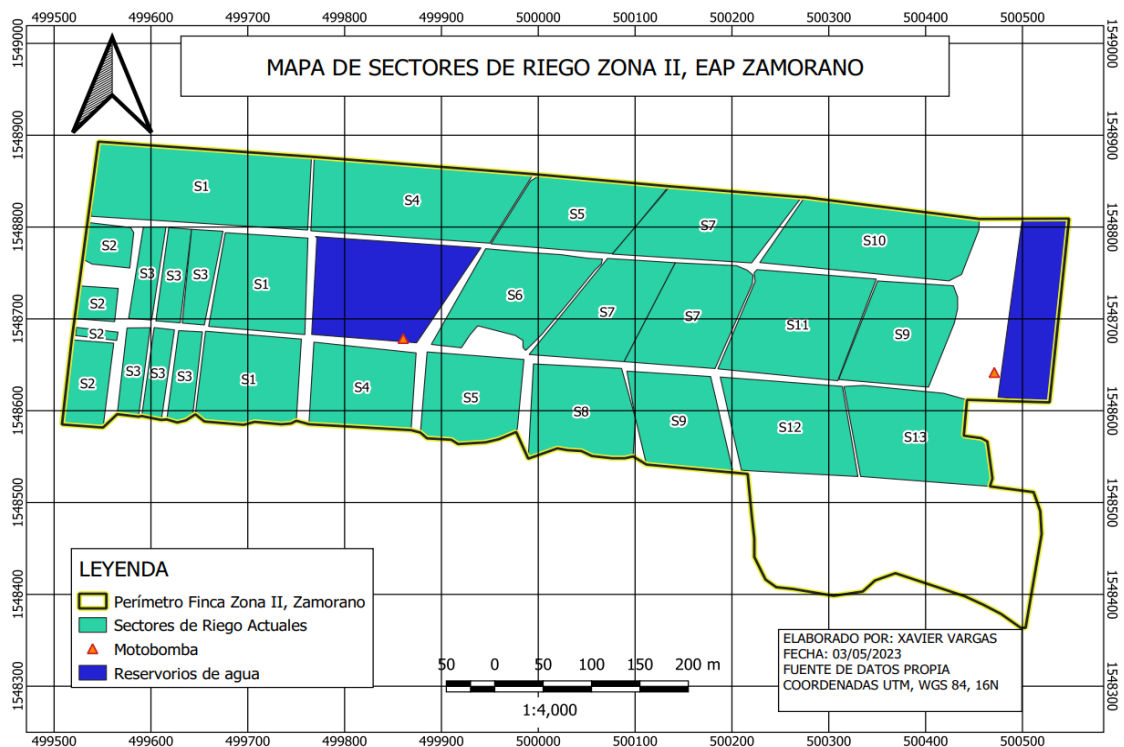
Nota. Adaptado de Peralta y Simpfindörfer (2001), Reyes (2023), USDA (1990), Tarjuelo (2005).mm: milímetro

Mapa de Sectores de Riego

Se encontró que se tiene una totalidad de 13 sectores de riego (Figura 5), Estos se encuentran distribuidos a lo largo del terreno con una des uniformidad en el número de hectáreas por sector, con una distancia muy lejana entre cada lote por sector, siendo una problemática en el diseño del sistema (Cuadro 8).

Figura 5

Mapa de sectores de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.



Cuadro 8

Distribución de los sectores de riego, superficie y unidad productiva correspondiente de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Sectores de riego	Área (ha)	Unidad Productiva
1	3.74	Frutales
2	0.79	Agricultura Orgánica
3	1.45	Agricultura Orgánica
4	2.55	Granos y Semillas
5	1.97	Granos y Semillas
6	1.09	Granos y Semillas
7	3.01	Granos y Semillas
8	0.99	Granos y Semillas

Sectores de riego	Área (ha)	Unidad Productiva
9	1.91	Granos y Semillas
10	1.43	Granos y Semillas
11	1.38	Frutales
12	1.22	UIDC
13	1.28	UIDC

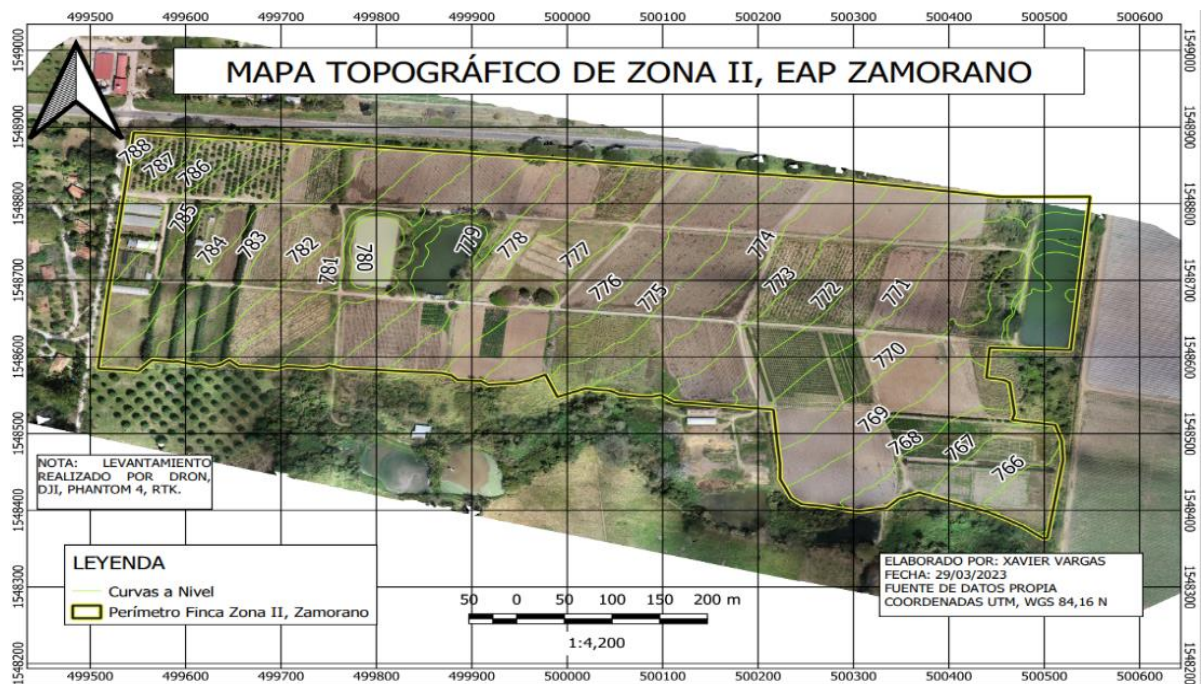
Nota. ha: hectáreas, UIDC: Unidad de Investigación y Desarrollo de cultivos.

Mapa Topográfico

Se obtuvo mediante el mapa topográfico una diferencia de altura máxima en contra pendiente de 19 metros a 923.73 metros de distancia desde el punto donde se encuentra la bomba hasta el Sector 1, representando una pendiente de -2%, valor que indica que en ese sector se tendrán pérdidas de carga de 19 mca y en el punto más lejano ubicado en el sector 13 una diferencia de altura de 7 metros con 582.93 metros de distancia, representando una pendiente de 1%, valor que indica que ese sector tendrá una ganancia de 7 mca (Figura 6). Lo que nos indica que el terreno de la finca es definido como plano o casi plano (Orihuela Contreras 2015)

Figura 6

Mapa topográfico de Zona 2, Zamorano, Honduras.

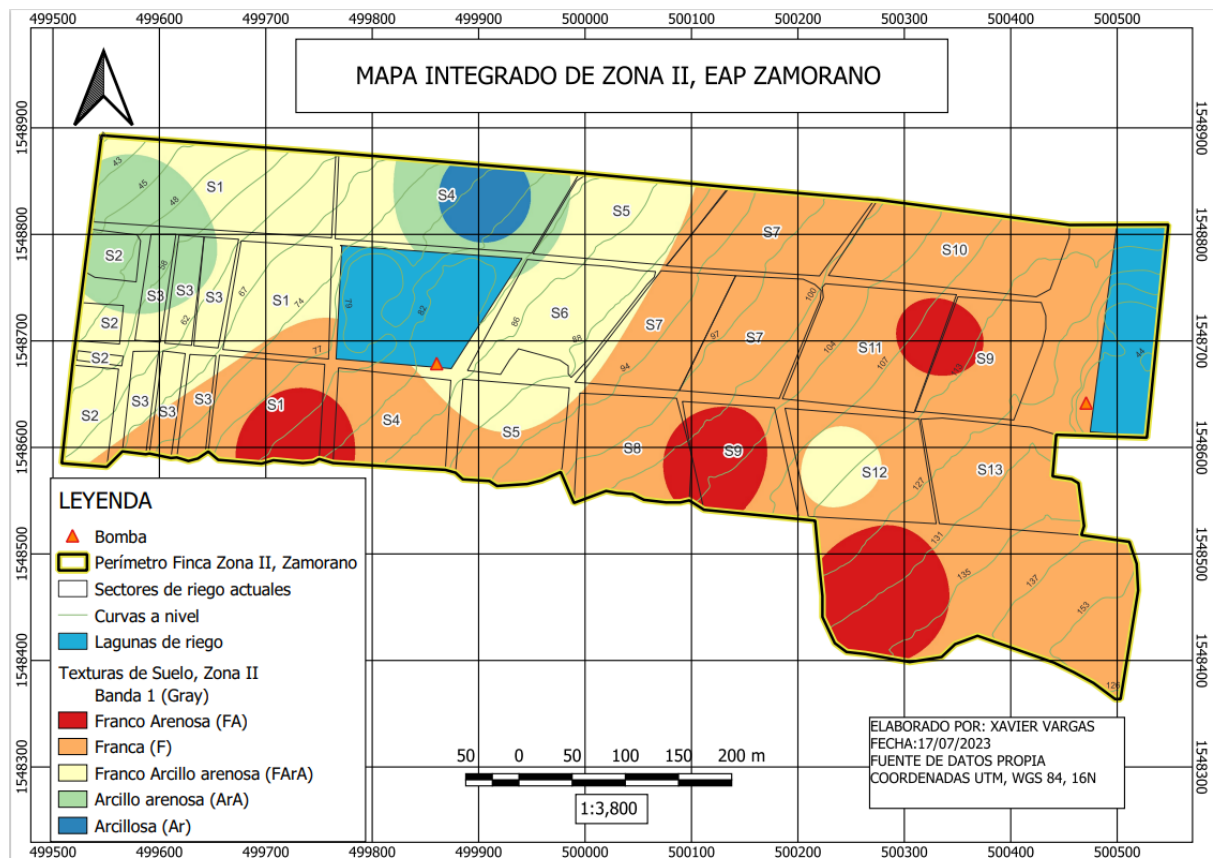


Mapa Integrado de Zona 2, Zamorano

A partir de los mapas anteriores se elaboró un solo mapa que sirve para la evaluación del diseño agronómico del sistema de riego de la finca, ya que en este se puede encontrar el número de sectores de riego y la manera en que se encuentran distribuidos de acuerdo con las topografías y la variabilidad de texturas de suelos presentes en el terreno (Figura 7).

Figura 7

Mapa integrado de suelos, topografía y sectores de Zona 2, Zamorano, Honduras.



Variables Climáticas Consideradas en el Diseño

En el Cuadro 9 se puede observar las variables a considerar en la ubicación donde se realizó el estudio, obteniendo la Evapotranspiración máxima del cultivo bajo condiciones estándar (ETc máxima), a partir del producto del coeficiente de cultivo (Kc) más alto del ciclo de cada cultivo evaluado multiplicado por la máxima evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo máxima), tomando en consideración la más alta durante los últimos ocho años, considerando la situación más crítica para el diseño (Cuadro 3). Encontrando el valor de (ETo) de 6.10, siendo históricamente el más alto (Cuadro 3), utilizado este como punto crítico, el cual será el mayor día que la planta demandará agua.

Cuadro 9

Variables que considerar en el diseño del sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Cultivo	Kc máximo	ETo máxima (mm/día)	ETc máxima (mm/día)
Arroz	1.2	6.1	7.32
Frijol	1.05	6.1	6.41
Maíz	1.15	6.1	7.02
Papaya	0.9	6.1	5.49
Plátano	1.1	6.1	6.71
Limón	0.7	6.1	4.27
Sorgo	1.15	6.1	7.02
Yuca	0.8	6.1	4.88

Nota. mm: milímetros.

