UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

SEDE GUANACASTE

INGENIERÍA AGRONÓMICA CON ÉNFASIS EN RIEGO Y DRENAJE

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO Y FERTIRRIEGO AUTOMATIZADO CON SENSORES DE HUMEDAD Y TELEMETRÍA PARA MAÍZ (*ZEA MAYS)* JICARAL, PUNTARENAS, 2020

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGRONÓMICA CON ÉNFASIS EN RIEGO Y DRENAJE

ALFREDO JOSUÉ RODRÍGUEZ VILLEGAS

CAÑAS, 2022

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EVALUADOR

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Tribunal de la carrera de Ingeniería Agronómica con énfasis en Riego y Drenaje de la Universidad Técnica Nacional, como requisito para optar por el grado de Licenciatura

Kerin Romero Calvo

Ing. Kerin Romero Calvo, Msc
Profesor Tutor

Ing. York Quirós Pérez, MSc.
Profesor Lector

Lic. Alejandro Sánchez Hidalgo, MBA.
Profesor Lector

Ing. María de los Ángeles Alfaro, MSc.
Presidente del Tribunal

Alfredo Josué Rodríguez Villegas
Sustentante

DEDICATORIA

Dedicada a mis seres queridos más cercanos, que siempre confiaron en mí, animándome a seguir y a no rendirme, para alcanzar una meta que alguna vez fue un sueño.

Alfredo Josué Rodríguez Villegas

AGRADECIMIENTO

En primera instancia a Dios, quien me dio la sabiduría y las energías para culminar un capítulo más en mi vida, pero con la visión de alcanzar nuevas metas. También a mis seres queridos y amistadas cercanas, quienes me dieron su apoyo y conocimiento para continuar esforzándome para seguir adelante, además de mejorar personal y profesionalmente. También agradecer a los miembros del Tribunal Evaluador, quienes me brindaron su tiempo, consejos y observaciones para llevar a cabo este Trabajo Final de Graduación.

Alfredo Josué Rodríguez Villegas

TABLA DE CONTENIDOS

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EVALUADOR..... **¡Error! Marcador no definido.**
DEDICATORIA iv
AGRADECIMIENTO v
TABLA DE CONTENIDOS vi
ÍNDICE DE TABLAS viii
ÍNDICE DE FIGURAS..... ix
RESUMEN x
CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES 11
1.1 Introducción..... 12
1.2 Área de Estudio, Delimitación del Problema y Justificación..... 13
1.2.1 Área de Estudio 13
1.2.2 Delimitación del problema 16
1.2.3 Justificación..... 16
1.3 Situación actual del conocimiento del tema 18
1.4 Objetivos..... 20
1.4.1 Objetivo General: 20
1.4.2 Objetivos Específicos:..... 20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL 21
2.1 Generalidades del cultivo del maíz (*Zea mays)* 22
2.1.1 Descripción de la planta 22
2.1.2 Necesidades edafológicas del maíz 23
2.1.3 Plagas y enfermedades 25
2.1.4 Necesidades hídricas del cultivo 25
2.1.5 Fertilización del cultivo..... 26
2.2 Tipos de sistemas de riego..... 32
2.2.1 Sistemas de riego por goteo..... 34
2.3 Diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por goteo 38
2.4 Sistema de automatización..... 40
2.4.1 Programador lógico programable..... 41
2.4.2 Sensores de humedad 42
2.4.3 Sistemas de transmisión inalámbrica..... 42
2.4.4 Válvulas solenoides..... 43
2.5 Análisis financiero..... 44
2.5.1 Inversión inicial (Io)..... 44

2.5.2 Costos 45
2.5.3 Gastos 45
2.5.4 Ingresos 45
2.5.5 Utilidad 45
2.5.6 Valor actual neto (VAN) 45
2.6.7 Tasa interna de retorno (TIR) 46
2.5.8 Costo beneficio (CB) 46
2.5.9 Periodo de recuperación descontado (PRD) 46
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO 47
3.1 Levantamiento topográfico y curvas de nivel 48
3.2 Muestreo de suelos y envío de las muestras al laboratorio 49
3.3 Sistema de riego por goteo y fertirriego 50
3.3.1 Diseño agronómico 50
3.3.2 Diseño hidráulico 53
3.3.3 Fuente del agua y aforo 56
3.3.4 Calculo de las necesidades de fertilizantes para el cultivo 57
3.3.5 Diseño de fertirriego 58
3.4 Diagrama de flujo del sistema de automatización 59
3.5 Análisis financiero del proyecto 61
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 64
4.1 Diseño agronómico 65
4.2 Diseño hidráulico 67
4.3 Sistema de automatización 69
4.4 Dosis óptimas para fertirriego del maíz 70
4.5 Análisis financiero del proyecto 73
CONCLUSIONES 79
RECOMENDACIONES 80
BIBLIOGRAFÍA 81
ANEXOS 85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente del cultivo del maíz. 26
Tabla 2. Elementos nutritivos necesarios para el cultivo del maíz. 27
Tabla 3. Lista de cálculos para diseño agronómico 39
Tabla 4.Lista de cálculos para diseño hidráulico. 40
Tabla 5. Etiqueta para identificación de muestras de suelo. 50
Tabla 6. Precálculo de fertilizantes en kg/ha 57
Tabla 7. Recálculo de dosis de fertilizantes en kg/ha 58
Tabla 8. Fraccionamiento de fertilizantes con base en curvas de extracción de nutrientes 59
Tabla 9. Variables de supuestos para el proyecto. 61
Tabla 10. Resultados del diseño agronómico 65
Tabla 11. Resultados del diseño hidráulico 67
Tabla 12.Plan de fertirriego para el área de diseño. 71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. 13
Figura 2. Datos climáticos próximas al área de estudio. 14
Figura 3. Precipitación acumulada mensual en mm próximas al área de estudio. 15
Figura 4. Precios internacionales del maíz 17
Figura 5. Cultivo de maíz (Zea mays) 22
Figura 6. Etapas de desarrollo del maíz. 23
Figura 7. Triángulo textural de suelos. 24
Figura 8. Compatibilidad de fertilizantes para fertirriego. 28
Figura 9. Curvas de extracción total de Nitrógeno (N). 29
Figura 10. Curva de extracción total de Fósforo (P). 29
Figura 11. Curvas de extracción total de Potasio (K). 30
Figura 12. Curva de extracción total de Calcio (Ca). 30
Figura 13. Curva de extracción total de Magnesio (Mg). 31
Figura 14. Curva de extracción total de Azufre (S). 31
Figura 15. Riego por gravedad. 32
Figura 16. Riego por aspersión. 33
Figura 17. Riego por goteo. 34
Figura 18. Componentes del sistema de riego por goteo y fertirriego. 36
Figura 19. Goteros de vortex. 37
Figura 20. Goteros autocompensados. 37
Figura 21. Gotero de Laberinto. 38
Figura 22. Cálculo del PAR. 39
Figura 23. Controlador Lógico programable (PLC) Logo 8 de Siemens. 41
Figura 24. Sensor de humedad del suelo SM 100. 42
Figura 25. Terminal inteligente Zigbee. 43
Figura 26. Válvulas solenoides Hunter ICV. 44
Figura 27. Plano de curvas de nivel del área de diseño. 48
Figura 28. Mapa de cuadrícula para muestreo de suelos. 49
Figura 29. Diagrama de flujo del sistema de automatización. 60
Figura 30. Distribución del sistema de riego por goteo. 66
Figura 31. Curvas de rendimiento de la bomba SS66B4. 68
Figura 32. Bomba hidráulica DAB modelo SS66B4. 68
Figura 33. Esquema del sistema de automatización 69
Figura 34. Distribución en campo del sistema de automatización 70
Figura 35. Distribución del plan de fertirriego 72
Figura 36. Inversión inicial del proyecto. 73
Figura 37. Estimado de ventas anual. 73
Figura 38. Estimado de gastos mensuales y anual. 74
Figura 39. Costos variables de la operación. 74
Figura 40. Análisis financiero con capital propio. 75
Figura 41. Análisis financiero del proyecto con financiamiento. 76
Figura 42.Comparativo del valor actual neto. 77
Figura 43.Comparativo de la tasa interna de retorno. 77
Figura 44. Comparativo de costo beneficio. 78

RESUMEN

La situación mundial actual, está siendo afectada por el cambio climático, escasez de agua y el acceso a una educación superior cada vez más accesible, provocando que los ciudadanos aspiren a mejores empleos y no consideren el trabajo de campo como alternativa para subsistir, además de que se está dando el cierre de fronteras comerciales internacionales que evitan en gran parte la importación de materias primas para la producción de alimentos. Con ese panorama, las empresas se ven obligadas a la implementación de sistemas de riego con mayor eficiencia, así como la automatización de la mayor parte de sus procesos y optar por cultivos que a nivel nacional permanecieron fuera de producción como el caso del maíz (*Zea mays*), el cual es la base de la nutrición animal, así como en gran medida para el consumo humano.

El trabajo realizado, se centra en la automatización de un riego y fertirriego, controlando la cantidad de agua necesaria por medio de sensores de humedad y la dosificación del fertilizante necesario con base en curvas de extracción de nutrientes, para alcanzar las metas de la producción en cada ciclo del cultivo. El sistema diseñado permite tener el personal exclusivamente necesario para llevar a cabo las tareas del día a día en el desarrollo y cosecha del cultivo de (*Zea mays*). Se obtuvo resultados favorables en el análisis financiero del proyecto, superando las expectativas deseadas para el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el costo beneficio (CB).

Palabras clave: Riego por goteo, Fertirriego, Automatización, Maíz (*Zea Mays*), Curvas de extracción de nutrientes.

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

El cambio climático representa alteraciones en la precipitación y la temperatura, los cuales pueden ser provocados por el ser humano y por la naturaleza (Medrano, 2013). Estas alteraciones influyen en la forma de gestionar el agua en las diferentes actividades tanto comerciales como de consumo, por lo cual también debe ser eficiente el suministro del recurso hídrico a los cultivos, tanto en campo abierto como en ambientes protegidos como casa malla, invernaderos y túneles para la producción de alimentos.

La escasez del agua en muchas regiones del mundo, se ha convertido en una de las principales causas que limitan la producción de fincas agrícolas, por lo cual, el riego por gravedad, riego por aspersión y otros sistemas de riego de alto caudal por hectárea cultivada van perdiendo presencia al pasar de los años, debido a eso se implementan tecnologías que irriguen las plantas con mayor efectividad según sus necesidades fisiológicas, tal es el caso de los sistemas de riego por goteo y los sistemas que incorporan fertirriego.

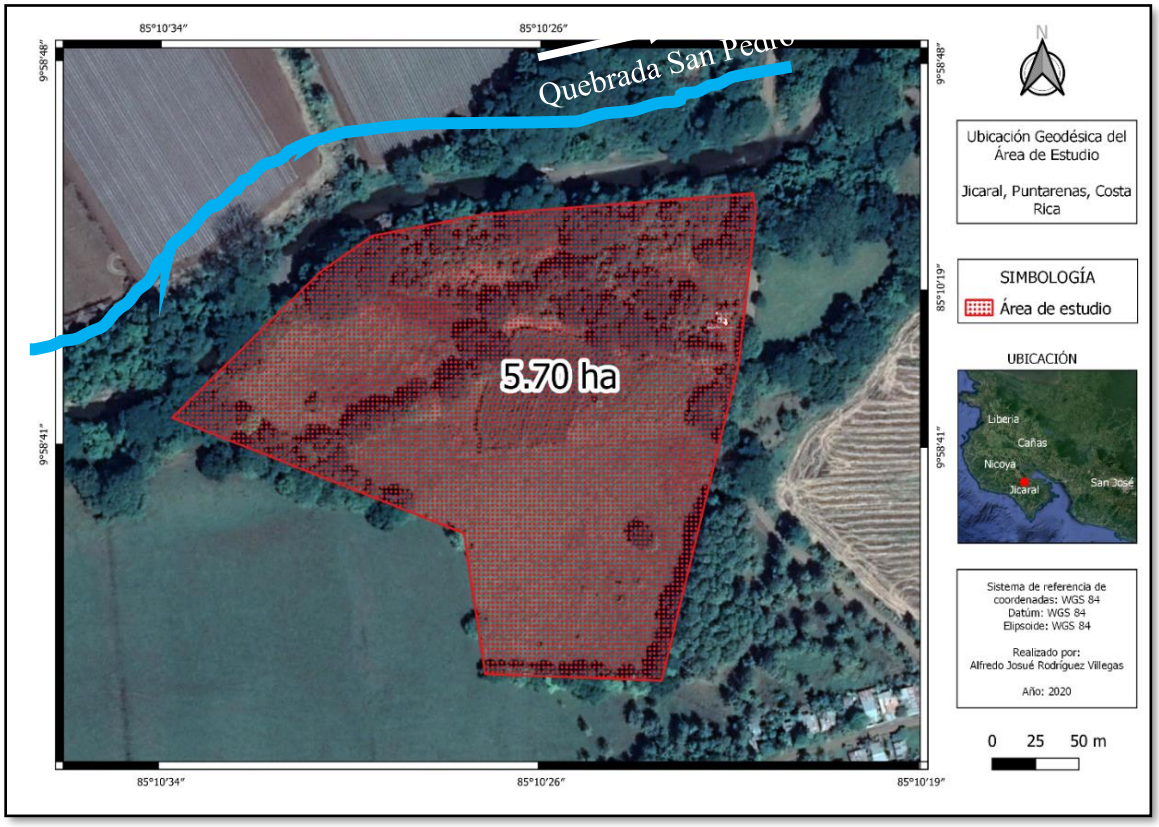
Estos sistemas van de la mano con los sistemas automatizados para el control del riego a suministrar y los fertilizantes necesarios para una mejor productividad del cultivo, colaborando con el ambiente directamente al utilizar menos agua y menos materias primas para la nutrición de las plantas. También contribuyen a la operación del proyecto agrícola, debido a que la mano de obra en los campos cada vez es menor por el acceso a la educación y al cambio de la mentalidad de las nuevas generaciones, así como el aumento en los salarios mínimo, obligando a los productores y empresas a implementar computadoras que realicen el control en tiempo real de los procesos de irrigación y fertilización.

1.2 Área de Estudio, Delimitación del Problema y Justificación

1.2.1 Área de Estudio

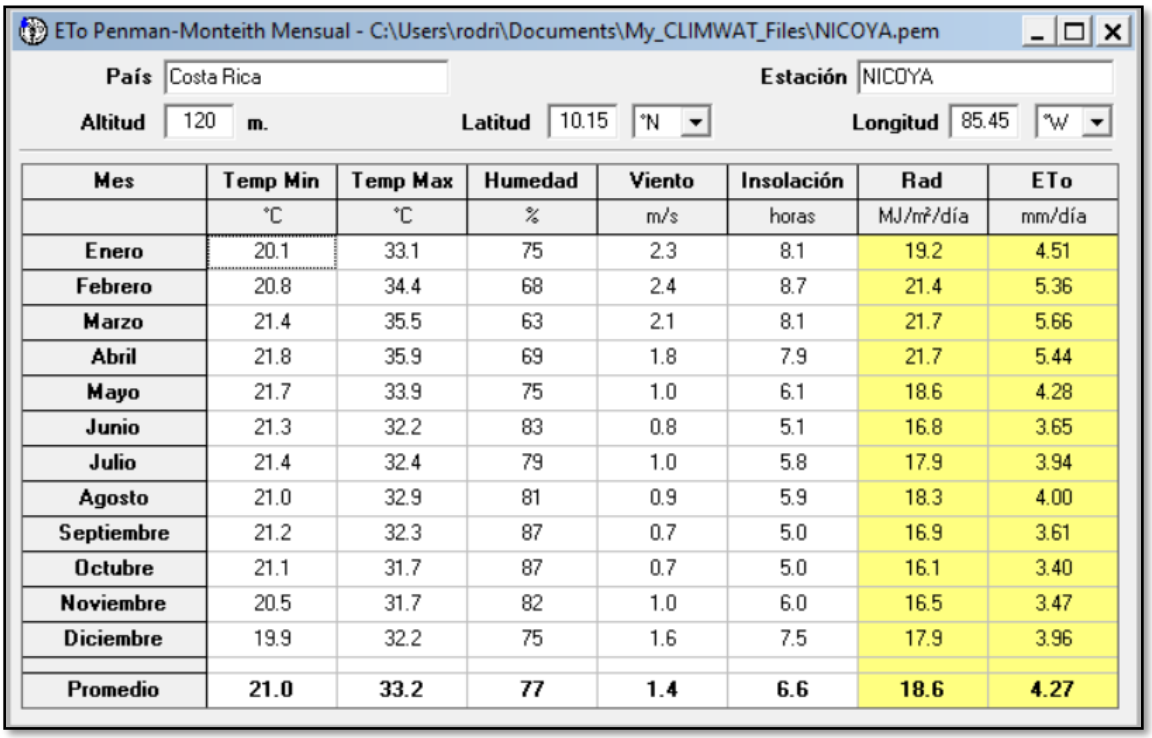
El diseño está dentro del área de estudio del riego y drenaje, así como en el área de aplicación de tecnología con sensores de humedad y telemetría. El área geográfica se encuentra en las coordenadas geodésicas Latitud: 9°58'41.24" Norte y Longitud: 85°10'25.52" Oeste, a unos 23 metro sobre el nivel del mar y al norte de la propiedad se encuentra cuerpo de agua intermitente Quebrada San Pedro, además, el suelo presente en la finca y sus alrededores es de textura franca. En la siguiente figura se detalla la ubicación del sitio donde se desarrollará el diseño del riego, fertirriego y automatización:

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.



El clima de la zona se caracteriza por tener temperaturas máximas de hasta 35.9 °C en el mes de abril y temperaturas menores de 31.7 °C en los meses de octubre y noviembre, también se tiene una evapotranspiración (ETo) máxima en el mes de marzo con 5.66 mm/día. En la siguiente figura se detallan más datos climáticos referentes a la zona más próxima del del área de estudio:

Figura 2. Datos climáticos próximas al área de estudio.



ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\rodri\Documents\My_CLIMWAT_Files\NICOYA.pem

País: Costa Rica — Estación: NICOYA

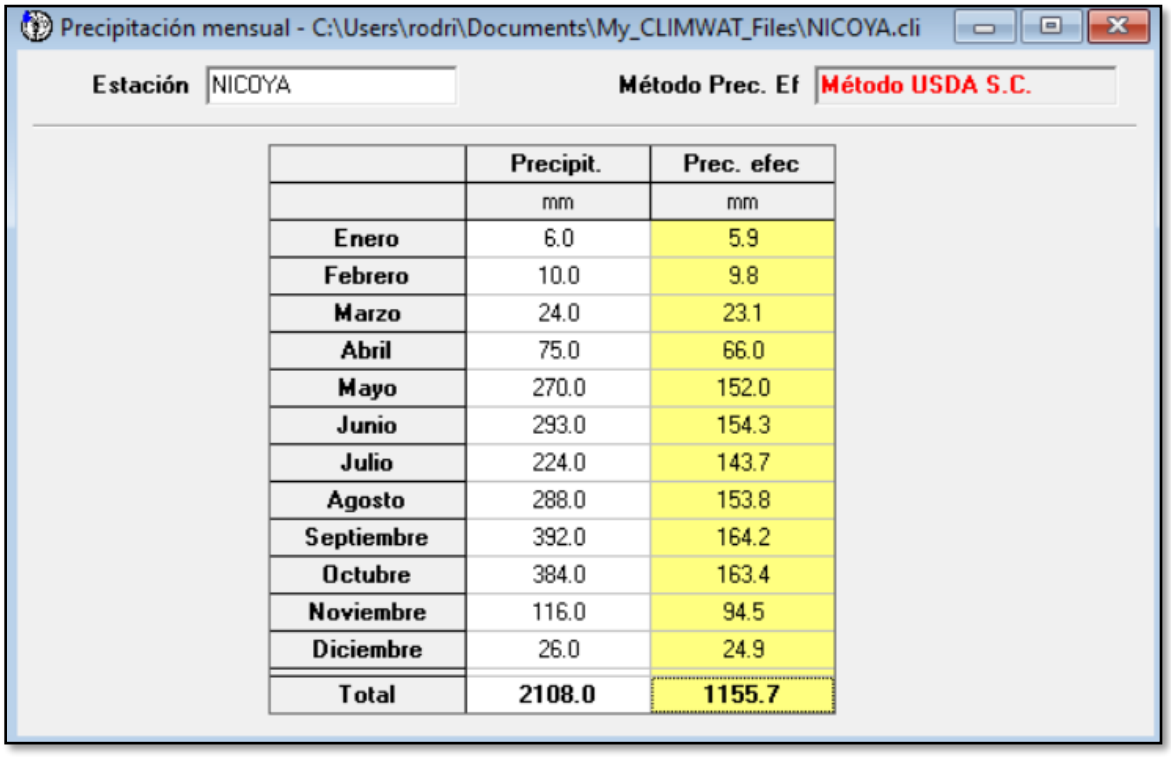
Altitud: 120 m. — Latitud: 10.15 °N — Longitud: 85.45 °W

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	20.1	33.1	75	2.3	8.1	19.2	4.51
Febrero	20.8	34.4	68	2.4	8.7	21.4	5.36
Marzo	21.4	35.5	63	2.1	8.1	21.7	5.66
Abril	21.8	35.9	69	1.8	7.9	21.7	5.44
Mayo	21.7	33.9	75	1.0	6.1	18.6	4.28
Junio	21.3	32.2	83	0.8	5.1	16.8	3.65
Julio	21.4	32.4	79	1.0	5.8	17.9	3.94
Agosto	21.0	32.9	81	0.9	5.9	18.3	4.00
Septiembre	21.2	32.3	87	0.7	5.0	16.9	3.61
Octubre	21.1	31.7	87	0.7	5.0	16.1	3.40
Noviembre	20.5	31.7	82	1.0	6.0	16.5	3.47
Diciembre	19.9	32.2	75	1.6	7.5	17.9	3.96
Promedio	**21.0**	**33.2**	**77**	**1.4**	**6.6**	**18.6**	**4.27**

Nota: Tomado del Software Climwat 2.0, 2022.

En cuanto a la precipitación de la zona, la época seca está comprendida entre enero y abril, enero siendo el mes con menor lluvia, con una precipitación acumulada de 6 mm. La época lluviosa inicia en el mes de mayo y finaliza en diciembre, siendo el mes con mayor lluvia el mes de setiembre con un acumulado de 392 mm. En la siguiente imagen se muestran los datos de precipitación acumulada por mes:

Figura 3. Precipitación acumulada mensual en mm próximas al área de estudio.



	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	6.0	5.9
Febrero	10.0	9.8
Marzo	24.0	23.1
Abril	75.0	66.0
Mayo	270.0	152.0
Junio	293.0	154.3
Julio	224.0	143.7
Agosto	288.0	153.8
Septiembre	392.0	164.2
Octubre	384.0	163.4
Noviembre	116.0	94.5
Diciembre	26.0	24.9
Total	2108.0	1155.7

Nota: Tomado del Software Climwat 2.0, 2022.

Los datos mostrados en la *Figura 2* y la *Figura 3* se extrajeron de una base de datos con series de datos de más de 15 años entre los años 1970 y 2000.

Las condiciones climáticas antes mencionadas, deben considerarse en el diseño del riego del cultivo del maíz, debido a que en época seca no se podría cultivar por la escasez de precipitación en el primer cuatrimestre del año. Aunque en la época lluviosa se tiene un acumulado de lluvias, debe considerarse que la precipitación podría no suplir las necesidades de riego del cultivo seleccionado.

1.2.2 Delimitación del problema

Debido a las circunstancias climáticas de la zona y a la escasez de cuerpos de agua superficiales o la inexistencia de una red de riego, es necesario recurrir a proyectos agrícolas que demanden menor cantidad de agua y una menor mano de obra, debido a su escasez y alto costo, debiéndose optimizar el recurso humano disponible en otras labores agrícolas.

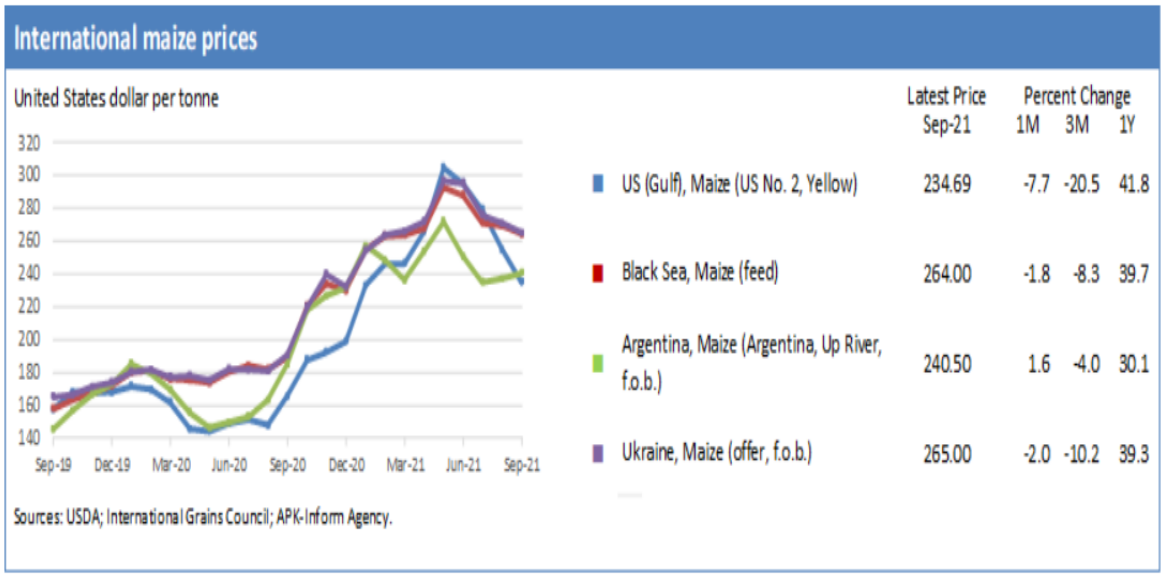
Por tanto, este proyecto pretende diseñar el sistema de riego por goteo y fertirriego para maíz, con el fin de cultivar en cualquier época del año. El diseño agronómico e hidráulico será para uso exclusivo del área de estudio seleccionada y el sistema de automatización podrá extrapolarse a otras fincas agrícolas.

1.2.3 Justificación

La escasez existente de agua en la zona mayormente dada por la época seca, y la imposibilidad para acceder a ella por conducción superficial, obliga a extraer el agua desde pozos utilizando sistema de bombeo, el cual puede aprovecharse para el sistema de riego por goteo, aprovechando las bondades de las técnicas del fertirriego y aumentar la productividad del cultivo seleccionado.

El diseño permitirá el aprovechamiento del área en estudio en cualquier época del año, debido a que el riego es más eficiente con la tecnología que se desea implementar. El cultivo seleccionado es muy versátil, porque se puede utilizar el forraje para alimentación del ganado bovino de engorde como materia fresca o en silo, así como una fuente de ingresos comercializándolo durante todo el año para consumo humano, ya sea en elote cocido, chorreadas, tamales, tortillas, entre otros derivados, y de esa forma depender en menor medida de las importaciones del maíz, por causa del alza en los precios internacionales, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 4. Precios internacionales del maíz



Nota. Tomada de Precios Internacionales [Fotografía], por La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021, (https://www.fao.org/giews/food-prices/international-prices/detail/es/c/1443624/).

Debido al alza en los precios internacionales del maíz, el expresidente de El Consejo Nacional de Producción (CNP) en Costa Rica, Rogis Bermúdez, mencionó: “Hace poco más de un año, ante la llegada de la pandemia, advertí el riesgo de que los mercados internacionales cerraran y no pudieran abastecer de granos básicos o de que los precios siguieran subiendo por la demanda tan grande que se ha presentado a nivel mundial. Es por eso por lo que se incluyó en un plan a la Comisión Nacional de Emergencias en el contexto Covid-19 por catalogarse como un riesgo de seguridad alimentaria”, (Bermúdez, R., 2021)

Datos del Programa de Granos Básicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) revelan que el 95% del maíz que se consume en el país es amarillo, el cual se utiliza principalmente para la alimentación de aves, mientras que el 5% es maíz blanco. Del grano amarillo se importan

entre 800 mil y 850 mil toneladas anuales, mientras que del blanco cada año se importan aproximadamente 38 mil toneladas. La mayor parte de las importaciones (99,9% del amarillo y 75% del blanco) proviene de los Estados Unidos, en segundo lugar, se le compra a México o Guatemala. (Bermúdez, R., 2021)

Considerando la dependencia del país para importar el maíz y cierre de mercados internacionales, así como la poca mano de obra disponible en Jicaral, es importante producir el maíz a nivel local, para suplir parte de la demanda del maíz a nivel nacional, utilizando una tecnología de riego automatizado incluyendo Controlador Lógico Programable (PLC) y otros componentes que se adquieran en función de cada solución, permitiendo que las labores de riego y fertirriego se realicen de forma automática sin intervención humana.

1.3 Situación actual del conocimiento del tema

Los sistemas de telecontrol y automatización del riego, se han estado implementando en los últimos años de forma experimental y a gran escala, lo cual ha favorecido las labores del riego programado y de modo remoto (Ruiz y Molina, 2010).

Anteriormente se utilizaban automatismos, para los cuales se utilizaban circuitos lógicos, donde se implementaban un gran número de componentes como los relés que son anteriores a la electrónica digital y que actualmente está conformada por PLC, estos últimos siendo más pequeños (Ruiz y Molina, 2010).

En el Valle de Pampas en Perú, se produce maíz como uno de los principales cultivos de la zona, con el inconveniente de que el agua no se utiliza de forma eficiente, para resolver este problema (Lazo y Campos, 2014), construyeron una unidad remota para controlar la humedad en la raíz del maíz, basado en dos microntroladores PIC y con un transmisor inalámbrico de tecnología

XBee, controlando el agua utilizada en el riego por goteo mediante el cierre de electroválvulas de forma automática.

En la Hacienda Durand ubicada en el centro poblado de Chical bajo del distrito de Oyotún, provincia de Chiclayo en el departamento de Lambayeque, Perú, se realizó un diseño de riego por goteo automatizado para cultivo de maíz, el cual obtuvo un valor actual neto (VAN) mayor al 12% esperado y una tasa interna (TIR) de retorno del 124.6 %, lo cual dice que el proyecto es viable y rentable. (Chang, L., 2020).

En Costa Rica, se llegaron a realizar pruebas con tecnología KNX adaptándolas a soluciones agrícolas, llegando a utilizarse el sensor de humedad YL-69, el IPS 100 REG como pasarela KNXnet/IP y el Raspberry Pi como el centro de procesamiento. En las pruebas realizadas se dio una comunicación exitosa entre el centro de procesamiento y el equipo KNX, el cual activa una electroválvula para controlar el riego. La investigación se realizó en la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC de Cartago en una parcela que estaba cultivada con lechugas y chile dulce (Pineda, 2016).

Considerando la información antes mencionada, este trabajo pretende incluir dentro del diseño opciones que permitan ver en tiempo real la información de campo como la humedad del suelo, presión del sistema hidráulico, estado general del sistema, niveles de los fertilizantes, así como la posiblidad de controlar las válvulas solenoides y la bomba de riego. Se hará en función de reglas que se ajusten al cultivo, considerando el consumo de agua y fertilizantes.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Diseñar un sistema de riego por goteo y fertirriego automatizado, considerando las necesidades hídricas y nutricionales para el cultivo del maíz (*Zea mays)*, Jicaral, Puntarenas.

1.4.2 Objetivos Específicos:

1. Elaborar el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por goteo, contemplando las condiciones edafoclimáticas para la propuesta de automatización del cultivo (*Zea mays)*.
2. Realizar el diagrama de la operación mediante herramientas de automatización para el control del riego y fertirriego.
3. Recomendar con base en las curvas de extracción de nutrientes el fraccionamiento adecuado para la estimación de las dosis óptimas.
4. Analizar económicamente el proyecto mediante un estudio financiero para la determinación de la factibilidad.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Generalidades del cultivo del maíz (*Zea mays)*

2.1.1 Descripción de la planta

Es un cultivo anual, con raíz fasciculada y cuyo tallo forma raíces adventicias, el tallo es una caña maciza provista de una médula blanca y azucarada, en cada nudo nace una hoja envainadora, ligulada, cintiforme y rectinerviada. Es monoica, cuyas flores masculinas nacen antes que las femeninas en el extremo de los tallos (La Universidad San Martín de Porres, 2017).

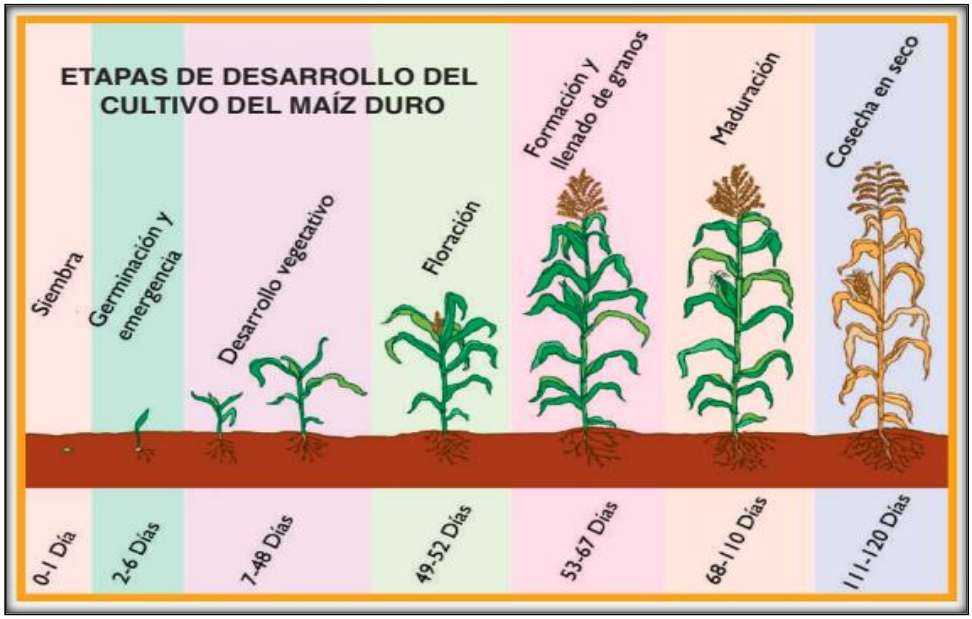
Figura 5. Cultivo de maíz (Zea mays).

Nota. Tomado de Evolución del Cultivo de Maíz en Costa Rica [Fotografía], por Chacon, M, 2017, Oficina Nacional de Semillas (http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semillas-de-maiz/evolucion-cultivo-maiz/).

Para tomar decisiones desde la siembra hasta la cosecha del maíz, es necesario conocer los rangos de días que toma cada una de las etapas de desarrollo, favoreciendo un mejor

fraccionamiento en dosis de fertilizante y manejando de mejor manera los ciclos del cultivo. En la siguiente imagen se muestran las etapas de desarrollo del maíz:

Figura 6. Etapas de desarrollo del maíz.

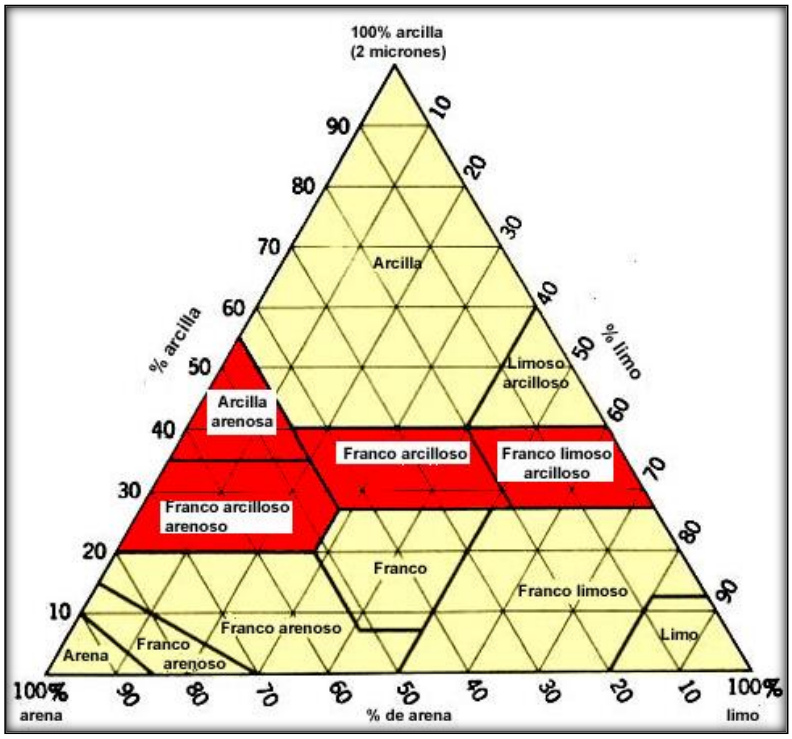


Nota. Tomado de Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de maíz duro (Zea mays L). [Fotografía], por Quiroz y Merchán, 2016, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), INIAP (http: //http://www.iniap.gob.ec/)

2.1.2 Necesidades edafológicas del maíz

Para este cultivo se recomiendan suelos profundos y fértiles para dar una buena producción, con requerimiento de suelos con textura franca, permitiendo un desarrollo radicular óptimo, mayor eficiencia en absorción del agua y evitando el acame de las plantas. En la siguiente imagen se muestra el triángulo textural realizado por Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA):

Figura 7. Triángulo textural de suelos.



Nota. Tomado de Triángulo textural de suelos, [Fotografía], por La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, s.f., FAO (http://fao.org)

Los suelos de textura franca y estructura granular contribuyen a un buen drenaje, evitando encharcamientos (Garrido et al, 2017), de esa forma evitamos proliferación de plagas y enfermedades.

La profundidad efectiva de un suelo es aquella que puede ser explorada por las raíces de las plantas, tomando como referencia 0.50 m como un mínimo de profundidad del suelo para la mayoría de los cultivos (Moratiel, 2017).

2.1.3 Plagas y enfermedades

Al igual que en otros cultivos, el maíz es atacado comúnmente por *(Phyllophaga spp), (Agrotis spp)* y la *(Aeolus spp),* los cuales están en el suelo alimentándose de tallos, semillas y raíces, así como las plagas que atacan los granos y la parte área de la planta, como la *(Diatraea lineolata)* y la *(Chilo partellus)* (Méndez, 2016).

Las enfermedades que comúnmente atacan al cultivo del maíz se encuentran: (*Exserohilum turcicum),* (*Puccinia sorghi),* (*Curvularia lunata)*. En el caso del (*Exserohilum turcicum),* es un hongo que produce manchas pequeñas, las cuales se transforman en zonas necróticas y alargadas, llevando a la planta a la muerte. El (*Puccinia sorghi),* es un hongo que produce puntos cloróticos en la superficie de la hoja, siendo más notable hacia la floración, provocando que las hojas enteras mueran si son afectadas severamente. Las manchas por (*Curvularia lunata),* provocan lesiones en la parte foliar de color marrón claro redondas a ovaladas (Herbario Virtual, 2019).

Otra de las enfermedades que atacan al cultivo de maíz, es la mancha de asfalto, la cual es provocada por (*Phyllachora maydis)* y (*Monographela maydis).* Primeramente, se producen unas manchas brillantes y ligeramente abultadas de color negro, posteriormente se desarrollan áreas necróticas en el tejido foliar, provocando quemadura completa del follaje y afectación de los granos de la mazorca (CIMMYT, 2004).

2.1.4 Necesidades hídricas del cultivo

Para lograr abastecer la cantidad de agua necesaria según la edad del cultivo, es necesario recurrir al coeficiente del cultivo (Kc) y un historial de precipitaciones de la zona. Este valor es utilizado para estimar la demanda hídrica y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Coeficiente del cultivo del maíz.

Etapa	Duración (días)	Kc
1	20	0.30
2	35	0.75
3	40	1.20
4	30	0.85

Nota. Adaptado de *Diseño de un sistema de riego por goteo para maíz y soya en Zamorano, Honduras* (p.16), por Abdi Eslí Gonzales Rivera, 2012, Bilblioteca Digital Wilson Popenoe (https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1082/1/T3356.pdf)

El cultivo requiere de precipitaciones mayores a 300 mm y menores de 1000 mm (Pardey et al, 2015), de no cumplirse esas condiciones, es necesario excavar pozos para suplir el agua necesaria o bien buscar alternativas para conducir agua hasta la casa de máquinas donde está ubicada la bomba.

2.1.5 Fertilización del cultivo

El maíz es una planta con capacidad de crecimiento rápido y alta producción que requiere cantidades considerables de nutrimentos (Deras, s.f.), en la siguiente tabla se muestran los elementos necesarios para el cultivo del maíz:

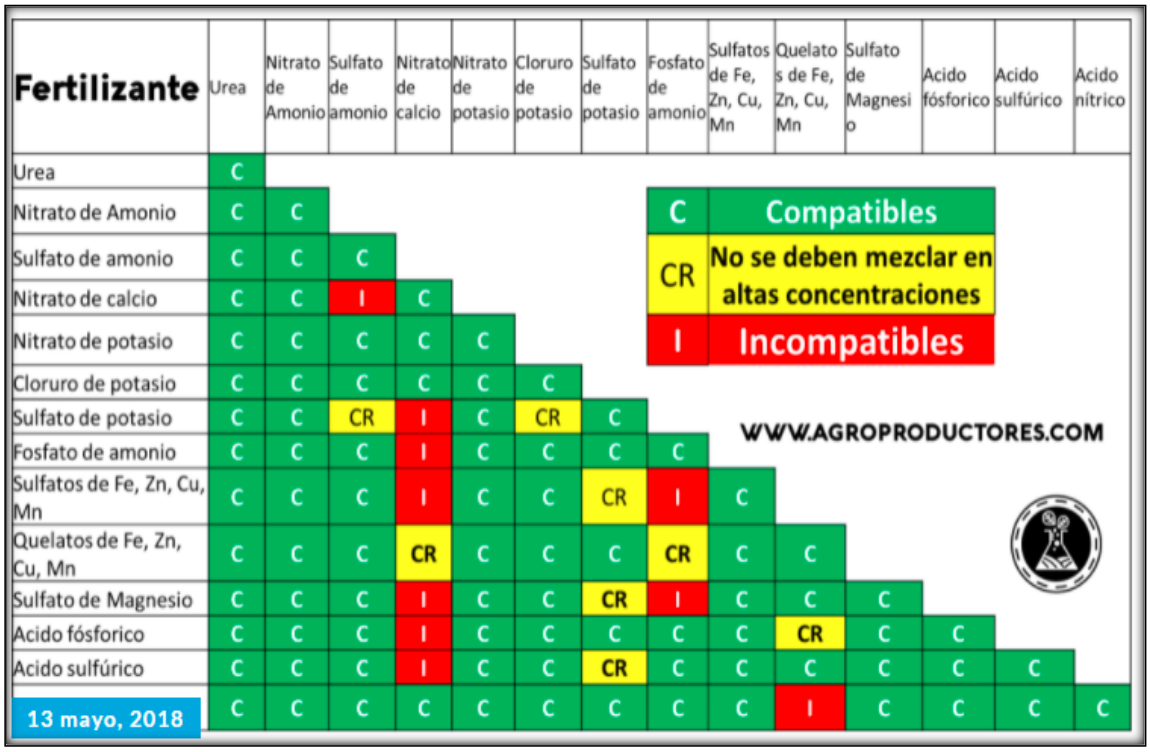
Tabla 2. Elementos nutritivos necesarios para el cultivo del maíz.

Elemento	(kg/ha)	Fuente asimilable	Factor de conversión	Cálculo	(kg/ha)
Nitrógeno (N)	187	N	1.00	187 x 1.00	187.00
Fósforo (P)	38	P2O5	2.29	38 x 2.29	87.02
Potasio (K)	192	K2O	1.20	192 x 1.20	230.40
Calcio (Ca)	38	CaO	1.40	38 x 1.40	53.20
Magnesio (Mg)	44	MgO	1.66	44 x 1.66	73.04
Azufre (S)	22	S	1.00	22 x 1.00	22.00

Nota. Adaptado de *Guía Técnica El Cultivo del Maíz (p.17)*, por Deras, H., s.f., obtenido de Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Para el caso de los fertilizantes que aportan los nutrientes necesarios, debe tomarse en cuenta que algunos de ellos no pueden mezclarse entre sí, debido a eso es necesario utilizar los tanques de premezcla necesarios para evitar precipitados en la mezcla. En la siguiente figura se muestra la compatibilidad entre las diferentes fuentes de fertilizantes para el fertirriego:

Figura 8. Compatibilidad de fertilizantes para fertirriego.

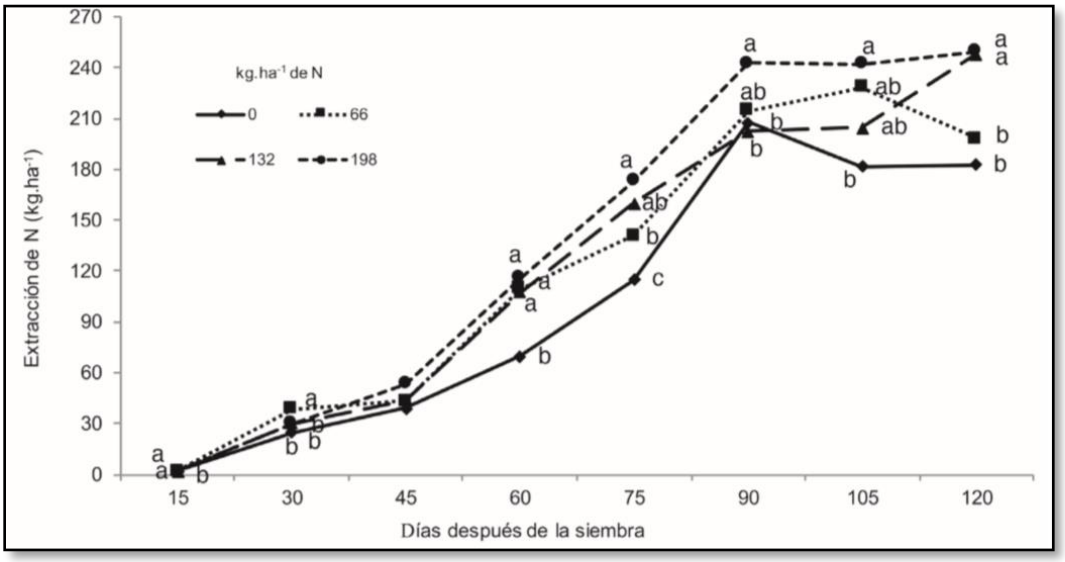


Nota. Tomado de Compatibilidad de fertilizantes, [Fotografía], por Agroproductores, 2018, Agroproductores (https://agroproductores.com/compatibilidad-de-fertilizantes/)

2.1.5.1 Curvas de extracción de nutrientes del maíz.

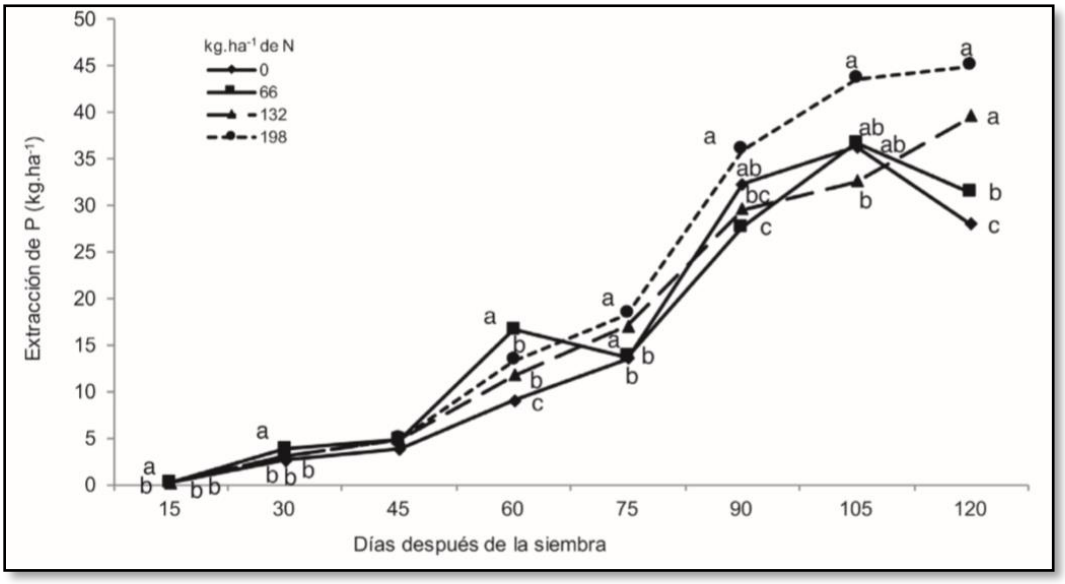
Las plantas no son capaces de aprovechar en un tracto las dosis completas de fertilizantes aplicadas, debido a eso es importante entender el comportamiento de extracción de los nutrientes para fraccionar la dosis de fertilizantes, con el fin de identificar en cuales etapas del cultivo se da una mayor o menor absorción. Existen gráficos de curvas de extracción que permiten tomar decisiones en el plan de fertilización del cultivo, en este caso en fertirriego. En las siguientes figuras se muestran las curvas de extracción con diferentes dosis de cada elemento con dosis creciente de Nitrógeno:

Figura 9. Curvas de extracción total de Nitrógeno (N).



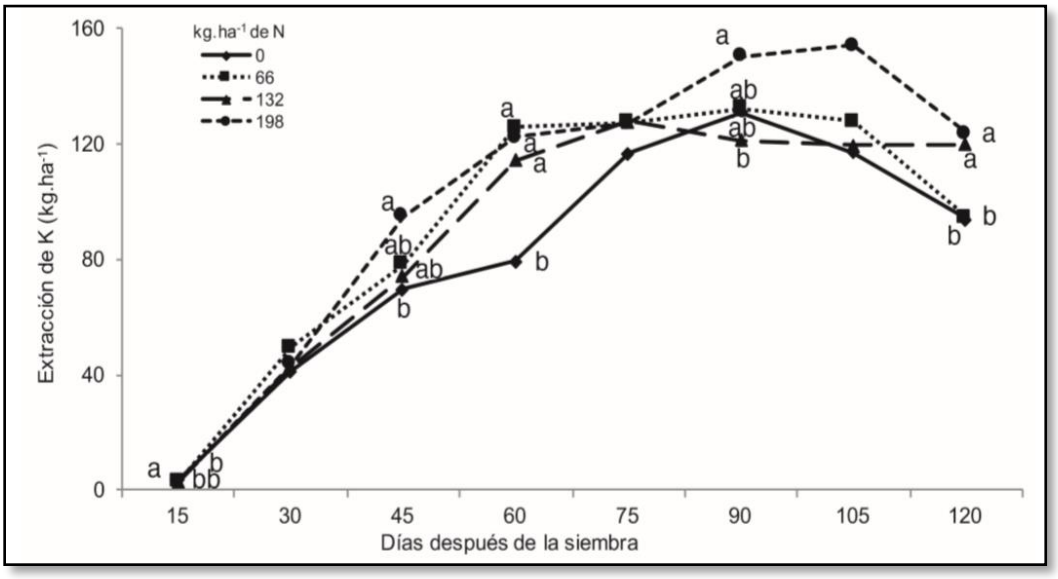
Nota. Tomado de Absorción de Macronutrientes y Eficiencia del N, en Híbrido Promisorio de Maíz. (p.108), por Remache et al, 2017, Agronomía Costarricense 41(2).

Figura 10. Curva de extracción total de Fósforo (P).



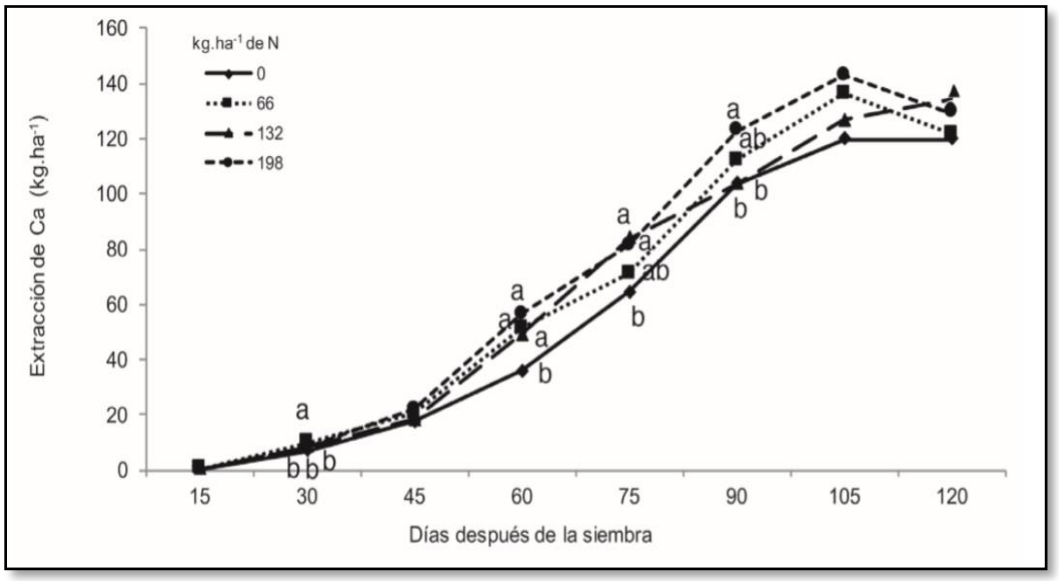
Nota. Tomado de Absorción de Macronutrientes y Eficiencia del N, en Híbrido Promisorio de Maíz. (p.109), por Remache et al, 2017, Agronomía Costarricense 41(2).

Figura 11. Curvas de extracción total de Potasio (K).



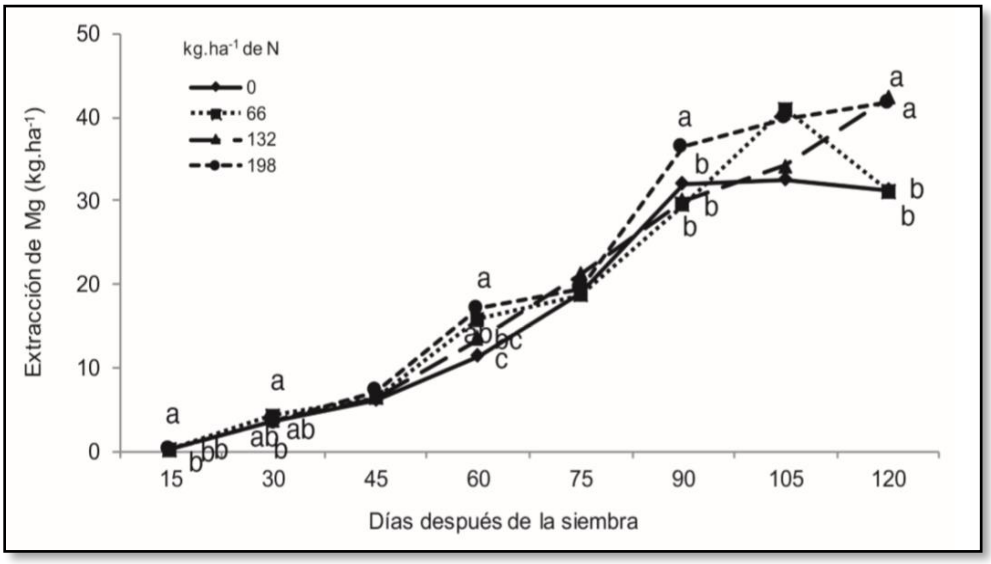
Nota. Tomado de Absorción de Macronutrientes y Eficiencia del N, en Híbrido Promisorio de Maíz. (p.110), por Remache et al, 2017, Agronomía Costarricense 41(2).