Evaluación Agronómica

Dentro la evaluación agronómica del sistema de riego de Zona 2, se encontraron diferentes densidades de emisores por sector debido al distanciamiento entre laterales de cada área, además la variabilidad de área de cada sector de riego, se identificó que a mayor distanciamiento se obtiene una menor precipitación instantánea dentro del sistema de riego, siendo un indicador a considerar, ya que el operador de riego debe aumentar más horas de riego por cada sector donde existe un mayor distanciamiento (Cuadro 10). Se observó que el caudal por emisor era muy bajo a comparación con el caudal teórico al cual se debería llegar cada emisor, lo que indica que no se contaba con la presión requerida. El caudal instantáneo dentro del sistema se encontraba muy desuniforme, dándonos como resultado que el sector 9 tiene la precipitación más alta con 6.36 mm/h, mientras que en el sector 1 se encontró una precipitación baja de 0.63 mm/h, lo que ocasiona un funcionamiento inadecuado de las bombas, ya que van a estar a diferentes puntos de trabajo, siendo muy variable al entregar caudales instantáneos no uniformes en cada sector de riego pudiendo causar riesgo de un daño mecánico (Hooton 2020). Estas desuniformidades agronómicas pueden causar costos altos de combustible, mantenimiento, mano de obra en el cabezal de bombeo, ocasionando que el sistema sea ineficiente y no rentable, siendo afectado por el diseño agronómico del sistema, específicamente por el distanciamiento y tamaño de cada de sector de riego.

Por otro lado, en función al tiempo de riego aplicado de 1.12 a 1.68 horas, correspondiente a los sectores de riego con una mayor precipitación instantánea, mientras que el intervalo de tiempo de 2.12 a 3.07 horas de riego se aplica en los sectores que tienen una menor precipitación instantánea, se encontró que no hay uniformidad en el diseño original del sistema, ya que en el día de mayor demanda hay sectores que no logran satisfacer dicho requerimiento y otros que son sub regados, dado que las horas disponibles para regar son de 9.5 horas, y dando evidencia que con la implementación de las dos bombas no se logra suplir la demanda en 24 horas, afectando el rendimiento de la planta llevándola a un estrés. Este es un parámetro de suma importancia al momento de suministrar el riego al cultivo, ya que la planta no recibe la cantidad exacta de líquido vital para poder desarrollar sus funciones básicas, afectando su desarrollo y corriendo el riesgo de llevarla a un punto tanto de saturación como a punto de marchitez visible afectando la formación vegetativa, radicular y exceso de transpiración (Luna Flores et al. 2012).

Cuadro 10

Evaluación agronómica del sistema de riego actual de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Sectores de riego actuales	Cultivo	Área (ha)	Densidad de emisores (Ne/ha)	Marco de emisores (m ²)	Tiempo de riego (h)	Caudal Instantáneo (m ³ /h)	Precipitación instantánea (mm/h)
1	Limón	1.31	238	42	8.52	78.7	0.63
	Plátano	0.48	33333	0.3			2.93
	Plátano	0.96	33333	0.3			2.93
	Papaya	0.98	33333	0.3			2.88
		<u>3.73</u>					
2	Maíz Orgánico	0.79	33333	0.3	3.07	21.5	2.54
3	Yuca	1.45	33333	0.3	2.13	36.61	2.54
4	Sorgo	1.63	62500	0.16	1.68	134.21	4.65
	Frijol	0.92	83333	0.12			6.36
		<u>2.55</u>					
5	Sorgo	1.05	62500	0.16	2.16	81.89	4.65
	Maíz	0.92	50000	0.2			3.61
		<u>1.97</u>					
6	Arroz	1.09	125000	0.08	1.38	64.47	5.91
Bomba Eléctrica		11.58	550238	4.02	18.94	417.38	3.67
7	Sorgo	3.01	62500	0.16	1.68	139.64	4.65
8	Maíz	0.99	50000	0.2	2.16	35.72	3.61
9	Frijol	1.91	83333	0.12	1.12	121.5	6.36
10	Maíz	1.43	62500	0.2	2.16	51.62	3.61
11	Plátano	1.38	33333	0.3	2.55	40.49	2.93
12	Maíz	1.22	50000	0.2	2.19	43.29	3.61
13	Frijol	1.28	83333	0.14	1.4	64.94	6.36
Bomba Combustible		11.22	425000	0.19	13.26	71.03	4.45
Total		22.8	975238	-	32.2	-	-
Promedio		1.27	54180	-	2.94	91.72	3.93

Nota. ha: hectárea, Ne: número de emisores, m²: metro cuadrado, h: hora, m³: metro cúbico, mm: milímetros.

Evaluación Hidráulica

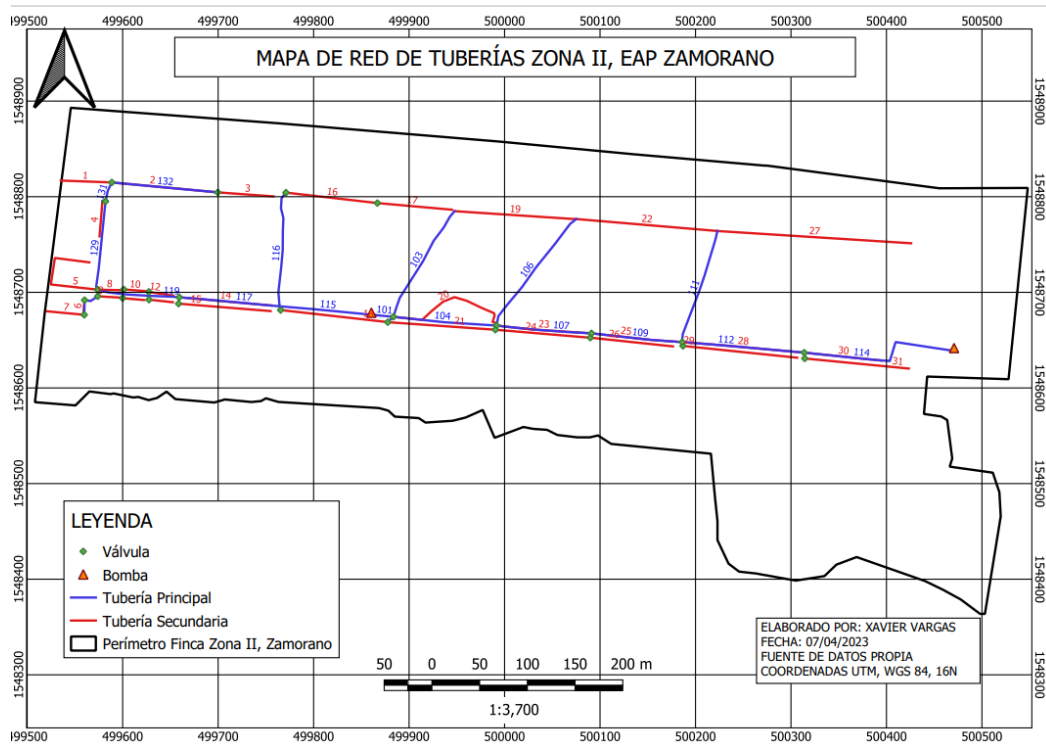
Mapa y Evaluación Hidráulica de Tuberías

En la elaboración del mapa se encontró una variabilidad de tuberías conocidas, llamadas tuberías telescópicas, tuberías las cuales son de diferente diámetro en diferentes tramos, las cuales se tomaron en cuenta para realizar el cálculo de pérdidas de cargas en estos tramos. Se localizaron tuberías con diámetros muy pequeños para el caudal que estas iban a entregar, lo cual aumentara las pérdidas de cargas en tuberías. Igualmente se pudo observar que en tuberías principales hay tramos muy largos desde el punto de estación de bombeo hasta el sector más lejano. Se identificó la presencia

de una tubería secundaria (#27) con una longitud de 203.44 metros, lo que no es factible para el sistema de riego, debido a que mayor longitud tenga la tubería, va a tener mayores pérdidas de carga (Figura 8).

Figura 8

Mapa de tuberías principales y secundarias de Zona 2, Zamorano, Honduras.



Tubería Lateral.

Para el cálculo de las tuberías laterales se utilizó la ecuación 11, y se encontró que únicamente el sector 10, cumplía con la condición de que las pérdidas no superen el 10% de la presión de operación del emisor, mientras que en los otros sectores se encontraron que las tuberías laterales eran más largas de lo recomendado (Cuadro 11).

Cuadro 11

Distancia de tuberías laterales de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Sector	Emisor	Distancia real (m)	Distancia recomendada (m)	Hf (psi)
1	Micro aspersor	78	36	5.58
2	Goteo	95.49	84.80	1.40
3	Goteo	101.98	84.80	1.69
4	Goteo	92.95	84.80	1.30
5	Goteo	97.28	84.80	1.30
6	Goteo	122.32	84.80	2.84
7	Goteo	117.71	84.80	2.54
8	Goteo	108.64	84.80	2.02
9	Goteo	110.6	84.80	2.13
10	Goteo	77.92	84.80	0.79
11	Goteo	115.57	84.80	2.41
12	Goteo	105.44	84.80	1.85
13	Goteo	100.37	84.80	1.75

Nota. (m): metros.

Tubería Secundaria.

Mediante la evaluación se obtuvo que hay muchas pérdidas de cargas en las tuberías secundarias, siendo los elementos decisivos para este resultado, la longitud, el caudal, y el diámetro interno (Cuadro 12). Este último se obtuvo mediante la medición del diámetro de las tuberías con la herramienta pie de rey, el cual nos dio el diámetro interno, externo y espesor real, de las tuberías, las cuales son las mismas que están en el sistema de riego (Anexo E).

El caudal que fluye dentro de la tubería y la longitud de esta son dos parámetros que van ligados con las pérdidas de cargas siendo proporcionales, a mayor longitud y caudal mayor pérdidas de cargas. No obstante, el parámetro del diámetro interno es inversamente proporcional, a menor diámetro de tuberías mayor pérdidas de carga habrá en el sistema, dado que cuando se reduce el diámetro, se reduce el área superficial por el cual circula el caudal, afectando la velocidad de este y generando un mayor flujo turbulento dentro de las tuberías (Ganchozo Arévalo y Monserrate Chamba 2018). Las pérdidas de cargas son el 29% de las tuberías secundarias, superaron la condición de que no se debe exceder el 10% de la presión de operación del emisor (Solorzano Poma 2013), el cual en este caso es de 1.00 psi.

Cuadro 12

Pérdidas de carga en tuberías secundarias en los diferentes sectores de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Sector	Tubería secundaria	Longitud (m)	Diámetro nominal (mm)	Hf (psi)
1	3	58.5	60	1.05
2	7	38.9	60	0.50
3	12	25.8	60	0.14
4	16	96.4	60	9.56
4	17	78.5	60	9.43
4	18	110.6	116	1.10
5	19	126.6	60	22.06
6	20	131.3	116	1.56
7	22	147.8	60	27.05
8	24	98.6	116	0.40
9	30	81.6	116	0.99
10	27	203.4	60	39.32
11	28	127.5	116	0.65
12	29	120.2	116	0.69
13	31	109.5	116	1.32

Nota. Se colocó una tubería representativa por cada sector de riego, considerada como la crítica por tener las mayores pérdidas de carga.

El total de tuberías se encuentran en él (Anexo F). mm: milímetros, m: metro, psi: libra/pulgada².

Tuberías Principales.

En el cálculo de las pérdidas de carga de tuberías principales, se realizó el mismo, tomando en cuenta las dos bombas existentes de Zona 2, considerando que en el caso que una bomba se dañe, la otra regaría todo el área por lo que se obtuvieron dos cálculos para cada bomba; se encontró que la velocidad en la mayoría de las tuberías por cada sector excede lo recomendado, es decir que en un sistema de riego las velocidades que no superen los 2 m/s para que existan menos pérdidas y un correcto funcionamiento. En instalaciones modernas las velocidades adecuadas están comprendidas de 0.5 a 2 m/s (Franquet Bernis 2019). Estas recomendaciones son necesarias para evitar un golpe de ariete en el sistema y desgaste de la demanda energética. Se encontró que en los tramos que había velocidades altas, hubo pérdidas de cargas muy elevadas, como se puede ver en la tubería 116 en el sector 4, el cual tiene una pérdida de carga de 21.23, factor que tiene relación con la longitud de la tubería y el diámetro de esta (Cuadro 13), este valor encontrado es el más alto en el caso de las dos bombas.

Cuadro 13

Velocidades críticas y sus pérdidas de carga en tuberías principales del sistema de riego de Zona 2, Zamorano.

Bomba Combustible					
Sector de riego	Tramos de velocidades críticas	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Diámetro nominal (mm)	Hf (psi)
1	115	2.39	100.67	116	0.93
	117	2.39	105.53	116	0.93
	129	2.52	93.39	60	2.22
	131	2.52	21.02	60	2.22
4	115	4.07	100.67	116	2.50
	116	8.53	125.30	60	21.23
5	103	5.50	128.54	60	9.41
7	106	5.65	140.60	60	9.89
	109	2.06	95.58	165	0.46
	112	2.06	128.34	165	0.46
	114	2.06	171.10	165	0.46
10	111	5.82	122.34	60	10.45
Bomba Eléctrica					
7	101	2.06	19.10	165	0.46
	104	2.06	108.58	165	0.46
	106	5.65	140.60	60	9.89
10	111	5.82	122.34	60	10.45

Nota. psi: libra/pulgada², m/s: metro/ segundo, m: metro, mm: milímetro.