Figura 12. Curva de extracción total de Calcio (Ca).



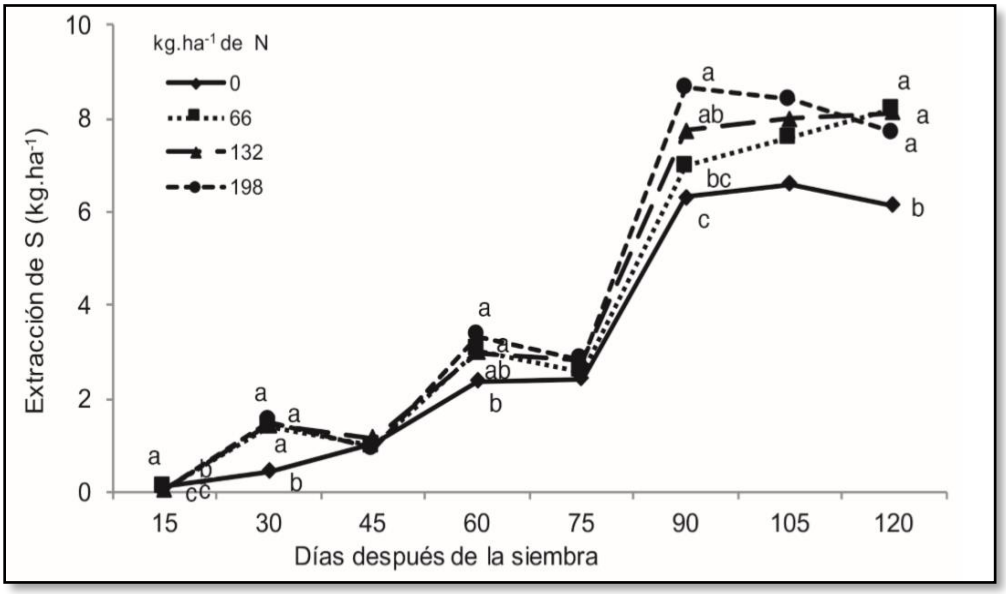
Nota. Tomado de Absorción de Macronutrientes y Eficiencia del N, en Híbrido Promisorio de Maíz. (p.111), por Remache et al, 2017, Agronomía Costarricense 41(2).

Figura 13. Curva de extracción total de Magnesio (Mg).



Nota. Tomado de Absorción de Macronutrientes y Eficiencia del N, en Híbrido Promisorio de Maíz. (p.111), por Remache et al, 2017, Agronomía Costarricense 41(2).

Figura 14. Curva de extracción total de Azufre (S).



Nota. Tomado de Absorción de Macronutrientes y Eficiencia del N, en Híbrido Promisorio de Maíz. (p.111), por Remache et al, 2017, Agronomía Costarricense 41(2).

Estas curvas de extracción, se utilizaron como referencia para la dosificación fraccionada de la fertilización en el ciclo del cultivo, con el fin de evitar un exceso o deficiencia, logrando optimizar la energía utilizada por los agitadores, la bomba y la inyección de la dosis al sistema de riego, trabajando solo por el tiempo necesario.

2.2 Tipos de sistemas de riego

Para cumplir con las necesidades hídricas del cultivo, es necesario contar con al menos un sistema de riego, como el riego por gravedad, riego por aspersión y el riego por goteo. Para el caso del sistema de riego por gravedad, estos deben utilizarse en terrenos nivelados y tener un control de plagas óptimo, debido a que se humedece la totalidad del lote. Aunque su simplicidad y economía sean los mejores, se utiliza grandes cantidades de agua en comparación de sistemas de riego presurizado. En la siguiente figura se muestra un terreno con riego por gravedad:

Figura 15. Riego por gravedad.

Nota. Tomado de Diseño de un sistema automatizado de riego por goteo para aumentar la producción de maíz en la Hacienda Durand, (p. 22), por Chang, L, 2020, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú.

Entre los sistemas de riego presurizado, se cuenta con los sistemas de aspersión, los cuales utilizan aspersores simulando la lluvia, entre sus ventajas están la adaptabilidad a diferentes topografías, permiten ser automatizados y son capaces de cubrir grandes extensiones de terreno, aunque se requiere una inversión elevada y no se recomienda para lugares con vientos mayores a 15 km/h. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de riego por aspersión:

Figura 16. Riego por aspersión.

Nota. Tomado de Diseño de un sistema automatizado de riego por goteo para aumentar la producción de maíz en la Hacienda Durand, (p. 23), por Chang, L, 2020, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú.

En el caso del sistema de riego por goteo, el cual consiste en utilizar tuberías de polietileno con goteros para transportar agua y fertilizantes, tiene como ventajas la reducción de aparición de malezas y enfermedades, el mantener la humedad del suelo de forma continua y con caudales

menores a los sistemas de riego antes mencionados, aumentando la eficiencia en el riego. Sus desventajas son la obstrucción de los goteros en caso de no filtrar bien el agua, así como el alto costo de inversión inicial. En la siguiente figura se muestra la forma en que se irriga con goteo:

Figura 17. Riego por goteo.

Nota. Tomado de Diseño de un sistema automatizado de riego por goteo para aumentar la producción de maíz en la Hacienda Durand, (p. 24), por Chang, L, 2020, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú.

2.2.1 Sistemas de riego por goteo

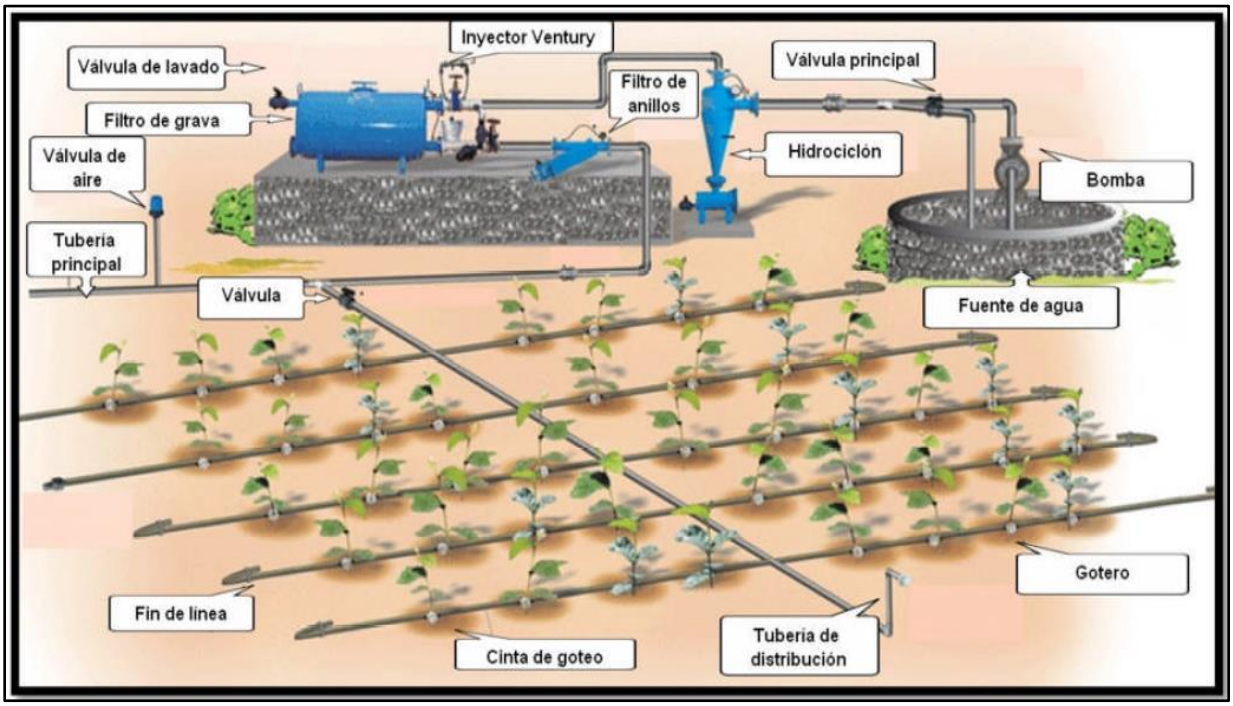
Son sistemas que aplican un riego no mayor a 16 L/h por gotero o metro lineal de manguera de goteo (Rodrigo, Hernández, Pérez, & González, 1992) citado por (Gamboa, 2013), humedeciendo únicamente el área deseada y optimizando el agua disponible.

A estos sistemas también se les denomina de alta frecuencia, lo permitiendo regar desde una a dos veces por día, dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del cultivo. La posibilidad de efectuar riegos de forma frecuente, permite reducir el peligro de estrés hídrico en la planta, ya que es posible mantener la humedad del suelo a niveles óptimos durante todo el periodo de cultivo, mejorando las condiciones para su desarrollo. (Carpio, 2017)

Entre los principales beneficios que brinda este tipo de sistemas, es el ahorro en el consumo del agua, aplicación de agroquímicos que van directamente a la raíz de la planta, bajas presiones de operación del sistema y reducción de enfermedades fungosas en las partes áreas de la planta. Pero no todo son ventajas, debido a que la inversión inicial es alta, así como su costo de operación, además de que se pueden dar obstrucciones de los goteros si no se les da el debido mantenimiento y que las tuberías al estar expuestas pueden ser dañadas por roedores (Gamboa, 2013).

Para que el sistema funcione en óptimas condiciones, deben contar con una bomba centrífuga que está compuesta por un distribuidor, un impulsor, corona directriz, cuerpo de la bomba y el cono, aunque también se usan bombas tipo jet sumergibles. El sistema también debe contar con un equipo de filtrado como es el caso de los decantadores, el hidrociclón, filtros de arena y filtros de anillos. En los equipos de inyección de fertilizante están los tanques de fertilización, inyectores Venturi, dosificadores eléctricos y los dosificadores hidráulicos (Gamboa, 2013). En la siguiente figura se muestran los componentes del sistema antes mencionados:

Figura 18. Componentes del sistema de riego por goteo y fertirriego.



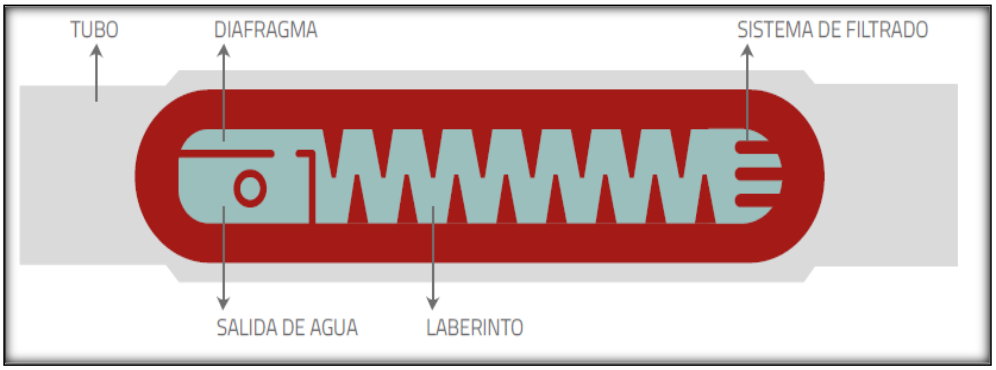
Nota. Tomado de Diseño de un sistema de riego por goteo autocompensado para los semilleros de caña de azúcar, finca Santa Marta, COOPEAGRI R.L. (p. 58), por Gamboa, A, 2013, Licenciatura en Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Para proteger el sistema de riego, este debe contar con válvulas y mecanismos de seguridad como las válvulas de compuerta, válvulas de bola, reguladores de presión, válvulas de sobrepresión o alivio, válvulas de retención y válvulas para evacuar el aire. Para colocar el agua en la zona radicular existen varios tipos de goteros que están en las cintas de goteo, tal es el caso de goteros de vortex, goteros autocompensados y los goteros de laberinto (Gamboa, 2013). Se muestran 3 imágenes de los goteros antes mencionados:

Figura 19. Goteros de vortex.

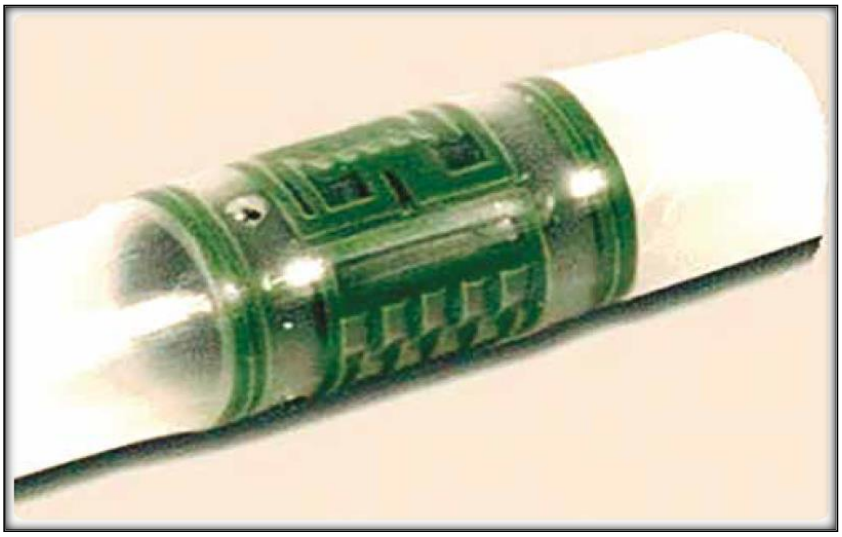
Nota. Tomado de Manual de Capacitación: Riego por Goteo [Fotografía], por Liotta, M. et al. 2015, INTA (https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf)

Figura 20. Goteros autocompensados.



Nota. Tomado de Manual de Capacitación: Riego por Goteo [Fotografía], por Liotta, M. et al. 2015, INTA (https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf)

Figura 21. Gotero de Laberinto.



Nota. Tomado de Manual de Capacitación: Riego por Goteo [Fotografía], por Liotta, M. et al. 2015, INTA (https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf)

2.3 Diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por goteo

2.3.1 Porcentaje del suelo humedecido (PAR) (es parte del agronómico)

En los sistemas de riego por goteo no se humedece el 100% del área sino un porcentaje menor y se han obtenido buenos resultados aplicando riego al 50% del área de las raíces, tal es el caso de los cultivos con espaciamiento corto y en cultivos donde se aplica el riego como un complemento, se puede aceptar hasta un 20% de PAR (Gamboa, 2013). En la siguiente figura se muestra cómo se selecciona el PAR:

Figura 22. Cálculo del PAR.

Espaciamiento entre laterales (m)	Descarga del gotero (lts/h)														
	Menos 1.5			2			4			8			Más de 10		
	Textura														
	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina
	Espaciamiento entre goteros (m)														
	0.2	0.5	0.9	0.3	0.7	1	0.6	1	1.3	1	1.3	1.7	1.3	1.6	2
	Porcentaje de área bajo riego (%)														
0.8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1.2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
1.5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2.5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3.5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	43	57	46	57	68
4	8	18	28	10	20	20	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4.5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6	5	12	20	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

Nota. Tomado de Diseño de un sistema de riego por goteo autocompensado para los semilleros de caña de azúcar, finca Santa Marta, COOPEAGRI R.L. (p. 56), por Gamboa, A, 2013, Licenciatura en Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Además, de otros cálculos pertinentes para el diseño agronómico y diseño hidráulico que se detallan en el marco metodológico, según el trabajo realizado por (Mora, 2016), la lista de cálculos se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. Lista de cálculos para diseño agronómico

Diseño agronómico	Ecuación
Lámina neta	1
Lámina bruta	2
Evapotranspiración	3
Frecuencia de riego	4
Tiempo de riego	5
Número máximo de divisiones por área	6
Área de cada unidad	7
Caudal del sistema	8
Longitud del lateral	9 y 10

Nota: Adaptado de Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo subterraneo para una parcela experimental de caña de azúcar de 6 hectáreas en el Ingenio Taboga, Bebedero, Cañas, Guanacaste. Cañas., (p.22), por Mora, O., 2016, Tecnológico de Costa Rica.

Tabla 4.Lista de cálculos para diseño hidráulico.

Diseño hidráulico	Ecuación
Caudal del lateral	11
Número de laterales	12
Longitud de la múltiple	13
Pérdidas admisibles	14
Cálculo de pérdidas por fricción	15
Presión de entrada del lateral	16
Presión en la válvula	17
Carga dinámica total para la bomba	18
Potencia de la bomba	19
Velocidades en tuberías	20

Nota: Adaptado de *Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo subterraneo para una parcela experimental de caña de azúcar de 6 hectáreas en el Ingenio Taboga, Bebedero, Cañas, Guanacaste.* Cañas., (p.25), por Mora, O., 2016, Tecnológico de Costa Rica.

2.4 Sistema de automatización

Debido a la escasa mano de obra en la zona y para evitar errores en las formulaciones de los fertilizantes, es necesario aplicar tecnologías de automatización para lograr el objetivo deseado al momento de aplicar la dosis de nutrientes recomendada para el cultivo. Están conformados por varios elementos e instrumentos que permiten que las operaciones se realicen sin la intervención del ser humano.

2.4.1 Programador lógico programable

Los PLC o Programmable Logic Controller, son dispositivos electrónicos que se programan para que ejecuten ciertas tareas necesarias del proceso. Estos equipos cuentan con entradas y salidas digitales, así como en ocasiones analógicas (Utrillas, 2018).

Para realizar la programación de se debe tomar en cuenta que existen 4 lenguajes de programación, entre los cuales están los de nivel de sintaxis y semántica, agrupándose en dos clases: textuales y gráficos.

En la clase textual se realiza la programación a través de dos formas: lista de instrucciones y texto estructurado, en el caso de la clase de los gráficos se tienen los diagramas de Ladder y diagrama de bloques funcionales (Antúnez, 2016). En la siguiente figura se muestra el PLC modelo Logo 8:

Figura 23. Controlador Lógico programable (PLC) Logo 8 de Siemens.