Carga Dinámica Total.

Realizando la suma de todas las pérdidas de carga en el sistema de riego, diferencias de altura, y presión de operación del emisor, se obtuvo la carga dinámica total (CDT) para cada sector de riego, realizando este cálculo por cada bomba y encontrando una considerable des uniformidad, como también dentro de los caudales instantáneos emitidos por cada sector siendo muchos de estos muy altos debido a la irregularidad del área dentro de cada sector de riego. Se puede evidenciar que, dentro de los sectores de riego, los cuales tienen mayor área hay mayores pérdidas, debido a la necesidad de transportar un mayor caudal por medio de las tuberías. En el (Cuadro 14) se observa las cargas dinámicas totales por cada sector de riego, siendo el punto más crítico en el sector 10 en las dos bombas, con una carga de 104.81 psi en la bomba de combustible y de 92.22 psi en la bomba eléctrica y el menos crítico el sector 13 en el caso de las dos bombas de con una carga de 33.14 psi en la bomba de combustible y 20.98 en la eléctrica, además se puede ver la relación directamente

proporcional donde se comprende que a mayor caudal, mayores pérdidas de cargas, debido que en el sector 7 de las dos bombas es uno de los sectores más críticos en pérdidas de cargas tienen el caudal instantáneo más alto emitido correspondiente a 139.64 m³/h y en el sector 2 de las dos bombas el menor caudal emitido de 21.50 m³/h pudiendo ver la relación que existe entre el área, caudal y carga dinámica total (Moreno Cárdenas 2017).

Cuadro 14

Carga dinámica total y caudal instantáneo por sectores de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Sectores de riego	Bomba Combustible			Caudal Instantáneo (m ³ /h)
	Área (ha)	CDT (mca)	CDT (psi)	
1	3.74	61.99	88.15	78.70
2	0.79	39.79	56.58	21.50
3	1.45	38.07	54.13	36.61
4	2.55	61.71	87.75	134.21
5	1.97	62.65	89.09	81.89
6	1.09	32.95	46.86	64.47
7	3.01	67.12	95.44	139.64
8	0.99	28.60	40.67	35.72
9	1.91	27.73	39.44	121.50
10	1.43	73.70	104.81	51.62
11	1.38	26.15	37.19	40.49
12	1.22	24.70	35.12	43.29
13	1.28	23.30	33.14	64.94
	Bomba Eléctrica			
1	3.74	52.03	73.98	78.70
2	0.79	31.70	45.08	21.50
3	1.45	28.66	40.76	36.61
4	2.55	49.13	69.86	134.21
5	1.97	51.96	73.89	81.89
6	1.09	22.51	32.01	64.47
7	3.01	57.47	81.72	139.64
8	0.99	18.53	26.34	35.72
9	1.91	18.50	26.31	121.50
10	1.43	64.85	92.22	51.62
11	1.38	17.25	24.52	40.49
12	1.22	15.81	22.48	43.29
13	1.28	14.75	20.98	64.94

Nota. ha: hectárea, mca: metros columna de agua, psi: libra/pulgada², m³/h: metro cúbico/hora.

En el Cuadro 15 se observa los datos obtenidos del sector más crítico en las dos bombas, que es el mismo, donde se puede evidenciar que la tubería con mayores pérdidas es la secundaria identificada con el número 27, no obstante, las tuberías principales también mantienen altas pérdidas,

como lo es el caso del tramo de la tubería 111 con 10.45 mca. Por el mismo lado, se observa la variable diferencia de altura negativa en el caso de la bomba eléctrica (Cuadro 16) siendo favorable para la CDT, ya que disminuye por una ganancia de carga, al transportarse aguas abajo, es decir, bajando el agua en contra de la pendiente. Para la pérdida de carga en accesorios se utilizó la ecuación 14 y para la pérdida en filtros se utilizó la constante 5 mca siendo el de las válvulas de bola y compuerta, las que se encuentran en la finca (Delgado Reátegui y Jara Córdova 2022).

Cuadro 15

Ejemplo de carga dinámica total del sector 10, Bomba Combustible de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Bomba Combustible	
Carga Dinámica total (CDT)	
Sector	10
Lotes	18-22
Cultivo	Maíz
Unidad de Producción	Granos y semillas
Válvulas	4
Número de secundarias	27
Área de riego (ha)	1.43
Presión de operación (mca)	10
Lateral(mca)	0.79
Principal (mca)	
111	10.45
112	0.07
114	0.07
Secundaria (mca)	
27	39.32
Filtros (mca)	5
Accesorios (mca)	3
Elevación (mca)	5
Velocidad de filtraje (m/s)	0.03
Caudal (m ³ /hr)	51.62
CDT (mca)	73.70
CDT (PSI)	104.81

Nota. mca: metros columna de agua.

Cuadro 16

Ejemplo de carga dinámica total del sector 10, Bomba Eléctrica de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Bomba Eléctrica	
Carga Dinámica total (CDT)	
Sector	10
Lotes	18-22
Cultivo	Maíz
Unidad de Producción	Granos y semillas
Válvulas	4

Bomba Eléctrica	
Carga Dinámica total (CDT)	
Número de secundarias	27
Área de riego (ha)	1.43
Presión de operación (mca)	10
Lateral(mca)	0.79
Principal (mca)	
101	0.07
104	0.07
107	0.07
109	0.07
111	10.45
Secundaria (mca)	
27	39.32
Filtros (mca)	5
Accesorios (mca)	3
Elevación (mca)	-4
Tasa de filtraje	6.98
Caudal (m ³ /hr)	51.62
CDT (mca)	64.85
CDT (PSI)	92.22

Nota. mca: metros columna de agua

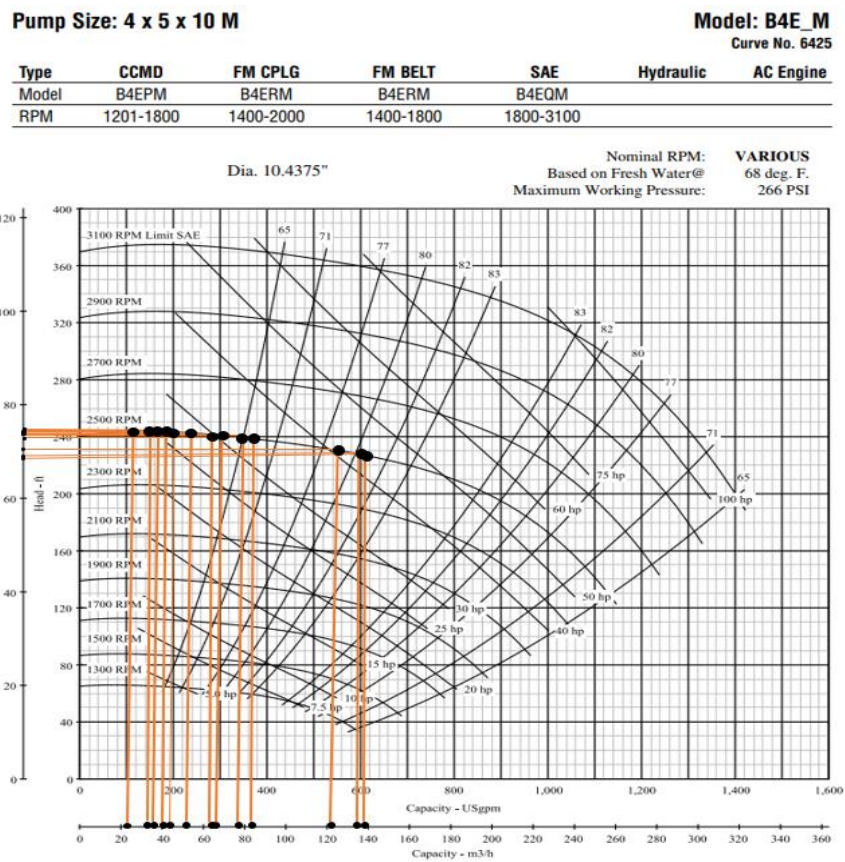
Evaluación de Estación de Bombeo

Para poder obtener los puntos de trabajo de las bombas y la eficiencia con las que operan al momento de regar cada sector de riego, se necesitó las curvas de cada bomba, obtenidas por medio del catálogo brindado por el fabricante.

Utilizando los resultados de caudal instantáneo y la CDT de cada sector de riego, se obtuvieron los puntos de trabajo. Para la bomba de combustible se encontró que el sector en donde se alcanza la mayor eficiencia es el 7 con 81%, además se puede observar que las pérdidas de carga obtenidas en este sector son menores a la presión que puede otorgar esta bomba, no obstante se puede encontrar varios puntos de trabajo en la bomba, habiendo un rango entre >65%-81% de eficiencia, pudiendo evidenciar que la bomba no está trabajando de manera adecuada, ya que en algunos sectores no llega a la eficiencia óptima, esto se le puede atribuir a la uniformidad de los caudales requeridos en cada sector. Por otra parte, al haber esta des uniformidad en los puntos de trabajo de la bomba, se puede observar que la bomba puede sufrir un daño mecánico al no estar en un intervalo de puntos de trabajo uniformes (Figura 9).

Figura 9

Curva de rendimiento Bomba Combustible y puntos de trabajo para todos los sectores de riego.

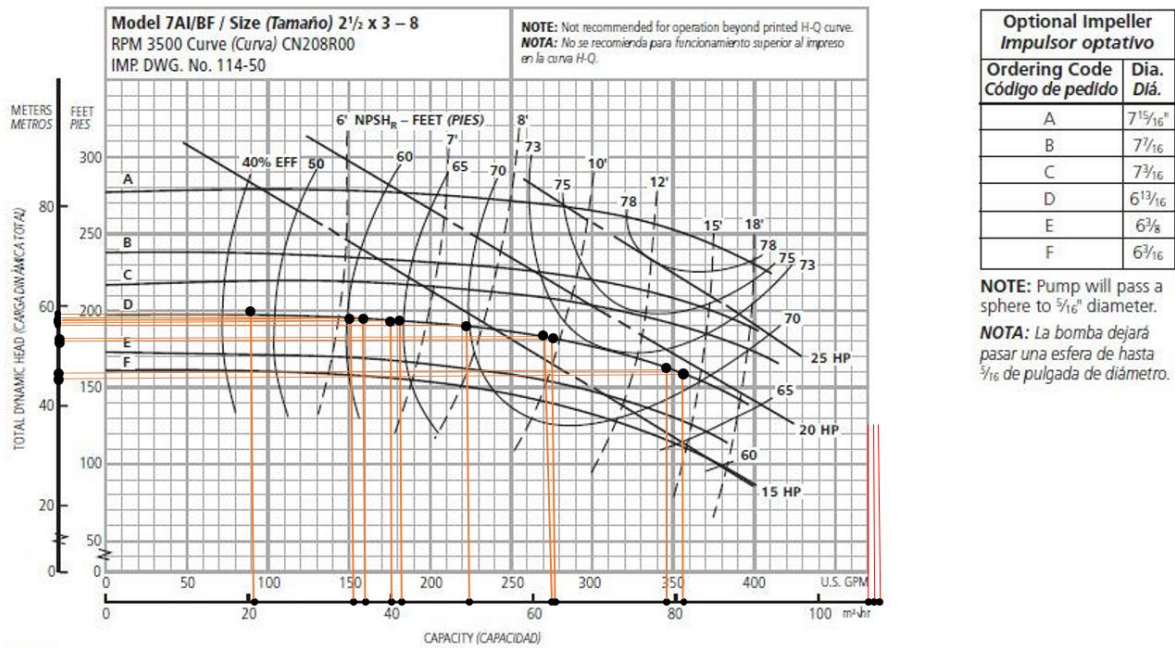


Para la bomba eléctrica se encontró que el sector en donde se alcanza mayor eficiencia es el 5 con un 78%, sin embargo, el sector presenta perdidas de carga mayores a la presión que puede otorgar la bomba, dado a que se requiere de 512.96 mca para poder regar de manera correcta, mientras que la bomba solo podría entregar de manera teórica en ese sector un máximo de 46 mca, además se puede observar la presencia de 3 sectores los cuales entregan caudales instantáneos muy altos superando la capacidad de la bomba, los cuales son 4,7 y 9, requiriendo un caudal de 134.21, 139.64, 121.50, respectivamente, pudiendo identificarse que estos sectores no están siendo regados adecuadamente ya que no se podría entregar la demanda de agua la cual requieren porque la bomba no tiene la capacidad de hacerlo. Por otra parte, se tiene que hay varios puntos de trabajo de la bomba, donde se encuentran que hay mucha des uniformidad en la eficiencia debido a la variabilidad de

caudales instantáneos emitidos en cada sector, lo que se le puede atribuir a la desuniformidad en el área de cada sector, manteniéndose en un rango de eficiencia de 45-78% (Figura 10).