Nota. Tomado de *Logo! 8 : A Practical Introduction, with Circuit Solutions and Example Programs.* (p. 16), por Kruse, S, 2016, Publicis MCD Werbeagentur GmbH.

2.4.2 Sensores de humedad

Son utilizados para controlar mejor el riego, con el fin de enviar una señal al controlador para mantener encendida la bomba o apagarla según la programación realizada. Entre los sensores existentes para medir la humedad están los de lluvia y humedad del suelo (López, 2018).

Figura 24. Sensor de humedad del suelo SM 100.

Nota. Tomado de *Análisis y Modelado de Sensores de Reflectometría en Frecuencia para medida de agua en el suelo* (p. 28), por González, J, 2017, Universidad Politécnica de Cartagena.

2.4.3 Sistemas de transmisión inalámbrica

Son equipos que realizan transmisión de señales y datos utilizando antenas, los cuales son parte del sistema de automatización, entre los cuales está el Wifi, GPRS, Bluetooth, radiofrecuencia y los sistemas Zigbee (Mora, 2018). Estos sistemas son capaces de enviar los datos desde el controlador hacia los actuadores, los cuales permitirán realizar una acción en específico, según la programación realizada. En los sistemas de riego automatizados, las válvulas solenoides o

electroválvulas pueden accionarse por medio de la tecnología inalámbrica, logrando el paso del agua que será utilizada para regar el cultivo.

Figura 25. Terminal inteligente Zigbee.

Nota. Adaptado de *Manual para la aplicación de la tecnología zigbee para edificios inteligentes en la Ciudad de Cuenca.* (p. 28), Loyola y Becerra, 2015, Universidad Politécnica Salesiana.

2.4.4 Válvulas solenoides

Para lograr controlar el pase o el cierre de la conducción del agua en el sistema de riego, se debe contar con válvulas solenoides, las cuales son accionadas eléctricamente, es una válvula que se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte, además es abierta por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente o viceversa. Esta válvula puede estar completamente abierta o cerrada, se usa para controlar el flujo de agua o agua con fertilizantes, considerando las presiones y temperaturas

involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales de la válvula (Canqueri, 2019).

Figura 26. Válvulas solenoides Hunter ICV.

Nota. Adaptado de *Diseño de un sistema de riego por aspersión automatizado y controlado para el centro poblado de Huitaca Sencca* (p. 31), Canqueri, 2019, Universidad Nacional del Altiplano-Puno.

2.5 Análisis financiero

Para determinar si el proyecto es factible, es necesarios tomaren cuenta el VAN, TIR, CB y PRD, para lo cual se analizará si los anteriores indicadores financieros cumplen con las expectativas mínimas.

2.5.1 Inversión inicial (Io)

Puede definirse como la inmovilización de recursos a cambio de recuperarlos en un tiempo adecuado (Fernández et al, 2010). Dentro de estos rubros se encuentran los edificios, maquinaria, equipos especializados, vehículos, propiedades, entre otros.

2.5.2 Costos

Los costos son todos aquellos relacionados directamente con la fabricación del producto o venta del servicio, los cuales dependen del volumen de la producción (Fernández et al, 2010). Entre ellos se encuentra la electricidad, el agua, comisiones, combustibles, empaques, materia prima, entre otros.

2.5.3 Gastos

Comprenden todos los gastos del periodo contable, como los impuestos sobre la renta, estado de pérdidas y ganancia (Fernández et al, 2010). También están los alquileres, mano de obra, marchamos de vehículos, patentes y permisos municipales, seguridad, entre otros.

2.5.4 Ingresos

Este valor se percibe por venta de bienes o servicios, así como los intereses que la compañía ha percibido en el periodo contable (Fernández et al, 2010). En este apartado, no debe tomarse en cuenta el impuesto del valor agregado (IVA), porque debe entregarse al Ministerio de Hacienda.

2.5.5 Utilidad

Es el beneficio que se asocia con el ingreso de la actividad, considerando que en algunas empresas se tienen mayores ganancias que en otras, así como existen empresas que solo producen pérdidas (Fernández et al, 2010).

2.5.6 Valor actual neto (VAN)

Se define como la sumatoria de los flujos de efectivo netos descontados a valor presente al costo de capital de la empresa o del proyecto. Esta es conocida como tasa de descuento, la cual es

la rentabilidad mínima aceptable y en caso de estar por debajo, los proyectos no deben aceptarse (Solé, 2011). Debe dar un valor mayor o igual a cero.

2.6.7 Tasa interna de retorno (TIR)

Esta técnica matemática que se derivada del VAN, evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento, mediante la cual la totalidad de los flujos de caja netos tanto positivos como negativos y actualizados a valor presente son iguales a la inversión inicial (Solé, 2011).

2.5.8 Costo beneficio (CB)

La razón costo beneficio o índice de rentabilidad, se define como el valor presente de los flujos de efectivo dividido entre la inversión inicial. El criterio de aceptación está relacionado con que, si el consciente arroja valores mayores a 1 se debería aceptar el proyecto y en caso contrario rechazarlo (Ross, Westerfield y Jordan, 2005) citado por (Blanco y Herrera, 2017).

2.5.9 Periodo de recuperación descontado (PRD)

Este indicador financiero comúnmente conocido como discounted payback, muestra el número de periodos que tomará el proyecto para recuperar la inversión inicial, considerando el valor del dinero en el tiempo o bien el pago de intereses (González, 2001).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Levantamiento topográfico y curvas de nivel

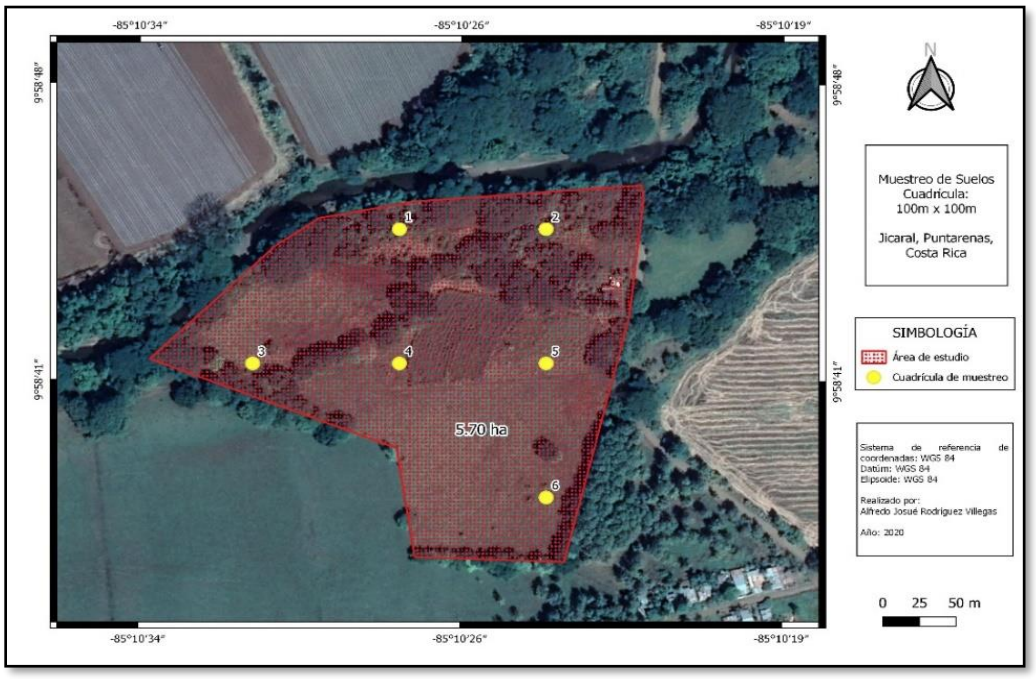
Se realizó el levantamiento topográfico con equipo de sistema global de navegación por satélite (GNSS) el cual también tiene incorporado un sistema de navegación cinética satelital en tiempo real (RTK) con una precisión vertical de 0.01m y horizontal de 0.02m, siendo necesarios para obtener información precisa para generar las curvas de nivel que se emplearon en el diseño, seguidamente se colocaron 3 puntos de control en caso de requerir otra medición a futuro. Las curvas de nivel se generaron cada 0.20m, las cuales se muestran en la siguiente figura:

Figura 27. Plano de curvas de nivel del área de diseño.

3.2 Muestreo de suelos y envío de las muestras al laboratorio

Para el muestreo de suelos se utilizó un barreno y un GNSS para georreferenciar las muestras en el área de 5.70 ha, utilizando como método de muestreo una cuadrícula equidistante de 100m x 100m, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 28. Mapa de cuadrícula para muestreo de suelos.



Se tomaron muestras compuestas a una profundidad de 0.20m, en los casos de presencia de vegetación, se limpió el área donde se tomaron las muestras para evitar la contaminación, luego se homogenizó bien el suelo recogido y se obtuvo una muestra compuesta entre 0,5 – 1 kg. Cada muestra compuesta se transfirió a una bolsa plástica limpia, con el cuidado de no contaminar ni mezclar muestras diferentes. Se cerraron bien las bolsas, se identificaron con etiqueta o marcador permanente y se colocaron en otra bolsa plástica cerrada (Schweizer, 2011). En la siguiente tabla se muestra cómo debe etiquetarse cada muestra de suelo:

Tabla 5. Etiqueta para identificación de muestras de suelo.

Datos para identificación de la muestra	
Fecha de toma de muestra	
Profundidad (cm)	
Nombre propietario	
Código de la muestra	
Procedencia: provincia/cantón/distrito	
Cultivo sembrado	
Cultivo por sembrar	
Análisis requeridos	

Nota: Adaptado de *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad*., (p.16), por Schweizer,S., 2011, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Obtenido de http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf

En el laboratorio de suelos se podrá determinar la textura del suelo, conductividad hidráulica, análisis químico, capacidad de campo (CC), punto de marchites permanente (PMP) entre otros. Con esta información se realizarán los mapas para determinar la variación existente en el suelo.

3.3 Sistema de riego por goteo y fertirriego

3.3.1 Diseño agronómico

Para el diseño, debe conocerse las condiciones idóneas del cultivo, como el agua necesaria en cada etapa después de la siembra, la evapotranspiración y el suelo que será el soporte. Según el trabajo realizado por (Mora, 2016), las fórmulas para el diseño agronómico son las siguientes:

Lámina neta

$$\boldsymbol{L}n = \frac{CC - PMP}{100} * Pe * Prof * Ag * Par \ldots Ecuación\ (1)$$

Donde:
Ln: Lamina neta [m].
Cc: Capacidad de campo [%].
PMP: Punto de marchitez permanente [%].
Pe: Peso específico del suelo [g/cm^3].
Prof: Profundidad radicular [m].
Ag: Agotamiento permitido para el cultivo [decimal].
Par: Porcentaje de área humedecido [decimal].

Lámina bruta

$$Lb = \frac{Ln}{Cu * Tr} \ldots Ecuación\ (2)$$

Donde:
Lb: Lamina bruta [mm]
Ln: Lámina neta [mm]
Cu: Coeficiente de uniformidad [adimensional]
Tr: Relación de transpiración [adimensional]

Evapotranspiración

$$Etr = Eto * Kc \ldots Ecuación\ (3)$$

Donde:
Etr: Evapotranspiración real [mm/día].
Eto: Evapotranspiración potencial [mm/día].
Kc: Coeficiente del cultivo [adimensional]

Frecuencia de riego

$$Fr = \frac{Ln}{Etr} \ldots Ecuación\ (4)$$

Donde:

Fr: Frecuencia de riego [días].
Ln: Lamina neta [mm].
Etr: Evapotranspiración real [mm/h].

Tiempo de riego

$$T_r = \frac{Ln * Ea * El}{q_{got}} \dots Ecuación\ (5)$$

Donde:

Tr.: Tiempo de riego [h]
Ln: Lámina neta [mm]
E_a: Espaciamiento entre aspersores [m]
E_l: Espaciamientos entre laterales [m]
q_{got}: Caudal del gotero [l/h]

Número máximo de divisiones por área

$$N = \frac{(Cr * Hr\ efectivas\ de\ riego)}{Tr} \dots Ecuación\ (6)$$

Donde:

N: Número máximo de divisiones por área [unidades]
Cr: Ciclo de riego [días]
Hr: Horas efectivas para regar diarias [h]
Tr: Tiempo de riego [h]

Área de cada unidad

$$A_u = \frac{A_t}{N} \dots Ecuación\ (7)$$

Donde:

Au: Área de cada unidad [m^2]
At: Área total [m^2]
N: Número máximo de divisiones [unidades]

Caudal del sistema

$$Q_{sist.} = \frac{A_t * L_b * 10}{N * Tr} \dots Ecuación\ (8)$$

Donde:

$Q_{sist.}$: Caudal del sistema [m^3/h]
At: Área total [m^2]
Lb: Lamina bruta [mm]
N: Número máximo de divisiones [unidades]
Tr: Tiempo de riego [h]

Longitud del lateral

$$N° \ de \ goteros = \frac{L_t}{Esp. entre \ goteros} \dots Ecuación\ (9)$$

$$L_{LAT.} = Esp. entre \ goteros(n - 1) \dots Ecuación\ (10)$$

Donde:

N° de goteros: Numero de goteros [unidades]
L_t: Longitud del terreno [m]
$L_{lat.}$: Longitud del lateral [m]
n: Número de espacios [unidades]

3.3.2 Diseño hidráulico

Se realizaron los cálculos pertinentes para el diseño, según el trabajo realizado por (Mora, 2016), luego de eso se procedió con la selección de los materiales necesarios.

Se utilizaron las siguientes fórmulas:

Caudal del lateral

$$Q_{LAT} = Q_{GOT.} * N° \ goteros \ \ldots Ecuación \ (11)$$

Donde:

$Q_{lat.}$: Caudal del lateral [l/h]
$Q_{got.}$: Caudal del gotero [l/h]
N° goteros: Número de goteros [unidades]
Número de laterales

$$N° \ laterales = \frac{L}{S_R} \ldots Ecuación \ (12)$$

Donde:

N° de laterales: Número de laterales [unidades]
L: Longitud de la unidad [m]
S_R: Espaciamiento entre laterales [m]

Longitud de la múltiple.

$$L_{multiple} = N_{Esp.} * S_{R.} \ldots Ecuación \ (13)$$

Donde:

$L_{multiple}$: Longitud de la múltiple [m]
N_{Esp}: Numero de espacios [unidades]
S_R: Espaciamiento entre laterales [m]

Pérdidas admisibles

$$Pad = 0{,}2 * Po \pm \Delta Z \ldots Ecuación \ (14)$$

Donde:

P_{ad}: Perdidas admisibles [m.c.a]
P_o: Presión de operación del gotero [m.c.a]
ΔZ: Diferencia de altura [m]

Cálculo de pérdidas por fricción, mediante la fórmula de Hazen Williams

$$Hf = 1{,}131 * 10^9 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1{,}852} * D^{-4{,}872} * L * F \ldots Ecuación\ (15)$$

Donde:

Hf: Perdidas por fricción en la tubería [m.c.a]
Q: Caudal en el lateral [m^3/h]
C: Coeficiente que depende del material [adimensional]
D: Diámetro interno de la tubería [mm]
L: Longitud del lateral [m]
F: Factor de corrección por número de salidas [adimensional]

Presión de entrada del lateral

$$P_e = P_o + 0{,}77\ Hf_{Lat.} \pm 0{,}23\Delta z \ldots Ecuación\ (16)$$

Donde:

P_e = Presión en la entrada del lateral [m.c.a]
P_o = Presión de operación [m.c.a]
$Hf_{Lat.}$= Pérdidas en el lateral [m]
Δz = Diferencia de altura [m]

Presión en la válvula

$$P_v = P_e + 0{,}77\ Hf_{Mult.} \pm 0{,}23\Delta z \ldots Ecuación\ (17)$$

Donde:

P_v = Presión en la válvula [m.c.a]
P_e = Presión en la entrada del lateral [m.c.a]
Δz = Diferencia de altura entre [m]

Carga dinámica total para la bomba

$$CDT = P_v + Hf_{P.} + 0{,}05 * Hf + \Delta Z \ldots Ecuación\ (18)$$

Donde:

CDT: Carga dinámica de la bomba [m.c.a]
P_v: Presión en la válvula [m.c.a]
$Hf_{P.}$: Pérdidas en la tubería principal [m.c.a]

Hf: Pérdidas primarias [m.c.a]
ΔZ: Diferencia de altura [m]

Potencia de la bomba

$$hp = \frac{Q_{sist.} * CDT}{270 * Ef} \dots Ecuación\ (19)$$

Donde:
CDT: Carga dinámica de la bomba [m.c.a]
$Q_{sist.}$: Caudal del sistema [m^3/h]
Ef: Eficiencia de operación de la bomba [%]

Velocidades en tuberías

$$Q = V * A \dots Ecuación\ (20)$$

Donde:
Q: Caudal en la tubería [m^3/s].
A: Área de la sección transversal de la tubería [m^2].
V: Velocidad del flujo en la tubería [m/s].