Figura 10

Curva de rendimiento, Bomba Eléctrica y puntos de trabajo para todos los sectores de riego.



Propuesta de Mejora al Diseño Agronómico

Se aplicaron las fórmulas del diseño agronómico y se obtuvo una distribución de 11 sectores de 2.07 hectáreas aproximadamente cada uno, tomando en consideración que en el lote 0 se tiene el cultivo de limón, el cual es perenne y no puede realizar una rotación de cultivos, por lo que se adaptó este lote con los sectores de orgánica para poder llegar al área requerida por sector de riego (Figura 11). Con las correcciones establecidas se obtuvo una densidad y marco de emisores uniforme, los que resulta que la precipitación instantánea por cada sector sea uniforme y menor a la velocidad de infiltración del suelo, siendo un riego eficiente, para poder llegar a esta uniformidad se estableció un tipo de emisor para cada cultivo, el cual se estableció una diferente distancia entre emisor, y caudal de estos (Cuadro 17) para ello se utilizó diferentes tipos de modelos de cintas según varios fabricantes (Anexo G) siendo estos auto compensados, los cuales aplican el recurso hídrico de manera precisa y de forma uniforme siendo aptos para terrenos o plantaciones que tengan un alto distanciamiento o

largos tramos (Dasberg y Or 1999). El tiempo de riego disminuyo significativamente por sector en comparación con las horas de riego actuales, teniendo un total de 23.97 horas para completar una jornada de riego, sin embargo, se recomienda regar con las dos bombas simultáneamente diferentes sectores, lo cual disminuirá el tiempo total a la mitad y aumentará el tiempo de riego disponible a 12 horas, para poder cumplir con el riego en todos los sectores de Zona 2. Con estas adecuaciones se evidencia una uniformidad en el caudal y la precipitación instantánea del sistema, disminuyendo el riesgo a que una de las bombas pueda sufrir un daño mecánico y mejorando las eficiencias de cada una de estas (Cuadro 18).

Cuadro 17

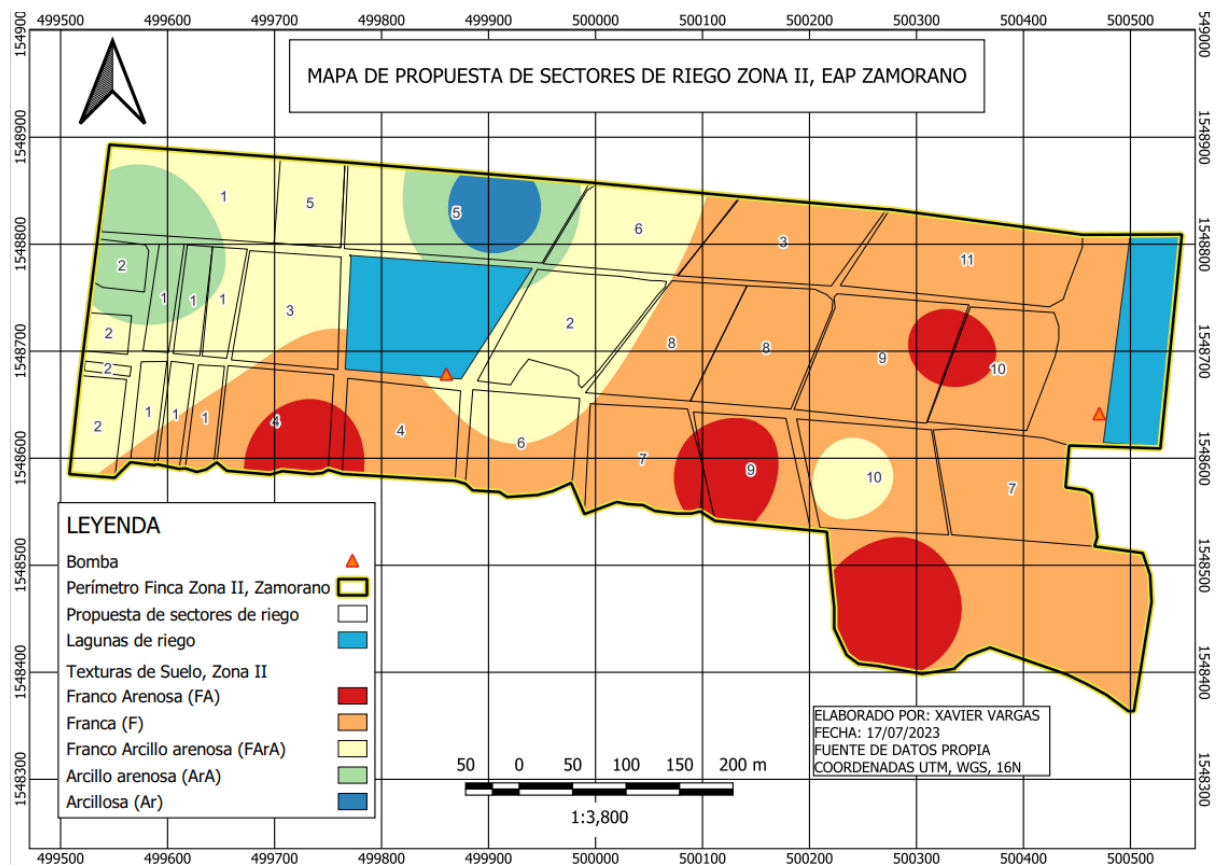
Cintas de riego recomendadas para Zona 2, Zamorano, Honduras.

Cultivo	Sector	Distancia máxima real (m)	Emisor	Fabricante	Distancia entre emisor (m)	Caudal (L/hr)	Distancia máxima recomendada (m)	Hf (psi)
Limón	1	77.61	Micro aspersor	AZUD/ Micro jet	6	60	60	1.85
Frijol	4-7	94.57- 108.64	Goteo	Rain Bird	0.50	1.20	136.50	0.36- 0.53
Maíz	10- 11	110.60- 77.92	Goteo	Irritec 2	0.30	1.20	97.80	1.41- 0.52
Sorgo	3-6-8	98.10- 97.28- 117.71	Goteo	AZUD	0.30	1.00	110.40	0.72- 0.70- 1.21
Plátano	9	115.57	Goteo	Irritec 1	0.20	1.20	75.40	3.38
Papaya	5	77.61	Goteo	Irritec 1	0.20	1.20	75.40	1.09
Arroz	2	95.49	Goteo	Irritec 1	0.20	1.20	75.40	1.97
Maíz	2	95.49	Goteo	Irritec 1	0.20	1.20	75.40	1.97
Orgánico								
Yuca	1	77.61	Goteo	Irritec 1	0.20	1.20	75.40	2.37

Nota. m: metros, L/hr: Litros/hora, psi: libra/pulgada², catálogos según fabricantes (Anexo G).

Figura 11

Propuesta de sectores de riego para Zona 2, Zamorano, Honduras.



Para la distribución de los sectores de riego se consideró el tipo de suelo y la asignación de nomenclatura para cada uno de estos se utilizó como criterio la distancia existente entre cada sector y la bomba más cercana, dado a que se planteó que se utilizarían las dos bombas existentes en la finca, una siendo eléctrica y con menor capacidad que la de combustible.

Cuadro 18

Propuesta de diseño agronómico para el sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Propuesta de sectores de riego	Lote	Unidad Productiva	Cultivo	Área (ha)	Densidad de emisores (Ne/ha)	Marco de emisores (m ²)	Tiempo de riego (h)	Caudal Instantáneo (m ³ /h)	Precipitación instantánea (mm/h)
1	0	Frutales	Limón	1.31	238	42	4.44	76.64	1.43
	1A-2A-1B-2B-1C-2C	Agricultura Orgánica	Yuca	1.45	33333	0.3			4.00
	Área total del sector			2.76					
2	M-E-Invernadero-F	Agricultura Orgánica	Maíz Orgánico	0.79	33333	0.3	2.49	83.94	4.00
	10	Granos y semillas	Arroz	1.09	125000	0.08			15.00
	Área total del sector			1.88					
3	3-(12-15)	Granos y semillas	Sorgo	2.04	41667	0.24	1.87	85.13	4.17
4	4-7	Granos y semillas	Frijol	1.90	33333	0.3	1.86	79.11	4.00
5	0A-5	Frutales	Papaya	2.11	33333	0.3	1.95	88.00	4.00
6	9-11	Granos y semillas	Sorgo	1.97	41667	0.24	1.87	81.94	4.17
Bomba Eléctrica				12.66	341905	5.47	14.48	494.76	5.10
7	14-(24-26)	Granos y semillas-UIDC	Frijol	2.27	33333	0.3	1.86	94.37	4.00
8	13-16	Granos y semillas	Sorgo	1.95	41667	0.24	1.87	80.28	4.17
9	17-19	Frutales	Plátano	2.27	33333	0.3	1.86	94.73	4.00
10	20-23	UIDC-Grano y semillas	Maíz	2.24	33333	0.3	1.95	93.22	4.00
11	18-22	Granos y semillas	Maíz	1.43	33333	0.3	1.95	59.54	4.00
Bomba Combustible				10.16	175000	0.29	9.49	422.14	4.03
Total				22.82	516905	-	23.97	-	-
Promedio				2.07	39762	-	2.18	83.35	4.69

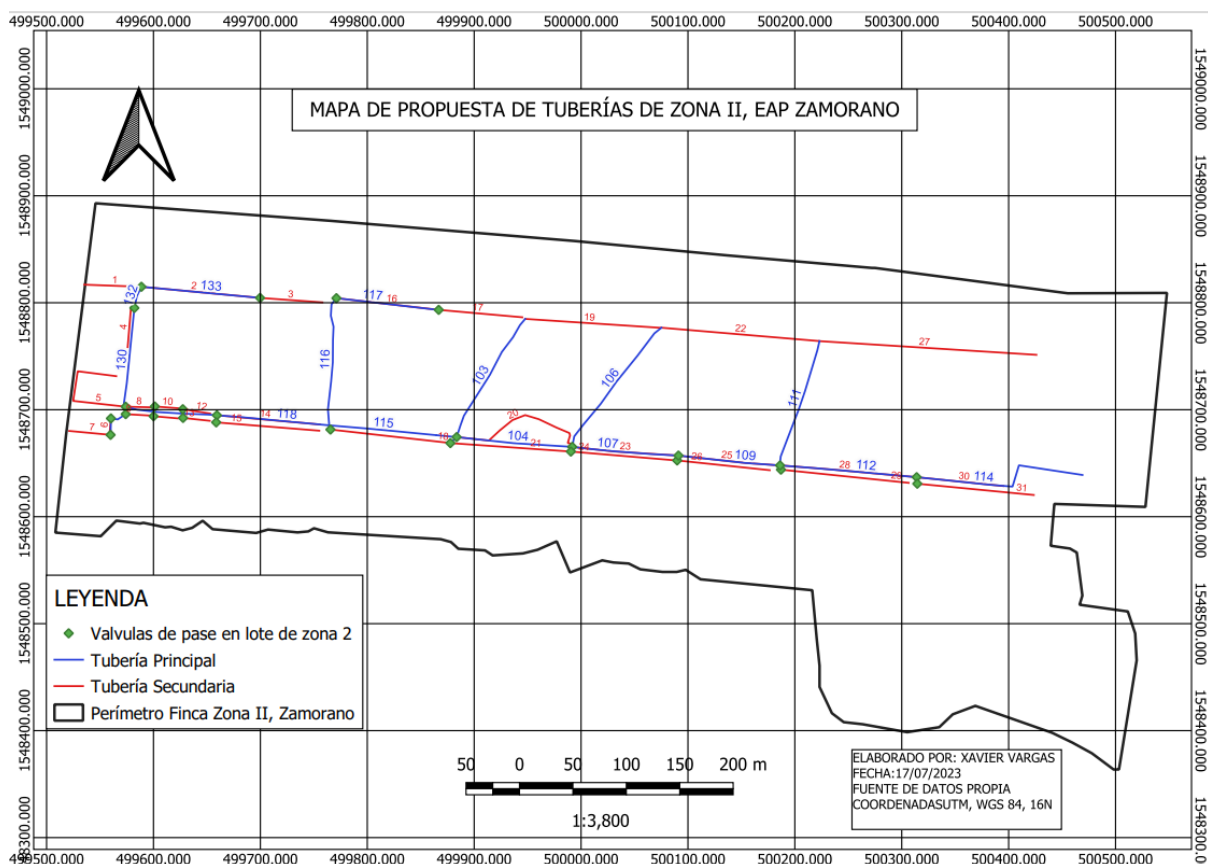
Nota. ha: hectárea, Ne: número de emisores, m²: metro cuadrado, h: hora, m³: metro cúbico, mm: milímetros, UIDC: Unidad de Investigación y Desarrollo de cultivos.

Propuesta de Mejora al Diseño Hidráulico

Conforme con la evaluación, en donde las pérdidas de cargas son muy elevadas, generando una carga dinámica total, aún más elevada, se vio la necesidad de proponer cambios (Figura 12). Primeramente, añadiendo una tubería principal identificada con el número 117, para poder tener una mejor distribución del caudal cuando se riega el sector 5. Debido a que hay dos bombas, se decidió utilizar la bomba eléctrica para regar los sectores más cercanos a esta y se consideró que esta iba a regar más sectores para poder optimizar los recursos y utilizar menos combustible (Sectores 1-6), mientras que la bomba más grande (combustible) se utilizó para regar los sectores más lejanos y se consideró los sectores con mayor extensión de área (Sectores 7-11).

Figura 12

Propuesta de distribución de tuberías primarias y secundarias para el sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.



Con respecto a la distribución de las tuberías se realizó el cálculo del diámetro requerido, primero en tuberías secundarias, con el objetivo de no superar en pérdidas el 10% de la presión de operación del emisor, de esta manera se obtuvieron pérdidas mucho menores en comparación a las pérdidas que existen actualmente, donde se encontró que los diámetros usados en tuberías secundarias se encuentran entre 60-165 mm (Cuadro 19). Se puede observar que los cambios en las tuberías con su identificativo 2 y 3 cambiaron de diámetro de 60 mm a 89 mm, en el caso de la 16, 17, 19 y 22 cambiaron de diámetro de 60 mm a 116 mm, mientras que la 20 y 28 se cambiaron de diámetro de 116 mm a 165 mm, y por último se hizo el cambio de la 27 de un diámetro de 60 mm a 165 mm, lo que nos da pérdidas de carga menores y concordando con la recomendación mencionada anteriormente.

Cuadro 19

Propuesta de tuberías secundarias para el sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Sector	Tubería secundaria	Longitud (m)	Diámetro nominal (mm)	Hf (psi)
1	1-2-8-9- 10-11-12- 13	53.41-110.97-24.65-23.48-23.15- 22.78-25.84-25.16	60-89-60-60-60- 60-60-60	0.22-0.25-0.23-0.19-0.23- 0.16-0.33-0.25
2	4-5-6-7-20	36.80-113.89-12.89-38.87-131.37	60-60-60-60-165	0.25-0.37-0.004-0.90
3	14-22	96.62-147.80	116-116	0.48-0.90
4	15-18	96.79-110.61	116-116	0.50-0.51
5	3-16-17	58.50-96.39-78.50	89-116-166	0.28-0.32-0.31
6	19-21	126.60-112.23	116-116	0.74-0.51
7	24-31	98.57-109.54	116-116	0.54-0.92
8	23-25	99.22-89.96	116-116	0.54-0.41
9	26-28	87.10-127.45	116-165	0.37-0.21
10	29-30	120.22-81.56	116-116	0.92-0.45
11	27	203.44	165	0.36

Nota. mm: milímetro, m: metro, psi: libra/pulgada².

En el caso de las tuberías principales se logró alcanzar velocidades uniformes y técnicamente aceptables usando cuatro diámetros (165,116,89,60) con una velocidad de diseño 2 m/s. Se obtuvo la velocidad más alta en el sector 2 siendo esta 1.98 m/s, mientras la más baja en el sector 1 de 0.25 m/s (Cuadro 20) cumpliendo con la recomendación mencionada anteriormente según (Franquet 2019). En el resto de las tuberías se obtuvo una velocidad adecuada, estando en el rango de 0.30 m/s - 1.81 m/s

(Anexo H). Se puede observar que las tuberías con el identificativo de 103, 106 y 111, cambiaron de diámetro de 60 mm a 116 mm, en la 116 se realizó el cambio de diámetro de 60 mm a 165 mm y en la 115, 118 y 120, cambiaron de diámetro de 116 mm a 165 mm y por último en la 130, 132 y 133 se realizó el cambio de diámetro de 60 mm a 89 mm. En la red de tuberías principales, la nueva tubería añadida representada por el número 117 (Figura 11) se le dio un diámetro de 89 mm, por lo que la nueva distribución cumple con lo mencionado anteriormente, siendo de mejora para el sistema de riego.

Cuadro 20

Velocidades y sus pérdidas de carga en la propuesta de tuberías principales representativas del sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Bomba Combustible					
Sector de riego	Tramos de velocidades críticas	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Diámetro nominal (mm)	Hf (psi)
1	124	0.25	4.32	116	0.01
2	128	1.98	15.37	60	1.41
3	107	1.25	99.78	165	1.19
4	114	1.16	171.10	165	0.16
5	101	1.3	19.10	165	0.20
6	104	1.21	108.58	165	0.17
7	105	0.61	4.56	165	0.05
8	109	1.18	95.58	165	0.17
9	108	0.55	4.69	165	0.04
10	112	0.75	128.34	165	0.07
11	111	1.81	122.34	116	0.56
Bomba Eléctrica					
1	124	0.25	4.32	116	0.01
2	128	1.98	15.37	60	1.41
3	106	1.36	140.60	116	0.33
4	119	1.24	6.68	116	0.28
5	130	1.01	93.39	89	0.25
6	103	1.33	128.54	116	0.31
7	107	0.78	99.78	165	0.08
8	104	1.18	108.58	165	0.17
9	101	1.39	19.10	165	0.23
10	109	1.37	95.58	165	0.22
11	111	1.81	122.34	116	0.56

Nota. Se muestran tramos representativos del sistema, en el Anexo H se muestran las velocidades en todos los tramos de tubería,

m/s: metro/segundo, m: metro, mm: milímetro, psi: libra/pulgada².

Con estas adecuaciones se obtuvo una nueva carga dinámica total en cada sector, demostrando que, con los cambios realizados en la uniformidad de área y caudal instantáneo, se obtuvo una mayor uniformidad en la CDT, requiriendo menor presión para poder operar en cada sector de riego (Cuadro 21). Se obtuvo como valor más alto de 67.53 psi en la bomba de combustible y 57.36 psi en la bomba eléctrica, siendo significativamente menor en comparación al punto más crítico actual en la finca, que alcanza 104.81 psi en la bomba de combustible y 92.22 psi en la bomba eléctrica.

La disminución de sectores de riego y la uniformidad del tamaño de estos tuvo relación directa en la CDT, dado a que con una menor proporción en el área de cada sector se requirió un menor caudal y por ende menor carga dinámica total, por el mismo lado el aumento de la tubería secundaria y el cambio de diámetros afectó positivamente al obtener los valores máximos permisibles y no exceder de los establecidos por el 10% de la presión de operación del emisor.

Cuadro 21

Carga Dinámica Total y caudal instantáneo de la propuesta del sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Bomba Combustible				
Sectores de riego	Área (ha)	CDT (mca)	CDT (psi)	Caudal Instantáneo (m3/h)
1	2.76	47.49	67.53	76.64
2	1.14	43.33	61.62	83.94
3	2.04	37.88	53.86	85.13
4	1.90	35.65	50.69	79.11
5	2.11	32.12	45.68	88.00
6	1.97	30.66	43.59	81.94
7	2.26	28.37	40.34	94.37
8	1.93	28.29	40.23	80.28
9	2.27	25.89	36.81	94.73
10	2.24	25.28	35.95	93.22
11	1.43	24.48	34.81	59.54
Bomba Eléctrica				
Sectores de riego	Área (ha)	CDT (mca)	CDT (psi)	Caudal Instantáneo (m3/h)
1	2.76	40.34	57.36	76.64
2	1.14	33.18	47.18	83.94
3	2.04	28.16	40.04	85.13
4	1.90	24.68	35.09	79.11
5	2.11	20.98	29.83	88.00

Bomba Eléctrica				
Sectores de riego	Área (ha)	CDT (mca)	CDT (psi)	Caudal Instantáneo (m ³ /h)
6	1.97	19.97	28.39	81.94
7	2.26	19.68	27.99	94.37
8	1.93	18.12	25.76	80.28
9	2.27	16.17	22.99	94.73
10	2.24	16.92	24.06	93.22
11	1.43	15.67	22.28	59.54

Nota. ha: hectárea, mca: metro columna de agua, psi: libra/pulgada², m³/h: metro cúbico/ hora.

Evaluación de la Estación de Bombeo con la Propuesta

Con las adecuaciones realizadas en el sistema de riego, se encontró que la bomba de combustible y la bomba eléctrica son aptas para regar cada sector de riego, alcanzando la bomba eléctrica su máxima eficiencia 78%, mientras que la bomba de combustible alcanza el 75% punto cercano a su máxima eficiencia de trabajo de manera teórica (Figura 13) y (Figura 14). Estos resultados de mejora significativa en la uniformidad de las eficiencias de las bombas nos permitirán reducir gastos de combustible y aplicar el riego de forma adecuada y precisa, dentro de Zona 2. Dado al exceso de presión es necesario colocar una válvula reguladora de presión al inicio de cada sector de riego.

Figura 13

Puntos de trabajo de la bomba de combustible, alcanzado para regar todos los sectores de riego, bajo la nueva propuesta de diseño en Zona 2, Zamorano, Honduras.

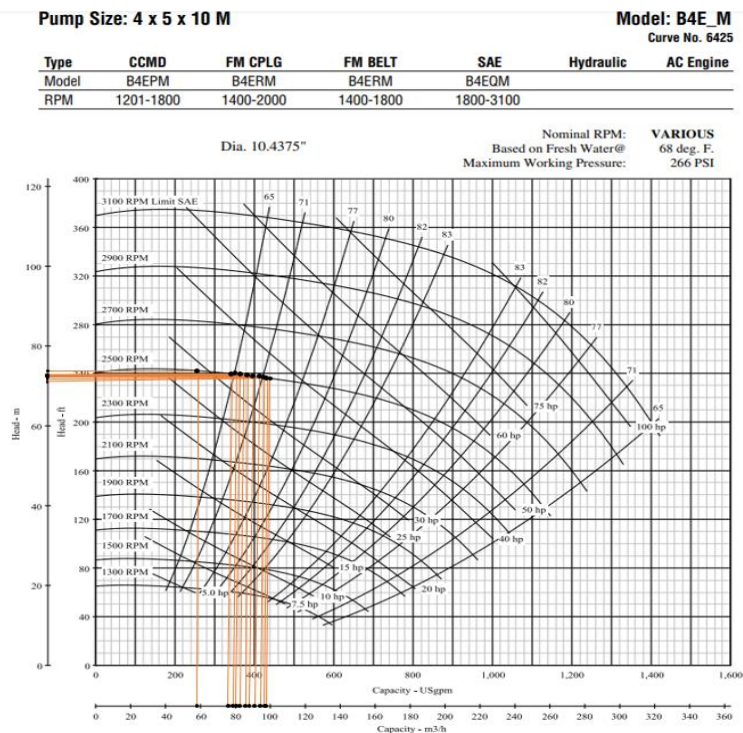
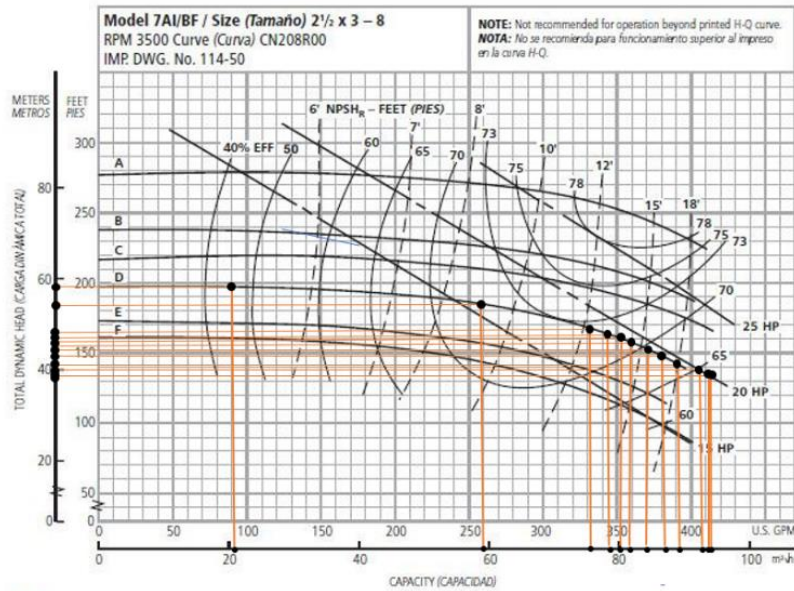


Figura 14

Puntos de trabajo de la bomba eléctrica alcanzado para regar todos los sectores de riego, bajo la nueva propuesta de diseño en Zona 2, Zamorano, Honduras.