3.3.3 Fuente del agua y aforo

Para llevar a cabo cualquier proyecto agrícola, debe contarse con agua para el riego, por lo cual se contemplaron las diferentes fuentes cercanas al proyecto, en el caso de contar solo con pozo, debe aforarse de la siguiente manera:

Se bombea agua a bajo caudal constante hasta que el nivel del agua se estabilice, luego se bombea con caudal constante mayor que el caudal que da el pozo, provocando que el nivel del agua descienda, se procede a medir el caudal de bombeo en L/s y la duración del bombeo (Casas, 2014). Luego de detener la bomba, se mide el tiempo que dura el pozo en recuperar el nivel estable. Con la siguiente ecuación se puede determinar el agua que mana del pozo:

$$Cm = \frac{Cb \times tb}{tb+tr} \ldots \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

Cm= caudal que mana del pozo [L/s]
Cb= Caudal de bombeo [L/s]
tb= tiempo de bombeo [min]
tr= tiempo de recuperación [min]

(Casas, 2014)

3.3.4 Calculo de las necesidades de fertilizantes para el cultivo

Considerando que algunos fertilizantes aportan el mismo elemento y otros solo uno de ellos, además de las compatibilidades mostradas en la *Figura 8*, se realizó el cálculo necesario para aportar lo requerido para el cultivo. En la siguiente tabla se muestran los precálculos de los fertilizantes seleccionados para fertirriego en kg/ha:

Tabla 6. Precálculo de fertilizantes en kg/ha

Tanque	Fertilizante utilizado	Cálculo	Dosis (kg/ha)
A	Urea (46% N)	(187 kg/ha) / 46%	369.56
	Fosfato monoamónico (61% P2O5)	(87.02 kg/ha) / 61%	142.66
	Fosfato monoamónico (12%N)	(87.02 kg/ha) x 12%	10.44
	Cloruro de potasio (60% K2O)	(230.40 kg/ha) / 60%	384.00
	Sulfato de potasio (17% S)	(22 kg/ha) / 17%	129.41
	Sulfato de potasio (50% K2O)	(22 kg/ha) x 50%	11.00
B	Nitrato de calcio (26% CaO)	(53.20 kg/ha) / 26%	204.61
	Nitrato de calcio (15.5% N)	(53.20 kg/ha) x 15.5%	8.25
	Nitrato de magnesio (16% MgO)	(73.04 kg/ha) / 16%	456.50
	Nitrato de magnesio (11% N)	(73.04 kg/ha) x 11%	8.03

En el caso del Nitrógeno (N), los fertilizantes que aportan son la urea con un 46%, el fosfato monoamónico con un 12 % de N y un 61% de P2O5, el nitrato de calcio con 15.5 % de N y un 26 de CaO, y el nitrato de magnesio con 11% de N y 16% de MgO. Al tratarse de fertilizantes con ambos elementos a excepción de la urea, es necesario hacer un recálculo para equilibrar la dosis total de kg/ha de N y aportar lo indicado en la *Tabla 4.*

En la *Tabla 6* también se aprecia que se tomaron 2 fertilizantes como el cloruro de potasio con 60% de K2O y el sulfato de potasio con 50% de K2O y 17% de S, aportando más K2O/ha de lo necesario considerando la *Tabla 4*.

Para el recálculo de cada fertilizante, se restó a cada fertilizante compuesto el excedente de N o K2O, para lograr una aplicación considerando los requerimientos necesarios del cultivo. La disminución de N se le realizó al fertilizante urea y en el caso del K2O se le disminuyó al fertilizante cloruro de potasio. En la siguiente tabla se muestra el recálculo de realizado:

Tabla 7. Recálculo de dosis de fertilizantes en kg/ha

Tanque	Fertilizante utilizado	Dosis (kg/ha)
A	Urea (46% N)	307.47
	Fosfato monoamónico (61% P2O5 12%N)	142.66
	Cloruro de potasio (60% K2O)	319.29
	Sulfato de potasio (17%S 50% K2O)	129.41
B	Nitrato de calcio (26% CaO 15.5% N)	204.62
	Nitrato de magnesio (16% MgO 11%N)	456.50

3.3.5 Diseño de fertirriego

Considerando las curvas de extracción de nutrientes de N, P, K, Ca, Mg y S, se realizó una tabla para fraccionar los fertilizantes anteriormente calculados, segregándolos en tractos de 15 días y

previos a los 75 días después de siembra, para evitar la maduración total del grano y comercializarlo para consumo humano. En la siguiente tabla se muestran los fraccionamientos de los nutrientes:

Tabla 8. Fraccionamiento de fertilizantes con base en curvas de extracción de nutrientes

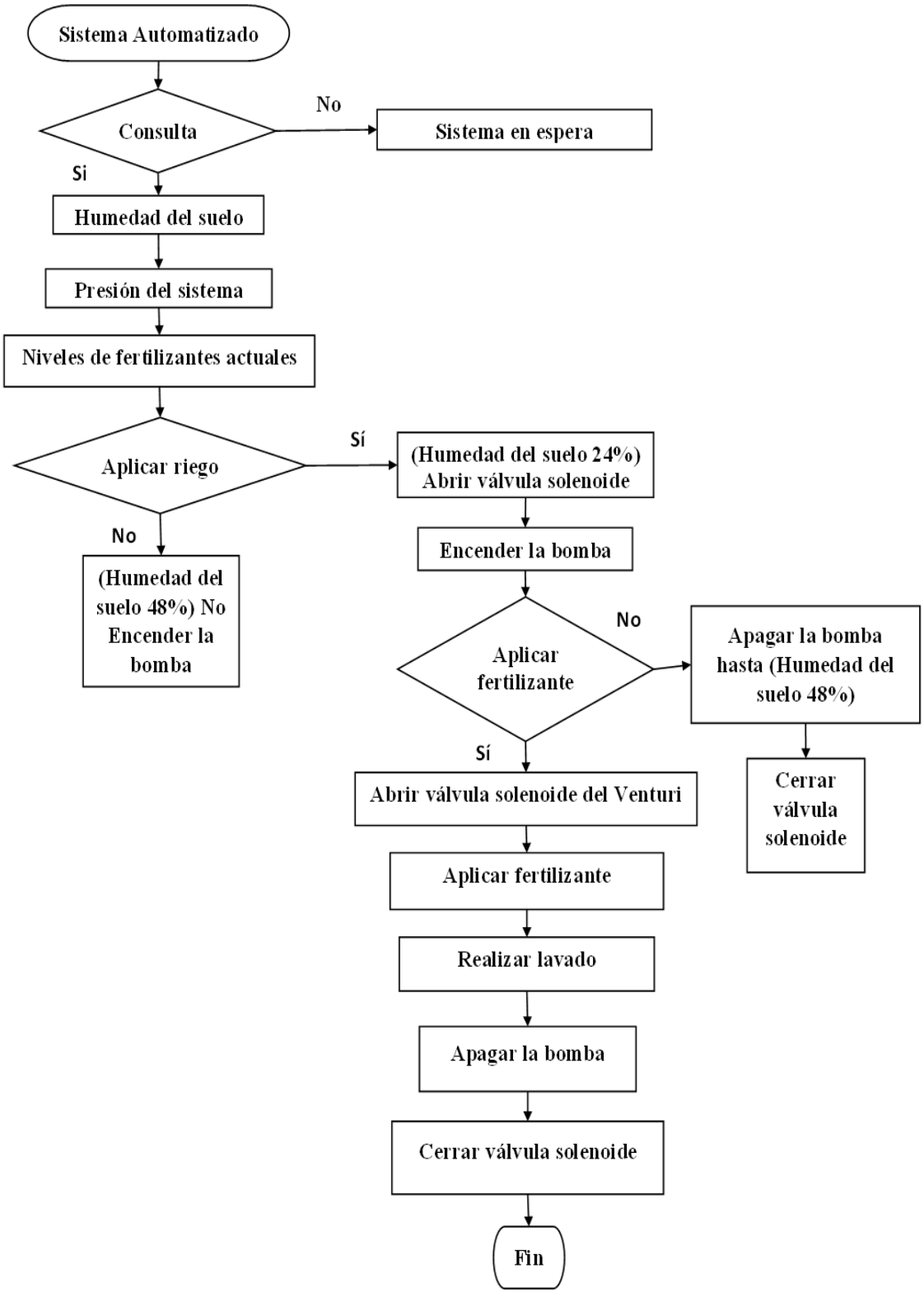
			Días después de siembra (DDS)					
Tanque	Fertilizante utilizado	Unidad	15 DDS	30 DDS	45 DDS	60 DDS	75 DDS	TOTAL
A	Urea (46% N)	kg	0	28	35	97	148	307.47
	Fosfato monoamónico (61% P2O5 12%N)	kg	0	16	20	40	67	142.66
	Cloruro de potasio (60% K2O)	kg	0	27	77	103	112	319.29
	Sulfato de potasio (17%S 50% K2O)	kg	0	30	15	46	38	129.41
B	Nitrato de calcio (26% CaO 15.5% N)	kg	0	13	26	64	102	204.62
	Nitrato de magnesio (16% MgO 11%N)	kg	0	51	81	122	203	456.50

Para la inyección de los fertilizantes, se seleccionó el inyector Venturi según la presión de trabajo del sistema actual y el tiempo de riego, el sistema tendrá un tanque A y un tanque B, donde se colocarán los fertilizantes compatibles entre sí, tal como se muestra en la *Tabla 8*. En el diseño automatizado se contemplará la dosificación de cada fertilizante según la etapa fenológica y requerimiento del cultivo.

3.4 Diagrama de flujo del sistema de automatización

Para el diseño del diagrama de flujo se consideraron los cálculos del diseño agronómico, diseño hidráulico y el plan de fertilización, para darle al cultivo las condiciones necesarias para una óptima producción. En la siguiente figura se muestra el diagrama del sistema de automatizado:

Figura 29. Diagrama de flujo del sistema de automatización.



Además del diagrama de flujo antes mostrado, se elaboran planos con el trazo de los surcos con un espaciamiento de 1.00m, se agregaron las cintas de goteo, las tuberías secundarias y principal, ubicación de la bomba y la fuente del agua, se ubicaron las válvulas solenoides y los sensores de humedad (ver *Figura 32* y *Figura 36*). En el sistema automático se agregó el PLC, la fuente de poder, los relés, fusibles, módulos inalámbricos y la conexión a los sensores de humedad (ver *Figura 35*). Posteriormente se agregaron los tanques de almacenamiento de los fertilizantes líquidos con un agitador en cada tanque y 2 inyectores Venturi para integrar al sistema los fertilizantes disueltos.

3.5 Análisis financiero del proyecto

Se deberán llevar a cabo una serie de cálculos financieros utilizando el VAN, TIR, CB y PRD, luego se analizará si los anteriores indicadores cumplen con las expectativas mínimas para dar por aceptado el proyecto, siguiendo estos procedimientos:

En primera instancia se establecerán los supuestos para el proyecto, utilizando las siguientes variables:

Tabla 9. Variables de supuestos para el proyecto.

Variable	*Valor*
Aumento de ingresos	%
Crecimiento costos	%
Crecimiento gastos	%
Costo del capital	%
Financiamiento	%
Impuesto de la Renta	%

Posteriormente se deberá establecer una lista de las herramientas y materiales necesarios para llevar a cabo el proyecto, con el fin de conocer el monto necesario para cubrir la inversión inicial (Io).

Se deberá anualizar el costo de operación del proyecto, para lo cual deben establecerse el costo de los servicios necesarios, así como las materias primas que se requieran. Los gastos de operación también deberán anualizarse, tal es el caso de la mano de obra y cualquier pago que no tenga variación mensual.

Finalmente, toda la información anterior, será recopilada en una hoja de cálculo, donde se determinará la factibilidad del proyecto utilizando fórmulas.

Según (Fernández et al, 2010) la utilidad será calculada con la siguiente fórmula:

$$\text{Utilidad} = \text{Ingreso} - \text{Gasto} \ldots \textit{Ecuación (22)}$$

El valor actual neto se calculará según (Solé, 2011) con la siguiente fórmula:

$$VAN = \Sigma\ FCt\ (1+d)\text{-}n - Io \ldots \textit{Ecuación (23)}$$

Donde:

$VAN = FC\ 1\ (\ 1 + d\ )\text{–}1 + FC\ 2\ (\ 1 + d\ )\text{–}2 + \ldots\ .\ .\ + FC\ n\text{-}1\ (\ 1 + d\ )\text{–}\ (n\text{–}1) + FC\ n\ (\ 1 + d\ )\text{–}n - Io$

FCt = Flujos Netos de Caja (en los períodos desde t = 1 hasta t = n)

Io = Inversión Inicial (en el momento cero)

d = Tasa de descuento (costo de capital)

La tasa interna de retorno será calculada con la fórmula propuesta por (Solé, 2011)

$$0 = \Sigma\ FCt\ FC\ t\ (1+r)\text{-}n \ldots \textit{Ecuación (24)}$$

Donde:

$0 = FC\ 1\ (\ 1 + r\ )\text{–}1 + FC\ 2\ (\ 1 + r\ )\text{–}2 + \ldots\ .\ .\ + FC\ n\text{-}1\ (\ 1 + r\ )\text{–}\ (n\text{–}1) + FC\ n\ (\ 1 + r\ )\text{–}n - Io$

FCt = Flujos Netos de Caja (en los períodos desde t = 1 hasta t = n)

Io = Inversión Inicial (en el momento cero)

r = Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para el cálculo del costo beneficio se utilizará la fórmula propuesta por (Ross, Westerfield y Jordan, 2005) citado por (Blanco y Herrera, 2017)

$$\mathrm{CB} = \frac{\mathrm{VAN}}{\mathrm{Io}} \ldots Ecuación\ (25)$$

El periodo de recuperación descontado, será calculado con la fórmula utilizada por (González, 2001)

$$\mathrm{PRD} = \mathrm{N°\ periodos\ antes\ de\ cubrir\ Io} + \frac{\text{monto no cubierto antes de cubrir Io}}{\text{flujo del periodo que se cubre Io}} \ldots Ecuación\ (26)$$

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diseño agronómico

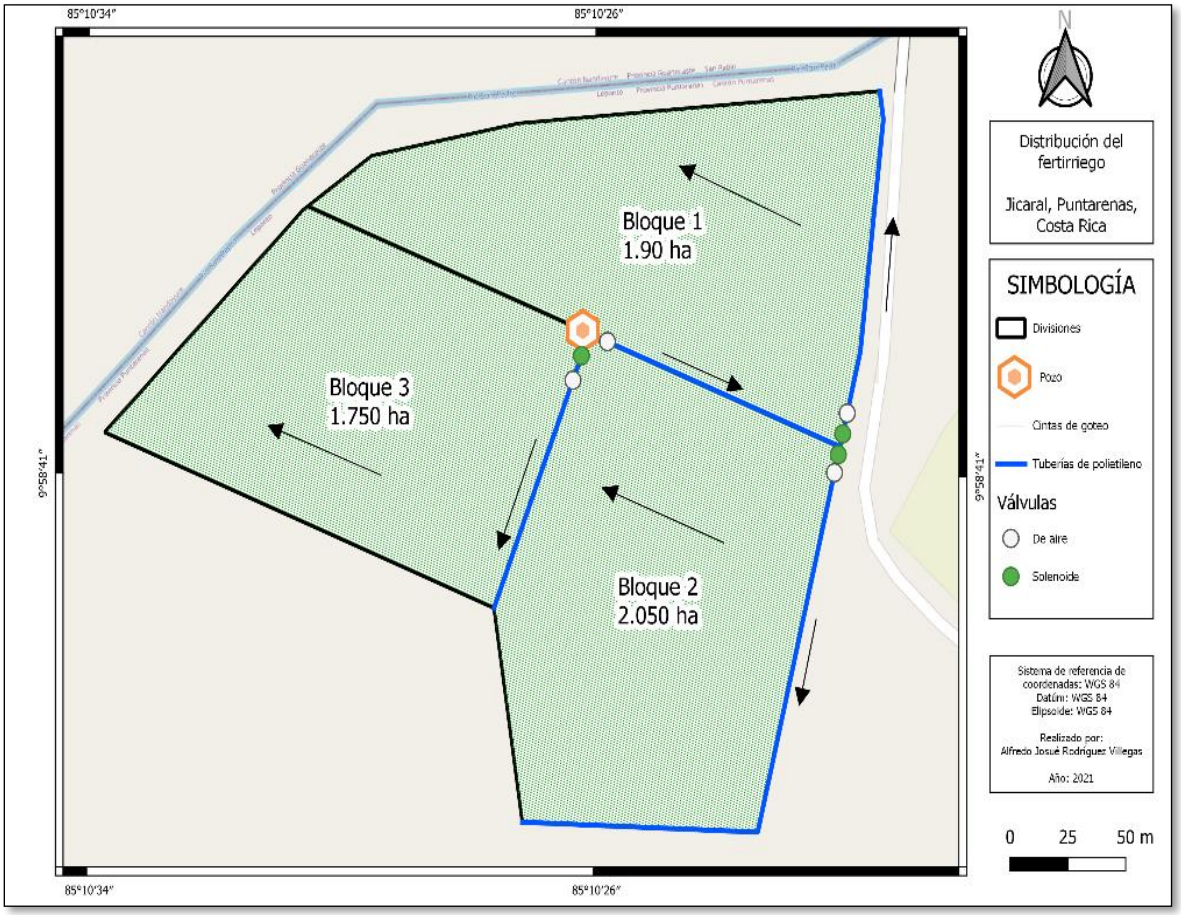
Según los cálculos realizados con las ecuaciones del diseño agronómico, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 10. Resultados del diseño agronómico

Diseño agronómico	Ecuación	Resultado
Lámina neta	1	12.56 mm
Lámina bruta	2	15.09 mm
Evapotranspiración	3	6.79 mm/día
Frecuencia de riego redondeada	4	2 días
Tiempo de riego	5	4.72 h
Número máximo de divisiones por área	6	5.88 unidades
Área de cada unidad	7	19,000 m2
Caudal total del sistema	8	60.80 m3/h
Longitud del lateral	9 y 10	248 m

Para el diseño se optó por un número máximo de divisiones de 3 bloques de 1.90 ha, 2.05 ha y 1.75 ha, considerando los árboles y demás obstáculos existentes en el área de estudio. Para el caudal del sistema de 60.80 m3/h, se distribuyó entre los 3 bloques para obtener un caudal por bloque de 20.27 m3/h para irrigar un bloque a la vez y de esa forma utilizar menor cantidad de agua por hora y al mismo tiempo utilizar una bomba más pequeña y económica En la siguiente figura se muestra la distribución del sistema de riego por goteo:

Figura 30. Distribución del sistema de riego por goteo.