PAGE 6

Optional Impeller Impulsor optativo	
Ordering Code Código de pedido	Dia. Diá.
A	7 ¹⁵ / ₁₆ "
B	7 ⁷ / ₁₆ "
C	7 ³ / ₁₆ "
D	6 ¹³ / ₁₆ "
E	6 ⁹ / ₁₆ "
F	6 ⁷ / ₁₆ "

NOTE: Pump will pass a sphere to 5/16" diameter.
NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta 5/16 de pulgada de diámetro.

Conclusiones

Se realizaron mapas de suelo, topografía, sectores de riego y de tuberías de Zona 2, los cuales se obtuvo la información para realizar la evaluación agronómica e hidráulica del sistema de riego.

Se identificó mediante la evaluación de los diseños agronómicos e hidráulicos actuales que hay una gran variación entre las precipitaciones y área de riego por sector, lo que ocasiona que se tenga pérdidas de carga superiores a lo recomendado para tuberías secundarias y velocidades excedentes en tuberías principales, lo cual ocasiona diferentes puntos de trabajo de la bomba.

Se elaboró una propuesta para la mejora en el diseño agronómico, logrando obtener una mayor uniformidad en la precipitación instantánea, mediante la variación de diferentes emisores, logrando disminuir las horas de riego y homogenizando los sectores y el área de los mismos, de igual forma se realizó un diseño hidráulico en base a los criterios de recomendación para pérdidas de carga en tuberías secundarias y principales, mediante el cambio de diámetros para obtener una carga dinámica total menor y un mejor funcionamiento del cabezal de bombeo.

Recomendaciones

Realizar un diseño de riego en base a un solo cultivo o una misma familia de cultivos para no tener afectaciones en el diseño agronómico que puedan repercutir directamente con la operación del sistema de riego, siendo ideal que la finca Zona 2 sea asignada a una sola unidad productiva.

Se recomienda no rotar cultivos que tengan diferente demanda hídrica y diferentes emisores, dado que puede afectar la eficiencia del sistema de riego.

Se recomienda tener un personal asignado exclusivamente para la operación del sistema de riego de toda la finca para evitar problemas operativos y poder cumplir con los horarios de riego establecidos por la propuesta de mejora.

Realizar un análisis costo-beneficio del proyecto, para evaluar la viabilidad de este en relación con los rendimientos que se podrían alcanzar o en base a los ahorros de combustible, energéticos, y de personal laboral que se podrían obtener.

Referencias

- Alegret, Martínez. 2019. Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*; [consultado el 10 de ago. de 2023]. 40(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000300041.
- Aquiles Salinas I. 2010. Riego suplementario en cultivos extensivos, panorama de Argentina y experiencia en la región central del país; [consultado el 10 de ago. de 2023]. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11831/1/Salinas-I.-2010.pdf>.
- Bedoya Cardoso M, Montiel VÁ. 2016. Estrategias para estimar el coeficiente de uniformidad en laterales de riego. *Ingeniería y Región*; [consultado el 2 de jul. de 2023]. 16(2):65–71. doi:10.25054/22161325.1300.
- Dasberg S, Or D. 1999. *Drip Irrigation: Practical Applications of Drip Irrigation*. 5ª ed. Alemania: Proceedings ASAE. ISBN: 978-3-662-03963-2.
- Delgado Reátegui DS, Jara Córdova KE. 2022. Planificación y diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de paprika (*capsicum annum*) en fundo Agrolatam de 137.54 ha – del sector de riego Olmos – Olmos - Lambayeque, empleando software de diseño. [Tesis]. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. spa. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10650>.
- Demin PE. 2014. Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego.: Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. 1ª ed. Catamarca, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://agriculturers.com/wp-content/uploads/2017/03/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf.
- Duarte Hernandez PR, Montañó Avalos CJ. 2020. Manual de procedimientos para elaboración de mapas de variabilidad espacial de suelos y su aplicación en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. [Proyecto Especial de Graduación]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 33 p; [consultado el 7 de feb. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/02595413-e862-4a55-bee6-4d305de89a6b/content>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1999. *Poverty reduction and irrigated agriculture*. 1ª ed. [sin lugar]: [sin editorial] ; [consultado el 24 de jul. de 2023]. <https://www.fao.org/3/X1000E/X1000E00.htm>.
- Franquet Bernis JM. 2019. Dimensionamiento y distribución de las conducciones hidráulicas.: Una contribución de la ingeniería matemática. 1ª ed. España: [sin editorial]. ISBN: 978-84-120526-0-2. spa. <http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:UNEDCentroAsociadoTortosa-Libros-8020>.
- Fuentes Yague JL. 2003. *Técnicas de riego*. 4ª ed. Madrid, España: Mundi-Prensa. ISBN: 9788449105616. <https://books.google.es/books?id=P-FBylgVfNoC>.
- Ganchozo Arévalo PJ, Monserrate Chamba HL. 2018. Diseño y construcción de una unidad didáctica de pérdidas de carga en el laboratorio de operaciones unitarias. [Tesis]. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil. 122 p; [consultado el 10 de jul. de 2023]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/28032/1/UNIDAD%20DIDACTICA%20DE%20PERDIDAS%20DE%20CARGA%20TESIS%20%281%29.pdf>.
- Heras S. 2011. *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. 1ª ed. España: [sin editorial]. 415 p. ISBN: 978-84-7653-893-7; [consultado el 7 de feb. de 2023]. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36653/9788476538937.pdf>.

- Hernandez E. 2020. Actualización de la evaluación de la aptitud de los suelos de uso agrícola de Zamorano y su mapeo con sistemas de información geográfica. [Proyecto Especial de Graduación]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 1 de ago. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/items/def63e94-1b8e-48d9-8477-8bff562795e7>.
- Hooton S. 2020. Como leer la curva de rendimiento de una bomba. North Ridge Pumps; [consultado el 7 de jun. de 2023]. https://www.northridgepumps.com/article-261_como-leer-la-curva-de-rendimiento-de-una-bomba.
- Luna Flores W, Estrada Medina H, Jiménez Osornio, J. J. M., Pinzón López LL. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*. 30(4). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000400343.
- Morales A. CG. 2020. Frambueso: consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo. Chile: Centro Regional de Investigación Raihuén. 432 vol. ISBN: 0717-4829. Español. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/67460>.
- Moreno Cárdenas EK. 2017. Diseño de sistema de riego por goteo subsuperficial en el cultivo de tomatillo "*Physalis ixocarpa*" [Trabajo de observación y estudio]. Mexico: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 61 p; [consultado el 17 de jul. de 2023]. <http://repositorio.uaaan.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/42127/K%2064679%20%20ESTEFANY%20KARINA%20MORENO%20CARDENAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Orihuela Contreras JA. 2015. Tipo de pendientes y formas de relieve. [Practica]. Perú: Universidad Nacional del Callao. <https://es.slideshare.net/dZefO1/tipos-de-pendientes-y-formas-de-relieve>.
- Orjuela Matta HM, Rubiano Sanabria Y, Camacho Tamayo J. 2010. Comportamiento de la infiltración en un oxisol. *U D C A Actualidad & Divulgación Científica*. 13(2):31–39. https://www.researchgate.net/publication/304211164_COMPORTAMIENTO_DE_LA_INFILTRACION_EN_UN_OXISOL_BEHAVIOR_OF_THE_INFILTRATION_ON_AN_OXISOL.
- Peralta JM, Simpfendorfer C. 2001. Riego por aspersion. Chile: INIA. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/40180>.
- Reyes A. 2023. Propuesta para el manejo del riego en fincas cacaoteras y bananeras mediante el análisis de las tasas de infiltración de suelo. [Tesis]. Guayaquil, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador. <https://cia.uagraria.edu.ec/archivos/reyes%20pilay%20francisco%20andres.pdf>.
- Roldán Cañas J, Díaz Jiménez M, Pérez Arellano R, Moreno Pérez MF. 2009. Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*; [consultado el 21 de jul. de 2023]. 42(1):107–124. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837646007.pdf>.
- Solorzano Poma LW. 2013. Propuesta de diseño y evaluación económica de instalación de un campo experimental de riego por goteo para el cultivo de melocotonero en el fundo Cañasbamba-UNASAM [Tesis]. Perú: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/unasam/889>.
- Tarjuelo JM. 2005. El riego por aspersion y su tecnología. España: Mundi-Prensa. 403 p. (Ciencia y técnica; vol. 3). ISBN: 9788484762256. es.
- Thien SJ. 1979. A flow diagram for teaching texture-by-feel analysis. 1ª ed. United State of America: [sin editorial].

[USDA] Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, editor. 1990. Soil Infiltration Rates. Sacramento County, United States of America: [sin editorial] ; [consultado el 6 de jul. de 2023]. https://library.qcode.us/lib/sacramento_county_ca/pub/county_code/item/title_14-chapter_14_10-14_10_110.

Villafañe R. 1998. Diseño agronómico del riego. Venezuela: Fundación Polar. ISBN: 980-6397-72. <https://bibliofep.fundacionempresaspolr.org/media/1378351/disen-o-agrono-mico-del-riego-para-bibliofep.pdf>.

Anexos

Anexo A

Elaboración de calicatas para el muestreo de suelos de Zona 2, Zamorano, Honduras.



Anexo B

Herramienta utilizada para realizar la evaluación del sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Instrumento de Evaluación



Información general

Nombre persona a cargo	
Cargo	
Unidad	
Ubicación	
Superficie total bajo riego	
Disponibilidad de diseño (si - no)	
Estudio de suelos (si - no)	

Características de riego

Tipo de Bomba		Área de Riego Total (m ²)	
Tipo de Energía (Eléctrica o Combustible)		Rodete (rpm)	
Diámetro de descarga (pulg/in)		Presión Descarga (bar)	
Diámetro Salida al sistema		Altura (m/mm)	
Modelo		Marca	
Motor (hp)		Velocidad (rpm)	
¿Sonda guarda nivel? (si - no)		¿Está en operación? (si - no)	
Observaciones			

Elementos de control

Caudalímetro (si - no)		Marca	
Caudal Real (m ³ /h)		Diámetro:	
Ubicación			
Distancia A Arriba (m)		Distancia A abajo (m)	
Mantenimiento			
Observaciones: No cuenta con caudalímetro, ni manómetro, ni flujos.			

Labores de mantenimiento

Labor	1 vez cada 12 meses
Evaluación de caudales (aforo de emisores)	
Lavado de tubería principal	
Lavado de tubería secundaria	
Descole de laterales de riego	
Mantenimiento al solenoide de electroválvulas	
Regulación de presión en las válvulas	
Otra ¿Cuál?	
Otra ¿Cuál?	

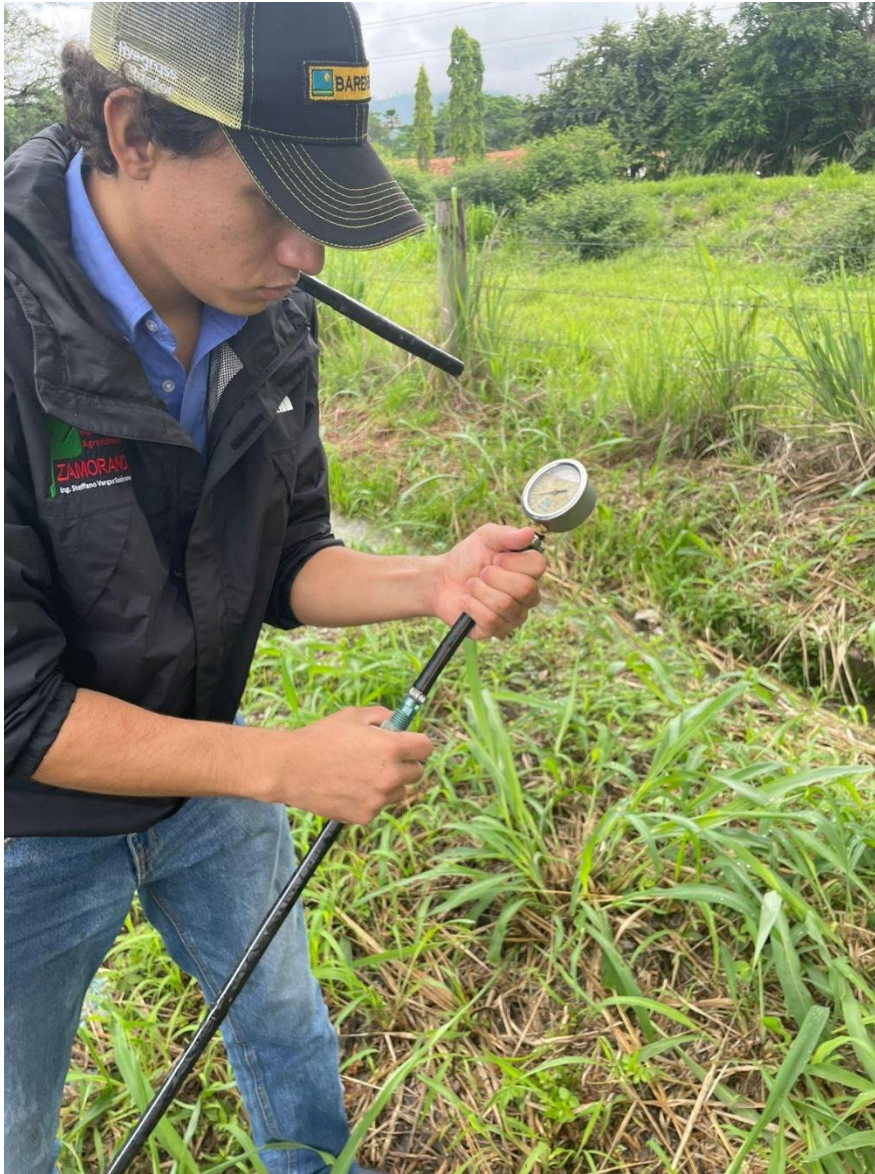
Anexo C

Medición de distancia entre emisores y laterales de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.