4.2 Diseño hidráulico

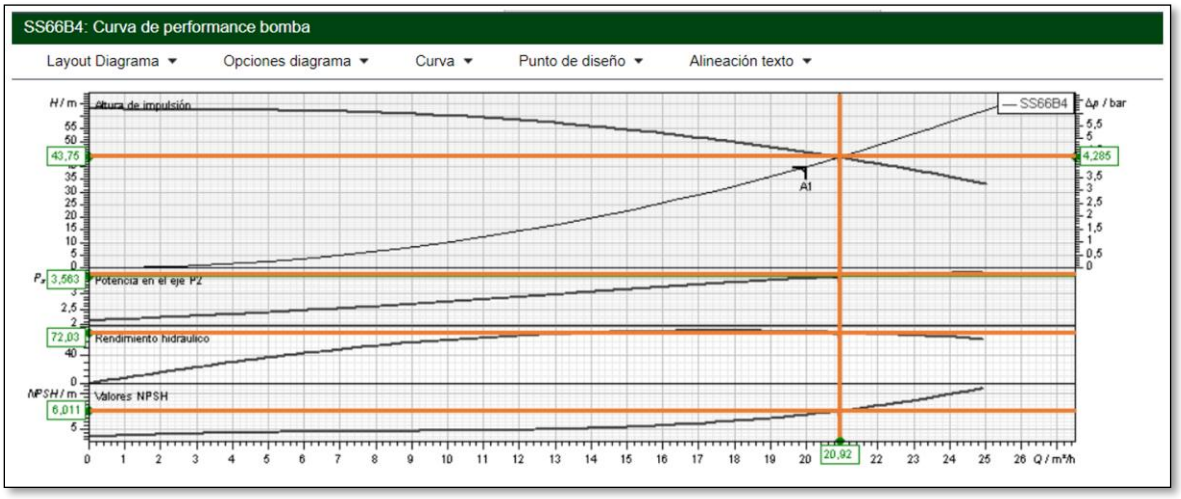
Según los cálculos realizados para el diseño hidráulico, se obtuvo los siguiente:

Tabla 11. Resultados del diseño hidráulico

Diseño hidráulico	Ecuación	Resultado
Caudal del lateral	11	0.794 m3/h
Caudal total del sistema	8	60.80 m3/h
Número de laterales	12	424 unidades
Longitud de la múltiple	13	620.37 m
Pérdidas admisibles	14	6 m.c.a.
Cálculo de pérdidas por fricción	15	2.70 m.c.a.
Presión de entrada del lateral	16	33.08 m.c.a.
Presión en la válvula	17	35.85 m.c.a.
Carga dinámica total para la bomba	18	39.83 m.c.a.
Potencia de la bomba	19	3.52 hp
Velocidades en tuberías	20	1.09 m/s

Para el proyecto se calculó una bomba de 3.52 hp tipo jet sumergible, la cual se buscó en un catálogo en línea de la marca de bombas DBA, indicando el caudal requerido y la carga dinámica total, en la siguiente figura se muestran las curvas de rendimiento de la bomba modelo SS66B4:

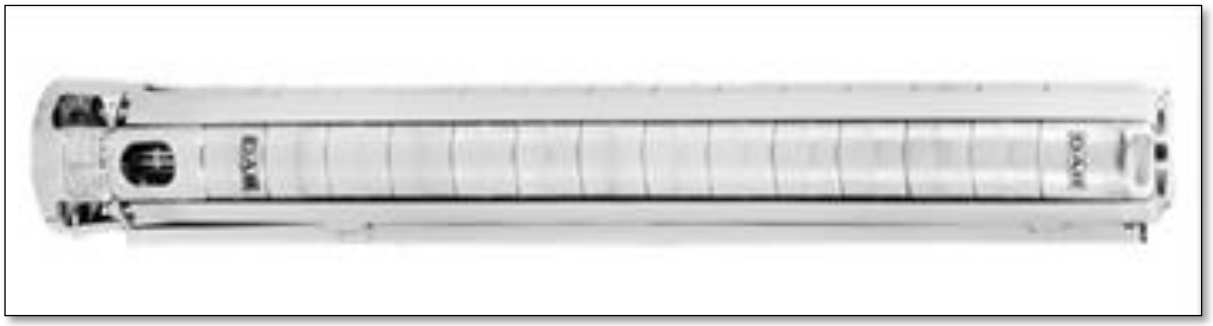
Figura 31. Curvas de rendimiento de la bomba SS66B4.



Nota. Tomado de Pumps Selector [Fotografía], DNA, 2021, DNA PUMPS (https://dna.dabpumps.com/StartMain.aspx)

En la siguiente imagen se muestra la bomba que se seleccionó del catálogo en línea:

Figura 32. Bomba hidráulica DAB modelo SS66B4.

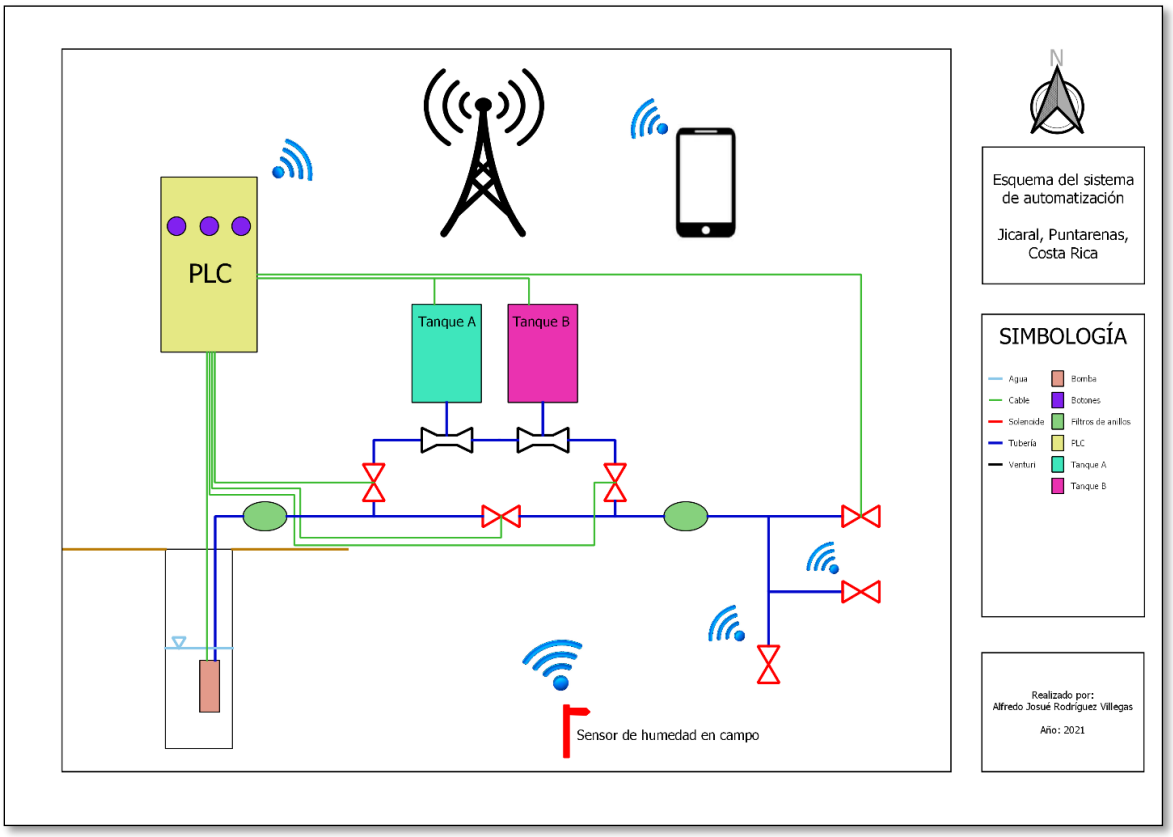


Nota. Tomado de Pumps Selector [Fotografía], DNA, 2021, DNA PUMPS (https://dna.dabpumps.com/StartMain.aspx)

4.3 Sistema de automatización

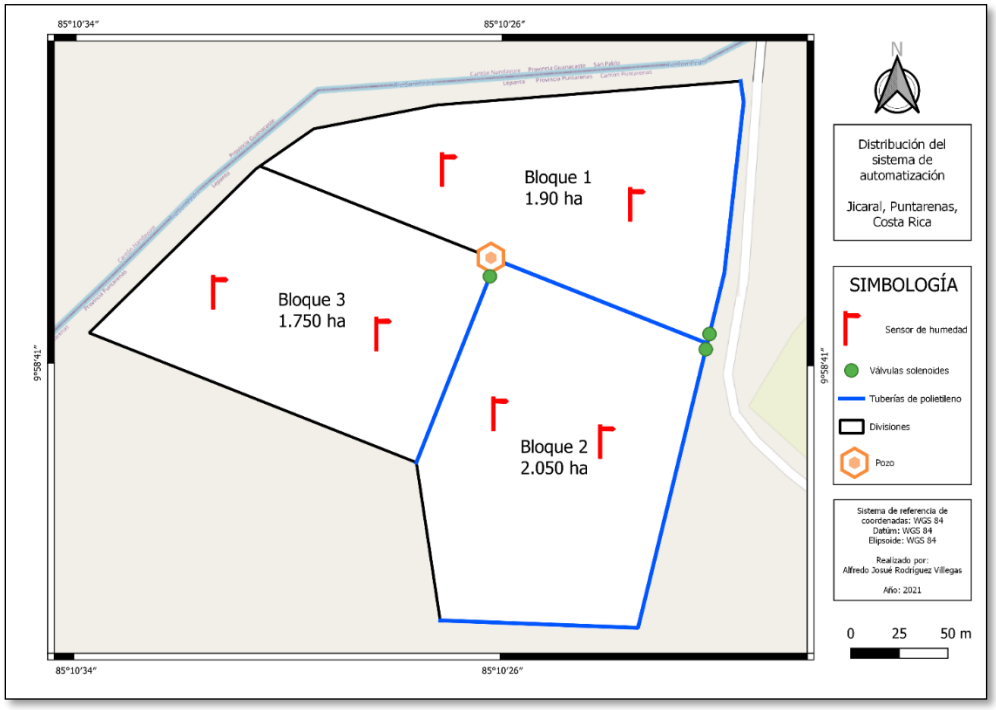
Se realizó el que esquema del sistema que controlará el fertirriego y los tiempos de riego para darle al cultivo lo necesario para la producción, mostrado en la siguiente figura:

Figura 33. Esquema del sistema de automatización



En la figura anterior se muestran las conexiones alámbricas por medio de cables e inalámbricas por medio de wifi o internet celular entre los elementos que componen el sistema, logrando el flujo de datos requerido para el control de las operaciones de riego y fertirriego, hasta llegar a dispositivos móviles como celulares. En la siguiente figura se muestra la distribución del sistema de automatización en campo:

Figura 34. Distribución en campo del sistema de automatización



Se colocaron 2 sensores de humedad por bloque para promediar la humedad del suelo en tiempo real, y de esa forma activar el sistema de riego cuando los niveles estén al 24%, correspondiente al punto de marchites permanente, y apagar el sistema cuando la humedad del suelo llegue al 48%. En el caso del fertirriego, está programado para que se active a partir del día 15 después de la siembra y luego cada 15 días para aplicar la dosis de fertilizante correspondiente según el plan de fertilización realizado, hasta finalizar la fertilización en el día 75 después de siembra.

4.4 Dosis óptimas para fertirriego del maíz

Para cada bloque se calculó la dosis de fertilizantes correspondiente en kg/ha, en la siguiente tabla se muestra el fraccionamiento de los fertilizantes:

Tabla 12.Plan de fertirriego para el área de diseño.

	BLOQUE 1, ÁREA: 1.90 ha		Días después de siembra (DDS)					
Tanque	FERTILIZANTE	Unidad	15 DDS	30 DDS	45 DDS	60 DDS	75 DDS	TOTAL
A	Urea (46% N)	kg	0	60	87	217	344	708
	Fosfato monoamónico (61% P2O5 12%N)	kg	0	26	32	65	110	234
	Cloruro de potasio (60% K2O)	kg	0	0	0	0	0	0
	Sulfato de amonio (24%S 21%N)	kg	0	41	20	61	51	174
B	Nitrato de calcio (26% CaO 15.5% N)	kg	0	0	0	0	0	0
	Nitrato de magnesio (16% MgO 11%N)	kg	0	0	0	0	0	0

	BLOQUE 2, ÁREA: 2.05 ha		Días después de siembra (DDS)					
Tanque	FERTILIZANTE	Unidad	15 DDS	30 DDS	45 DDS	60 DDS	75 DDS	TOTAL
A	Urea (46% N)	kg	0	64	94	234	372	764
	Fosfato monoamónico (61% P2O5 12%N)	kg	0	28	35	70	119	252
	Cloruro de potasio (60% K2O)	kg	0	0	0	0	0	0
	Sulfato de amonio (24%S 21%N)	kg	0	44	22	66	55	188
B	Nitrato de calcio (26% CaO 15.5% N)	kg	0	0	0	0	0	0
	Nitrato de magnesio (16% MgO 11%N)	kg	0	0	0	0	0	0

	BLOQUE 3, ÁREA: 1.75 ha		Días después de siembra (DDS)					
Tanque	FERTILIZANTE	Unidad	15 DDS	30 DDS	45 DDS	60 DDS	75 DDS	TOTAL
A	Urea (46% N)	kg	0	55	80	200	317	652
	Fosfato monoamónico (61% P2O5 12%N)	kg	0	24	30	60	102	215
	Cloruro de potasio (60% K2O)	kg	0	0	0	0	0	0
	Sulfato de amonio (24%S 21%N)	kg	0	38	19	57	47	160
B	Nitrato de calcio (26% CaO 15.5% N)	kg	0	0	0	0	0	0
	Nitrato de magnesio (16% MgO 11%N)	kg	0	0	0	0	0	0

En la tabla se muestran las diferentes dosificaciones de fertilizantes, considerando el área de siembra, la disponibilidad de nutrientes en el suelo, los días después de siembra, la compatibilidad entre las mezclas y el fraccionamiento de cada fertilizante para un mejor aprovechamiento del cultivo. A pesar de que algunos fertilizantes no se estarán aplicando por la disponibilidad de nutrientes en el suelo, se consideró mantener el tanque B para futuras aplicaciones de fertilizantes cuando los nutrientes bajen sus niveles por debajo de lo requerido por el cultivo. En la siguiente imagen se muestra la distribución de los bloques para fertirriego:

Figura 35. Distribución del plan de fertirriego

4.5 Análisis financiero del proyecto

Para el análisis financiero del proyecto, se consideraron 2 escenarios, donde uno de ellos se calculó con capital propio y el otro se realizó con financiamiento. A continuación, se detallan las siguientes variables que se consideraron para ambos escenarios:

Figura 36. Inversión inicial del proyecto.

		Unidades	% Depreciación	Vida útil	Costo	Total	% Depreciación anual
Materiales estandart	Cinta de goteo	4	5%	20	400,000	1,600,000	80,000
	Manguera poliducto para conducción	13	5%	20	150,000	1,950,000	97,500
	Filtro de anillos	2	10%	10	150,000	300,000	30,000
	Uniones	1	5%	20	300,000	300,000	15,000
	Bomba 4 hp	1	10%	10	600,000	600,000	60,000
	Calculadora	1	10%	10	25,000	25,000	2,500
	Venturi para fertirriego	2	5%	20	100,000	200,000	10,000
	Tanques para fertirriego	2	10%	10	300,000	600,000	60,000
	Computadora	1	20%	5	400,000	400,000	80,000
	Fumigadoras	2	10%	10	50,000	100,000	10,000
	Machete	3	5%	20	6,000	18,000	900
	Subtotal					**6,093,000**	**445,900**
Materiales para automatización	PLC	1	5%	20	800,000	800,000	40,000
	Sensores de humedad	6	5%	20	40,000	240,000	12,000
	Cables	1	5%	20	50,000	50,000	2,500
	Radios uhf	6	5%	20	30,000	180,000	9,000
	UPS	1	5%	20	100,000	100,000	5,000
	Válvulas solenoides 2"	6	5%	20	90,000	540,000	27,000
	Subtotal					**1,910,000**	**95,500**
	Total					**8,003,000**	**541,400**

Figura 37. Estimado de ventas anual.

Materiales	Und/ha	Área (ha)	Ciclos/año	Precio/und	Total ingresos Brutos Anuales
Elote fresco	50,000.00	5.75	3.00	₡ 50.00	₡43,125,000.00

Figura 38. Estimado de gastos mensuales y anual.

Colaboradores	Meses	Gasto mensual	Gastos Fijos	Observaciones
Salarios Ingeniero	13	391,079	5,084,025	Trabajo de Medio tiempo
Salarios Ayudante campo	13	439,400	5,712,196	Trabajo de Tiempo Completo
Salarios Ayudante campo ocasional	3	439,400	1,318,199	Trabajo de Tiempo Ocasional
Contador publico	12	25,000	300,000	Tercerizados
Total de Gastos			**12,414,419**	

Figura 39. Costos variables de la operación.

Insumos	**Und**	**Costo unid**	**Ciclos / año**	**Total costos variables**
Semillas (kg)	115.00	4,500	3	1,552,500
Control de malezas	5.75	50,000	3	862,500
Control de plagas y enfermedades	5.75	50,000	3	862,500
Fertilización	5.75	656,048	3	11,316,831
Electricidad Precio kw	120.00	6,000	3	2,160,000
Riego desde pozo (canon)	1.00	40,000	3	120,000
Preparación de suelos	5.75	240,000	0.20	276,000
Fletes	3.00	100,000	3	900,000
Total de costos				**18,050,331**

En la siguiente figura se muestra el análisis financiero con capital propio:

Figura 40. Análisis financiero con capital propio.

		Años				
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		43,125,000	45,281,250	47,545,313	49,922,578	52,418,707
-Costos		18,050,331	19,077,394	20,162,898	21,310,167	22,522,716
U. Bruta		25,074,669	26,203,856	27,382,414	28,612,411	29,895,992
-Gastos		12,414,419	13,120,800	13,867,373	14,656,427	15,490,378
-Gastos no desembolsables		541,400	541,400	541,400	541,400	541,400
-Gastos por intereses		-	-	-	-	-
U antes de impuestos		12,118,850	12,541,656	12,973,641	13,414,584	13,864,214
-Impuesto de renta		3,029,713	3,135,414	3,243,410	3,353,646	3,466,053
U después de impuestos		9,089,138	9,406,242	9,730,231	10,060,938	10,398,160
+Gastos no desembolsables		541,400	541,400	541,400	541,400	541,400
-Incremento k de trabajo	15,232,375					
+ Recuperación de K de trabajo						15,232,375
- Nueva inversión requerida	8,003,000					
+ Recuperación de la inversión						5,296,000
- Amortización de la deuda	-	-	-	-	-	-
Flujo de efectivo nominal	(23,235,375)	9,630,538	9,947,642	10,271,631	10,602,338	31,467,935
Flujos descontados FD		8,374,380	8,650,123	8,931,853	9,219,425	27,363,422
Acumulado de flujos descontados FD		8,374,380	17,024,504	25,956,357	35,175,781	62,539,203
% de recuperación de inversión inicial		36%	73%	112%	151%	269%
Tasa de descuento	15%					

VAN al 15%	₡21,121,663
TIR	42.27%
CB	₡0.91

Se utilizó para los cálculos una tasa de descuento del 15%, el cual es mayor o igual a cero, por lo que el proyecto es viable económicamente, además se obtuvo una TIR de 42.7% y un CB de ₡ 0.91, además de recuperar casi el 100% de la inversión entre el segundo y tercer año.

Para el escenario del proyecto financiado, se consideró un crédito con una tasa del 16% y un 90% de financiamiento del total de la inversión inicial y el capital de trabajo. En la siguiente figura se muestra el análisis financiero realizado:

Figura 41. Análisis financiero del proyecto con financiamiento.