Anexo D

Elaboración de uniformidad de riego y obtención de caudal unitario en Zona 2, Zamorano, Honduras.



Anexo E

Medición del diámetro de las tuberías principales y secundarias, de Zona 2, Zamorano, Honduras.



Anexo F

Perdidas de cargas en tuberías secundarias de Zona 2, Zamorano, Honduras.

Sector	Tubería secundaria	Longitud (m)	Diametro ex. Catalogo	HF FINAL
1	1	53.41	60	0.049
1	2	110.97	60	0.383
1	3	58.50	60	1.057
2	4	36.80	60	0.108
2	5	113.89	60	0.161
2	6	12.89	60	0.002
2	7	38.87	60	0.502
3	8	24.65	60	0.096
3	9	23.48	60	0.080
3	10	23.15	60	0.099
3	11	22.78	60	0.068
3	12	25.84	60	0.141
3	13	25.16	60	0.105
1	14	96.62	116	0.253
1	15	96.79	116	0.251
4	16	96.39	60	9.557
4	17	78.50	60	9.426
4	18	110.61	116	1.101
5	19	126.60	60	22.056
6	20	131.37	116	1.559
5	21	112.23	116	0.391
7	22	147.80	60	27.054
7	23	99.22	116	0.655
8	24	98.57	116	0.396
7	25	89.96	116	0.502
9	26	87.10	116	0.815
10	27	203.44	60	39.318
11	28	127.45	116	0.647
12	29	120.22	116	0.687
9	30	81.56	116	0.988
13	31	109.54	116	1.324

Anexo G

Fichas técnicas de emisores recomendados por cultivo en la propuesta agronómica e hidráulica de

Zona 2, Zamorano, Honduras.

Nota. Emisor recomendado para frijol

Manguera de Riego por Goteo con Compensación de Presión de la Serie AS PC™ para la Agricultura



Los ingenieros de Rain Bird® aplicaron más de 80 años de experiencia práctica en irrigación para desarrollar una línea de riego por goteo agrícola vanguardista que iguala o supera el desempeño de cualquier línea de riego por goteo agrícola del mercado. Con un emisor plano-compacto de perfil bajo, el AS PC línea Agrícola de goteo ofrece lo último en la distribución uniforme de agua.

Características

- Con un emisor con mayor resistencia al taponamiento y tolerancia a las arenas garantiza el flujo de agua a los cultivos, no importa si se extrae de un pozo, estanque, depósito o del canal.
- Con compensación de presión para maximizar la uniformidad y entregar agua y nutrientes con precisión a cada planta
- Material de resina resistente a los productos químicos agrícolas estándar, a la radiación UV y al daño que puede ser causado por maquinaria agrícola
- Opción de Clip de bajo perfil pre-instalado para la vid para reducir drásticamente el tiempo de instalación y los costos de mano de obra
- La Política de Satisfacción del Cliente de Rain Bird proporciona 5 años de protección sobre la fabricación del producto y 7 años de protección contra el agrietamiento por estrés ambiental como los rayos UV.

Aplicaciones

- Para las aplicaciones tradicionales de riego por goteo superficial
- Para usos Agrícolas en campo abierto, en invernaderos y en viveros
- El más adecuado para los cultivos perennes, huertos y aplicaciones en viveros incluidas las uvas, lapullos, frutas de hueso, almendras, nueces de castaña, pistachos, arándanos, nueces pecaneras, y aguacate.
- Ideal para el riego de alta frecuencia en terreno plano, inclinado u ondulado
- Para aguas de mala calidad o con condiciones desfavorables

Especificaciones

- Rango de Operación:**
- Presión de Compensación: 0.48 a 4.14 bares (7 a 60 psi)
- Temperatura: Agua: hasta 43.3°C (110°F) Ambiente: hasta 65.6°C (150°F)
- Filtración:**
- Requerimiento: 125 micrones (120 mesh)
- Caudales Nominales:**
- 1.2 l/h, 1.6 l/h, 2.0 l/h, 2.3 l/h, 4.0 l/h (0.31 gph, 0.42 gph, 0.53 gph, 0.61 gph, 1.06 gph)
- Espacio Estándar entre Goteros:**
- 20cm, 40cm, 45cm, 50cm, 55cm, 60cm, 70cm, 75cm, 100cm
- 18", 24", 30", 36", 42", 48", 60"
- Espaciamientos especiales disponibles a partir de 20 cm
- Dimensiones de las mangueras:**
- 16mm, 35mil (OD) 15.5mm, ID 13.7mm, espesor 0.9mm
- 18mm, 45mil (OD) 16mm, ID 13.7mm, espesor 1.14mm
- 18mm, 45mil (OD) 18mm, ID 15.2mm, espesor 1.14mm
- 20mm, 48mil (OD) 19.96mm, ID 17.52mm, espesor 1.22mm

- Datos del empaque y del rollo:**
- Longitud del rollo estándar: 305 mt. (1000')
- Cantidad de rollos por palet estándar: Para 16 mm con 28 o 16 rollos (preguntar). Para 18mm y 20mm con clips: 12 rollos



Clips para la Vid

- Los clips instalados en fábrica durante la extrusión reducen la mano de obra y el tiempo de instalación en el campo
- Mejor control de la colocación de agua y fácilmente ajusta las gotas sobre la planta
- Construido con polímeros de plástico "grado de ingeniería" que ofrecen una fuerza sin precedentes en el alambre
- Compacto de bajo perfil para la cosecha mecánica

How To Specify

AS 1645 05 M050 24

Espaciamiento
Clip (Opcional)
24 - 24 pulgadas

Espacio entre
Goteros
M050 - 50 cm

Caudal
03 - 0.31 gph (1.2 l/h)
04 - 0.42 gph (1.6 l/h)
05 - 0.53 gph (2.0 l/h)
06 - 0.61 gph (2.3 l/h)
10 - 1.06 gph (4.0 l/h)

Diámetro de Manguera
1645 - 16mm 35mil calibre
1645 - 16mm 45mil calibre
18 - 18mm
20 - 20mm

Modelo
AS - PC™ Ag Dripline

Nota. Emisor recomendado para arroz, papaya, yuca, y maíz



LA CINTA DE GOTEO DE LABERINTO CONTINUO Y DOBLE FILTRO CONTINUO EN ENTRADA EXXTREME TAPE



Campo de aplicación

- Cultivos en campo abierto
- Cultivos protegidos en sustrato

Características del gotero

Caudal nominal lph	Filtrado aconsejado Mesh	Ecuación de Flujo K	K
0.60	120	0.23	0.50
0.90	120	0.34	0.50
1.20	120	0.44	0.50

Características del filtro incorporado

Espaciamiento		Filtro en entrada		Filtro Doble Continuo por metro de tubo "area mesh" "micrómetros"	
mm	inch	mm	inch	mm	inch
7.5	3	2.2	20	254	2,120
10	4	3.3	30	254	2,120
15	6	5.5	90	254	2,120
20	8	14.9	136	254	2,120
30	12	16.5	150	254	2,120

Datos técnicos tubería de goteo

Diámetro interior nominal	Diámetro exterior	Diámetro exterior	Espesor		Presión de trabajo							
			mm	mil	mm	cons.	max.	cons.	max.	psi	max.	
16	5/8	16.1	16.4	6	0.150	0.6 bar	0.3 bar	0.7 bar	0.7 bar	8.7 psi	4.3 psi	10.1 psi
			16.5	8	0.200	0.7 bar	0.3 bar	1.0 bar	1.0 bar	10.1 psi	4.3 psi	14.5 psi
			16.6	10	0.250	0.7 bar	0.3 bar	1.0 bar	1.0 bar	10.1 psi	4.3 psi	14.5 psi
			16.7	12	0.300	0.7 bar	0.3 bar	1.0 bar	1.0 bar	10.1 psi	4.3 psi	14.5 psi
22	7/8	22.3	22.7	8	0.200	0.6 bar	0.3 bar	0.7 bar	0.7 bar	8.7 psi	4.3 psi	10.1 psi
			22.8	10	0.250	0.7 bar	0.3 bar	1.0 bar	1.0 bar	10.1 psi	4.3 psi	14.5 psi
			22.9	12	0.300	0.7 bar	0.3 bar	1.0 bar	1.0 bar	10.1 psi	4.3 psi	14.5 psi



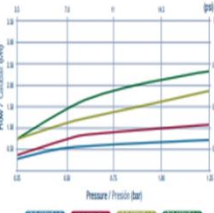
AZUD SPRINT



AZUD SPRINT	
Modelo	160
Nominal Flow	0.7L 1L 1.6L 2.1L 0.7L 1L 1.6L 2.1L
Caudal nominal	0.70 1.00 1.60 2.10 0.70 1.00 1.60 2.10
Flow	0.57 0.80 1.30 1.77 0.57 0.80 1.30 1.77
Caudal	0.15 0.22 0.30 0.47 0.15 0.22 0.30 0.47
Inner Diameter	16
Diámetro interior	16
	22.2
	0.80

AZUD SPRINT	
Pressure	Flow / Caudal
bar	psi
0.50	7.25
0.75	10.08
1.00	14.50
1.25	18.11
0.51	0.13
0.70	0.18
1.10	0.30
1.50	0.40
0.61	0.16
0.90	0.24
1.40	0.37
1.83	0.48
0.70	0.18
1.00	0.26
1.80	0.42
2.10	0.55
0.78	0.21
1.10	0.29
1.80	0.50
2.34	0.62

Modelo	Discharge Equation / Ecuación característica
Modelos	AZUD SPRINT $q = k \cdot h^x$
AZUD SPRINT 0.7L	$q = 0.24 \cdot h^{0.67}$
AZUD SPRINT 1L	$q = 0.26 \cdot h^{0.67}$
AZUD SPRINT 1.6L	$q = 0.49 \cdot h^{0.67}$
AZUD SPRINT 2.1L	$q = 0.70 \cdot h^{0.67}$



Nota. Emisor recomendado para sorgo

DATOS TÉCNICOS

www.azud.com

Microaspersores Micro-sprinklers

TABLA DE MICROASPERADORES											
Diámetro	Longitud	Presión	Caudal	Longitud	Presión	Caudal	Longitud	Presión	Caudal	Longitud	Presión
mm	ft	psi	lph	mm	ft	psi	lph	mm	ft	psi	lph
12	10	33	33	30	100	30	30	30	100	30	30
12	10	33	33	40	132	30	30	40	132	30	30
16	14	41	41	40	132	30	30	40	132	30	30
16	14	41	41	50	165	30	30	50	165	30	30
16	14	41	41	60	198	30	30	60	198	30	30
20	18	51	51	50	165	30	30	50	165	30	30
20	18	51	51	60	198	30	30	60	198	30	30

Modelo	Orificio boquilla	Presión	Caudal	Boquilla / Nozzle						
				Long range	Short range	Stream deflector	Invertida* Upside Down	Mist sprayer		
Modelo	Nozzle size (mm)	Pressure (bar)	Flow (l/h)	Long range	Short range	Stream deflector	Invertida* Upside Down	Mist sprayer		
Eris / Grey 30L	0.80	1.5	27	5.5	3.5	0.80	5.5	6.5	1.0	
	2.0	31	5.5	3.5	1.80	5.5	6.5	1.0		
Blanco / White 40L	0.90	1.5	35	6.0	3.5	1.20	6.0	6.5	1.1	
	2.0	40	6.0	4.0	1.80	6.0	6.5	1.1		
Marrón / Brown 50L	1.00	1.5	41	6.5	3.5	1.20	6.5	6.5	1.2	
	2.0	48	6.5	4.0	1.80	6.5	6.5	1.2		
Azul / Blue 60L	1.10	1.5	49	7.0	4.0	1.20	6.5	7.0	1.2	
	2.0	57	8.0	4.0	1.80	6.5	7.5	1.2		
Negro / Black 70L	1.20	1.5	60	7.5	4.0	1.20	6.5	7.0	1.3	
	2.0	69	8.0	4.5	1.80	6.5	8.0	1.3		
Verde / Green 80L	1.30	1.5	70	8.0	4.0	1.20	6.5	8.5	1.4	
	2.0	81	8.5	4.5	1.80	6.5	8.5	1.4		
Rojo / Red 100L	1.40	1.5	83	8.0	4.5	1.20	6.5	8.5	NR	
	2.0	97	9.5	4.5	1.80	6.5	8.5	NR		
Amarillo / Yellow 120L	1.65	1.5	100	8.5	5.0	1.65	6.5	8.5	NR	
	2.0	127	9.5	5.5	1.80	8.0	9.0	NR		
Violeta / Violet 160L	1.90	1.5	140	8.5	5.0	NR	7.0	8.5	NR	
	2.0	164	9.0	6.0	NR	8.0	9.0	NR		

Nota. Emisor recomendado para limón

Anexo H

Velocidades y diámetros en las dos bombas de la propuesta de tuberías principales en Zona 2,

Zamorano, Honduras.

Bomba Combustible												
Tubería principal	Diámetro externo (mm)	vel real 1	vel real 2	vel real 3	vel real 4	vel real 5	vel real 6	vel real 7	vel real 8	vel real 9	vel real 10	vel real 11
		101	165	1.13	0.46	0.59	1.16	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
102	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
103	116	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104	165	1.13	1.24	0.59	1.16	1.30	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00
106	116	0.00	0.00	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
107	165	1.13	1.24	1.25	1.16	1.30	1.21	0.61	0.62	0.00	0.00	0.00
108	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00
109	165	1.13	1.24	1.25	1.16	1.30	1.21	0.61	1.18	0.55	0.00	0.00
110	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00
111	116	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81
112	165	1.13	1.24	1.25	1.16	1.30	1.21	0.61	1.18	1.39	0.75	0.88
113	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00
114	165	1.13	1.24	1.25	1.16	1.30	1.21	1.39	1.18	1.39	1.37	0.88
115	165	1.13	0.46	0.59	1.16	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
116	165	0.00	0.00	0.00	0.56	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
117	89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
118	165	1.13	0.46	0.59	0.60	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
119	116	0.00	0.00	0.00	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	165	1.13	0.46	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
121	116	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
122	116	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
123	116	1.68	0.95	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
124	116	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	116	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
126	116	1.13	0.95	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
127	60	1.00	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
128	60	0.00	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
129	60	0.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	89	0.94	0.41	0.00	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
131	89	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
132	89	0.94	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
133	89	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Bomba Eléctrica												
Tubería principal	Diámetro externo (mm)	vel real 1	vel real 2	vel real 3	vel real 4	vel real 5	vel real 6	vel real 7	vel real 8	vel real 9	vel real 10	vel real 11
		101	165	0.00	0.77	0.66	0.00	0.00	1.21	1.39	1.18	1.39
102	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
103	116	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104	165	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	1.39	1.18	1.39	1.37	0.88
105	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00
106	116	0.00	0.00	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
107	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.56	1.39	1.37	0.88
108	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00
109	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.85	1.37	0.88
110	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00
111	116	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81
112	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.63	0.00
113	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00
114	165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	165	1.13	0.46	0.59	1.16	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
116	165	0.00	0.00	0.00	0.56	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
117	89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
118	165	1.13	0.46	0.59	0.60	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
119	116	0.00	0.00	0.00	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	165	1.13	0.46	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
121	116	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
122	116	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
123	116	1.68	0.95	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
124	116	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	116	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
126	116	1.13	0.95	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
127	60	1.00	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
128	60	0.00	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
129	60	0.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	89	0.94	0.41	0.00	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
131	89	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
132	89	0.94	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
133	89	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo I

Ficha técnica AZUD utilizado en el sistema de riego de Zona 2, Zamorano, Honduras.

DATOS TÉCNICOS

www.azud.com

TUBERÍA DE MICROIRRIGACIÓN PE 32

Diámetro nominal mm	Espesor de la pared		Presión máxima		Longitud de la bobina		Bobinas por contenedor 10-40 pies	Bobinas por trailer
	mm	mil	bar	psi	m	pies		
12	1.0	39	2.5	36	500	1641	480	540
	1.2	47	2.5	36	400	1312	384	432
16	1.4	55	4.0	58	400	1312	384	432
	1.5	59	4.0	58	300	985	480	540
18	1.2	47	2.5	36	300	985	360	432
	1.3	51	2.5	36	250	820	360	432
20	1.4	55	2.5	36	250	820	360	432

*Dimensiones no contempladas en norma UNE. Espesores especiales bajo pedido. Los diámetros, espesores y presiones expresados son valores nominales.

Microaspersores Micro-sprinklers

Modelo Model	Orificio Nozzle size (mm)	Presión Pressure (bar)	Caudal Flow (l/h)	Diámetro mojado / Wetted diameter (m)				Nebulizador Mist sprayer	
				Largo Alcance* Long range	Corto Alcance* Short range	Con deflector* Stream deflector	Invertido** Upside Down		
Gris / Grey 30L	0.80	1.5	27	5.5	3.5	0.90	5.5	6.5	1.0
		2.0	31	5.5	3.5	1.80	5.5	6.5	1.0
Blanco / White 40L	0.90	1.5	35	6.0	3.5	1.20	6.0	6.5	1.1
		2.0	40	6.0	4.0	1.80	6.0	6.5	1.1
Marrón / Brown 50L	1.00	1.5	41	6.5	3.5	1.20	6.5	6.5	1.2
		2.0	48	6.5	4.0	1.80	6.5	6.5	1.2
Azul / Blue 60L	1.10	1.5	49	7.0	4.0	1.20	6.5	7.0	1.2
		2.0	57	8.0	4.0	1.80	6.5	7.5	1.2
Negro / Black 70L	1.20	1.5	60	7.5	4.0	1.20	6.5	7.0	1.3
		2.0	69	8.0	4.5	1.80	6.5	8.0	1.3
Verde / Green 80L	1.30	1.5	70	8.0	4.0	1.20	6.5	8.5	1.4
		2.0	81	8.5	4.5	1.80	6.5	8.5	1.4
Rojo / Red 100L	1.40	1.5	83	8.0	4.5	1.20	6.5	8.5	NR
		2.0	97	9.5	4.5	1.80	6.5	8.5	NR
Amarillo / Yellow 120L	1.65	1.5	109	8.5	5.0	1.65	6.5	8.5	NR
		2.0	127	9.5	5.5	1.80	8.0	9.0	NR
Violeta / Violet 160L	1.90	1.5	140	8.5	5.0	NR	7.0	8.5	NR
		2.0	164	9.0	6.0	NR	8.0	9.0	NR

Nota. Micro aspersor, utilizado para el limón.

AZUD SPRINT

www.azud.com

AZUD SPRINT		160				220			
Modelo	Modelo	0.7L	1L	1.6L	2.1L	0.7L	1L	1.6L	2.1L
Nominal Flow Caudal nominal	l/h - 1 bar gph - 14.5 psi	0.70	1.00	1.60	2.10	0.70	1.00	1.60	2.10
		0.18	0.26	0.42	0.55	0.18	0.26	0.42	0.55
Flow Caudal	l/h - 0.7 bar gph - 10 psi	0.57	0.80	1.30	1.77	0.57	0.80	1.30	1.77
		0.15	0.22	0.35	0.47	0.15	0.22	0.35	0.47
Inner Diameter Diámetro interior	mm	16				22.2			
		0.63				0.88			

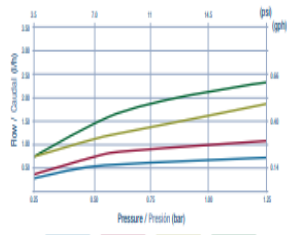
ISO 9261

Modelo	Modelos	Discharge Equation / Ecuación característica AZUD SPRINT $q = K \cdot H^x$
AZUD SPRINT 0.7L		$q = 0.24 \cdot H^{0.47}$
AZUD SPRINT 1L		$q = 0.35 \cdot H^{0.45}$
AZUD SPRINT 1.6L		$q = 0.49 \cdot H^{0.41}$
AZUD SPRINT 2.1L		$q = 0.70 \cdot H^{0.40}$

Thickness Espesor	Maximum pressure Presión máxima
0.15 mm	6 mil 1.0 bar 14.5 psi
0.20 mm	8 mil 1.4 bar 20 psi
0.25 mm	10 mil 1.4 bar 20 psi
0.30 mm	12 mil 1.6 bar 23 psi

Disc filtration recommended ≤ 130 micron
Se recomienda filtración por discos ≤ 130 micron.

AZUD SPRINT		Flow / Caudal			
Pressure Presión	bar psi	0.7L l/h gph	1L l/h gph	1.6L l/h gph	2.1L l/h gph
0.50	7.25	0.51	0.70	1.10	1.50
0.75	10.98	0.61	0.86	1.30	1.83
1.00	14.50	0.70	1.00	1.60	2.10
1.25	18.13	0.78	1.10	1.80	2.34



AZUD SPRINT		Modelo	Δ %	Drip line length / Longitud de rama* Spacing between emitters / Separación de emisores**														
0.7L	1L			1.6L	2.1L	0.75 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	3.0 m								
160	0.7L	5	86	282	106	348	124	407	141	462	170	558	197	646	223	731	256	840
		10	110	361	136	446	159	522	180	590	220	722	255	836	288	945	333	1092
		15	126	411	155	509	192	597	206	676	251	823	292	958	330	1092	381	1259
		20	145	468	175	578	216	708	227	744	277	900	311	1000	359	1167	400	1320
	1L	5	85	279	103	339	121	397	136	440	168	551	195	640	221	725	255	836
		10	97	318	120	394	140	459	160	509	195	640	227	745	256	840	287	934
		15	108	358	137	451	156	516	176	576	211	696	241	786	271	891	311	1000
		20	119	400	153	508	172	573	192	630	227	744	256	840	287	934	333	1092
	1.6L	5	48	153	56	184	66	216	75	243	82	282	107	351	121	397	139	456
		10	59	194	73	239	86	282	98	312	119	390	139	456	157	515	182	597
		15	69	229	86	279	100	329	114	384	136	459	161	526	185	597	211	696
		20	78	260	97	318	111	366	124	407	145	462	170	558	197	646	223	731
2.1L	5	52	171	64	210	75	246	86	282	104	341	122	400	138	453	160	525	
	10	60	197	74	243	86	282	99	325	120	394	140	459	159	522	184	604	
	15	67	220	84	279	97	318	111	366	124	407	145	462	170	558	197	646	
	20	74	246	93	306	104	341	122	400	138	453	160	525	184	604	211	696	
220	0.7L	5	146	479	181	594	213	699	242	794	296	971	345	1132	390	1279	453	1486
		10	196	610	232	761	273	895	311	1020	381	1250	444	1456	500	1640	560	1837
		15	210	665	264	865	311	1020	355	1164	425	1407	500	1640	570	1870	600	1965
		20	222	710	297	944	344	1120	372	1200	444	1456	520	1700	590	1920	630	2040
	1L	5	110	361	137	440	161	528	184	604	225	730	262	859	297	974	345	1132
		10	142	466	176	577	208	682	237	777	290	951	339	1112	384	1260	447	1466
		15	164	539	204	669	240	787	274	899	337	1105	393	1289	445	1460	512	1679
		20	177	584	224	735	264	865	296	971	351	1145	400	1300	450	1480	520	1700
	1.6L	5	78	256	97	318	114	374	131	430	160	525	187	614	212	696	246	807
		10	100	329	125	410	148	486	169	554	207	679	242	794	274	899	310	1047
		15	117	384	145	475	172	564	196	640	240	787	281	922	318	1040	370	1214
		20	127	410	159	510	187	609	211	696	251	820	291	950	327	1070	381	1250
2.1L	5	87	285	94	312	99	325	113	371	138	453	162	531	183	600	219	699	
	10	97	318	109	358	124	407	147	482	160	520	182	600	211	696	240	787	
	15	107	351	121	397	136	440	156	509	176	576	192	630	227	744	256	840	
	20	116	384	133	437	145	462	164	525	184	604	211	696	240	787	271	891	

* Spacing / Separación: 90°
** Wet pressure / Presión máxima: 1 bar / 14.5 psi

Nota. Gotero utilizado para el resto de los cultivos.