		Años				
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		43,125,000	45,281,250	47,545,313	49,922,578	52,418,707
-Costos		18,050,331	19,077,394	20,162,898	21,310,167	22,522,716
U. Bruta		25,074,669	26,203,856	27,382,414	28,612,411	29,895,992
-Gastos		12,414,419	13,120,800	13,867,373	14,656,427	15,490,378
-Gastos no desembolsables		541,400	541,400	541,400	541,400	541,400
-Gastos por intereses		3,345,894	2,859,370	2,295,001	1,640,334	880,920
U antes de impuestos		8,772,956	9,682,286	10,678,640	11,774,250	12,983,294
-Impuesto de renta		2,193,239	2,420,572	2,669,660	2,943,563	3,245,823
U después de impuestos		6,579,717	7,261,715	8,008,980	8,830,688	9,737,470
+Gastos no desembolsables		541,400	541,400	541,400	541,400	541,400
-Incremento k de trabajo	15,232,375					
+ Recuperación de K de trabajo						15,232,375
- Nueva inversión requerida	8,003,000					
+ Recuperación de la inversión						5,296,000
- Amortización de la deuda	20,911,837	3,040,777	3,527,302	4,091,670	4,746,337	5,505,751
Flujo de efectivo nominal fin	(2,323,537)	4,080,340	4,275,813	4,458,710	4,625,750	25,301,494
Flujos descontados FD		3,548,121	3,718,098	3,877,139	4,022,392	22,001,299
Acumulado de flujos descontados FD		3,548,121	7,266,220	11,143,359	15,165,750	37,167,049
% de recuperación de inversión inicial		15%	31%	48%	65%	160%
Tasa de descuento	15%					

VAN al 15%	₡22,613,489
TIR	187.29%
CB	₡9.73

Con el financiamiento se alcanzó una TIR del 187.29% y un CB de ₡9.73, además de recuperar la inversión inicial entre el cuarto y quinta año. La ventaja de optar por el financiamiento, es que no se está trabajando con el capital propio, el cual se puede destinar a otras inversiones o emergencias.

En las siguientes figuras se muestra un comparativo entre el análisis financiero con capital propio y el análisis financiero con financiamiento, considerando los indicadores VAN, TIR y CB:

Figura 42.Comparativo del valor actual neto.

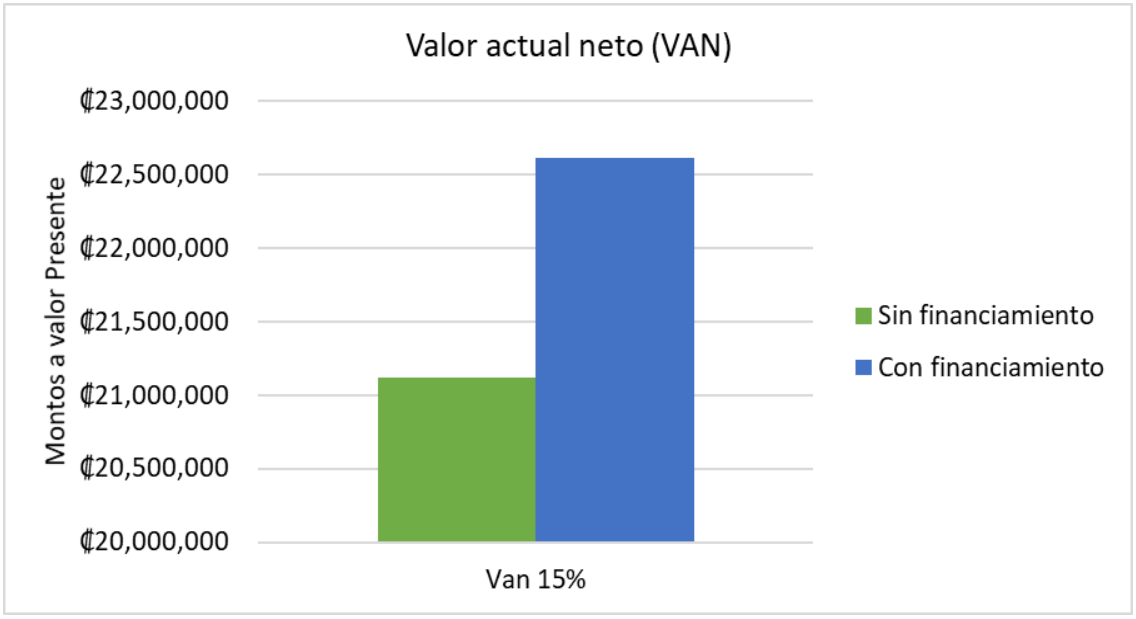


Figura 43.Comparativo de la tasa interna de retorno.

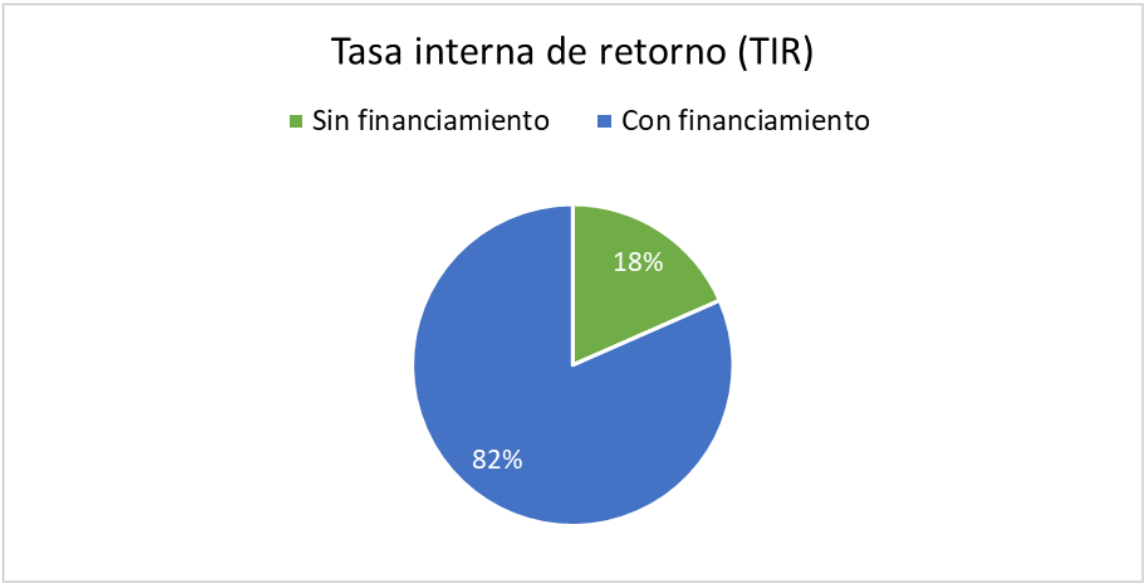
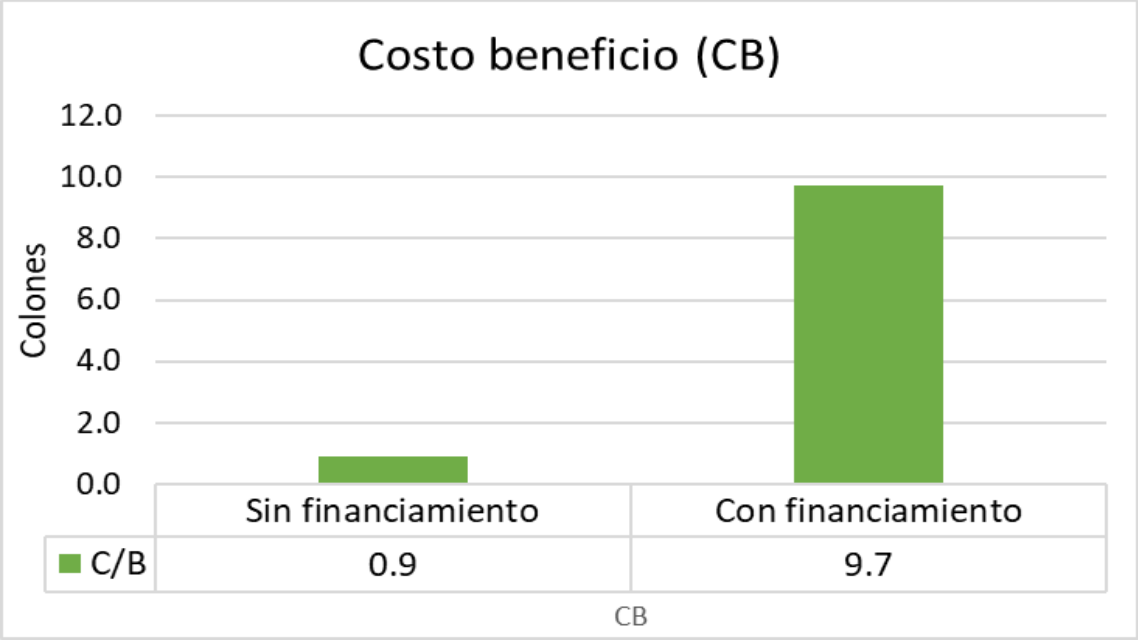


Figura 44. Comparativo de costo beneficio.



En las figuras anteriores se muestra que un proyecto con capital financiado, ofrece mejores rendimientos económicos, comparado con un proyecto con capital propio, además de que los intereses de los créditos pueden usarse como gasto y mejorar las utilidades del proyecto.

CONCLUSIONES

El diseño agronómico e hidráulico, cumplen con las necesidades del cultivo de maíz, considerando las variables como el clima, agua, nutrientes y suelo para elaborar los cálculos correspondientes.

El diagrama del sistema automatizado de riego y fertirriego, se adaptó a las condiciones que se encontraron en la propiedad, con el propósito de que trabaje sin que los colaboradores deban estar pendientes de cuando regar, sino que se ocupen de otras labores de campo.

El programa de fertirriego elaborado, cumple con las necesidades nutricionales que requiere el cultivo de maíz, además del fraccionamiento del fertilizante en función de las curvas de extracción de nutrientes.

Con el análisis financiero realizado, se determinó que el proyecto es viable financieramente con capital propio como con el capital financiado para llevar a cabo la puesta en marcha del proyecto, contando con tasas de descuento mayores a lo esperado y un retorno de la inversión realizada en menos de 2 años.

RECOMENDACIONES

Se debe considerar la siembra de cada bloque en 3 fechas diferentes para lograr una cosecha escalonada y de esa forma vender la totalidad de la producción de maíz en volúmenes más pequeños.

Considerar la producción de platillos de derivados del maíz para obtener más ganancias en ventas al ser productos con valor agregado.

Realizar estudios de otros sistemas de automatización, incluyendo placas de desarrollo como Arduino y las Rasberry Pi, con el fin de bajar costos en materiales y facilidad de programación.

Investigar otras entidades financieras con menores tasas de interés a la utilizada para recuperar en menor tiempo la inversión inicial y el capital de trabajo necesario.

BIBLIOGRAFÍA

Agroproductores. (2018). *Agroproductores*. Obtenido de Compatibilidad de fertilizantes: https://agroproductores.com/compatibilidad-de-fertilizantes/

Antúnez, F. (2016). *Puesta en marcha de sistemas de automatización industrial. ELEM0311*. IC Editorial.

Bermúdez, R. (2021, 15 de Mayo). Reactivarán siembra de maíz amarillo después de 35 años. *Diario Extra*. Obtenido de https:// www.diarioextra.com/Noticia/detalle/449840/reactivar-n-siembra-de-ma-z-amarillo-despu-s-de-35-a-os

Blanco, J., Herrera, J. (2017). *Formulación y evaluación de un proyecto de inversión para la construcción de cabañas en la localidad Cordobesa de Los Reartes.* Córdoba.

Canqueri, K. (2019). *Diseño de un sistema de riego por aspersión automatizado y controlado para el centro poblado de Huitaca Sencca.* Puno.

Carpio, C. (2017). *Diseño del sistema de riego por goteo en 332 hectáreas bajo el cultivo de caña de azúcar para el Ingenio Pantaleón, en Escuintla, Guatemala.* Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Agrícola., Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Casas, R. (2014). *Preparación del terreno para instalación de infraestructuras y plantación de frutales.* Ediciones Paraninfo, S.A.

Chacón. M. (2017). *Oficina Nacional de Semillas*. Obtenido de http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semillas-de-maiz/evolucion-cultivo-maiz/

Chang, L. (2020). *Diseño de un sistema automatizado de riego por goteo para aumentar la producción de maíz en la Hacienda Durand.* Tesis inédita, Licenciatura Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú.

Centro International de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (2004). *Enfermedades del maiz: una guia para su identificacion en el campo.* CIMMYT.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (s.f.). *Guía Tecnica El Cultivo del Maíz.* Obtenido de IICA. https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893

Dab Navigator Application (DNA). (2021). *DNA PUM SELECTOR*. Obtenido de https://dna.dabpumps.com/StartMain.aspx

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *Seguimiento y analisis de losprecios alimetario*s. Obtenido de FAO. https://www.fao.org/giews/food-prices/international-prices/detail/es/c/1443624/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f.). *Triángulo textural de suelos*. Obtenido de FA. http://fao.org

Fernández, G. (2010). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión.* Instituto Politécnico Nacional .

Gamboa, A. (2013). *Diseño de un sistema de riego por goteo autocompensado para los semilleros de caña de azúcar, finca santa marta, COOPEAGRI R.L.* Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago.

Garrido, R.., Hernández, S., Aparicio, J. (2017). *Tópicos Tecnológicos, Científicos Y Ambientales: Red De Colaboración Del Instituto Tecnológico Superior De La Sierra Norte De Puebla Y El Instituto Tecnológico Superior De Huauchinango.* Palibrio.

González, M. (2001). *Modelo para evaluar un proyecto de inversión de una empresa biotecnológica.* Nuevo León.

González, J. (2017). *Análisis y Modelado de Sensores de Reflectometría en Frecuencia para medida de agua en el suelo.* Cartagena.

González, G. (2012). *Biblioteca digital Zamorano.* Obtenido de https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1082/1/T3356.pdf

Herbario Virtual. (2019). *Herbario Virtual*. Obtenido de herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=168

Kruse, S. (2016). *Logo! 8 : A Practical Introduction, with Circuit Solutions and Example Programs.* Publicis MCD Werbeagentur GmbH.

La Universidad San Martín de Porres. (2017). *El Maíz.* Perú: Grupo Planeta.

Lazo, W., Campos, R. (2014). *Sistema remoto de control y monitoreo de la humedad del suelo para reducir el consumo de agua del maiz con riesgo por goteo en el valle de Pampas.*

Liotta, M. (2015). *Manual de Capacitación: Riego por Goteo.* Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf

López, J. (2018). *Curso de fontanería paso a paso.* Ediciones Paraninfo, S.A.

Loyola, M., Becerra, P. (2015). *Manual para la aplicación de la tecnología zigbee para edificios inteligentes en la Ciudad de Cuenca.* Cuenca.

Maroto, J. (2008). *Elementos de horticultura general.* Mundi-Prensa Libros.

Medrano, A. (2013). *Pobreza, ambiente y cambio climático* . CLACSO.

Méndez, A. (2016). *Percepción de los productores de maíz (Zea mays, Lin.) sobre sus plagas claves: principales aspectos agroecológicos en área agrícolas de Venezuela.* Editorial Universitaria.

Mora, O. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo subterraneo para una parcela experimental de caña de azúcar de 6 hectáreas en el Ingenio Taboga, Bebedero, Cañas, Guanacaste.* Cañas.

Mora, J. (2018). *Montaje de los cuadros de control y dispositivos eléctricos y electrónicos de los sistemas domóticos e inmóticos. ELEM0111 (2a. ed.).* IC Editorial.

Moratiel, R. (2017). *Riego en cultivos: fundamentos y manejo.* Mundi-Prensa Libros.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *FAO*. Obtenido de https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/

Pardey, C., Moreno, N. (2015). *Descripción morfológica de 13 introducciones de maíz procedente del Departamento del Magdalena.* Editorial Unimagdalena.

Pineda, A. (2016). *Diseño y desarrollo de un dispositivo de riego inteligente para cultivos mediante la elaboración de una pasarela KNX*. Cartago.

Pinto, J. (2013). *Operaciones auxiliares de riego en cultivos agrícolas (UF0160)* . IC Editorial.

Peñaherrera, D., Merchán, M., Yánez, C., Zambrano, J. L., Racines, M., & Sangoquiza, C. (2020). *Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de maiz duro (Zea mays L).* Obtenido de INIAP. https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5581

Remache, M., Carrillo, M., Mora, R., Durango, W., Morales, F. (2017). *Absorción de macronutrientes y eficiencia del n, en híbrido promisorio de maíz.* EUCR.

Ruiz, A., Molina, J. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego.* Marcombo.

Schweizer, S. (2011). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf

Solé, R. (2011). *Técnicas de evaluación de flujos de inversión: mitos y realidades*.

Utrillas, C. (2018). *Sistemas de medida y regulación.* RA-MA Editorial .

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de suelo

AGRO ANALISIS DE COSTA RICA S.A.
SERVICIO DE CALIDAD

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELO

	cmol(+)/L					mg/L				
Identificación de campo	**pH**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Acidez**	**P**	**Fe**	**Cu**	**Zn**	**Mn**
Muestra 1-2	**5.71**	**0.72**	**6.36**	**1.20**	**0.35**	**4.8**	**114**	**5.1**	**1.0**	**9.8**
Muestra 3-4	**6.14**	**0.51**	**5.14**	**0.88**	**0.20**	**3.8**	**50.2**	**3.0**	**0.9**	**11.7**
Muestra 5-6	**5.90**	**0.48**	**1.95**	**0.51**	**0.45**	**2.6**	**48.2**	**1.9**	**1.0**	**8.3**

Metodología: Olsen Modificado: K, P, Fe, Zn, Cu, Mn – KCl 1N: Ca, Mg, Acidez – pH en H_2O

Anexo 2. Cinta de goteo seleccionada

UNIRAM™ AS 23010
Catalog number **14635** - (any of below 6 digits)

FLOW RATE (L/H)	DISTANCE BETWEEN DRIPPERS (M)													
	0.15	0.20	0.25	0.30	0.33	0.40	0.50	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.90	1.00
0.7				000500		000550	000600	000650			000700			000750
1.0				001300		001400	001500	001570	001600		001700			001850
1.6						002200	002300	002400	002470	002520	002600	002660		002900
2.3						003500	003600	003705	003740	003800	003900	003950	004050	004100
3.5						005000	005100	005200	000001	005400	005500			005700
Carton coil length (m)	200	200	200	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

Missing catalog numbers available upon request.

DRIPPERLINES TECHNICAL DATA

MODEL	INSIDE DIAMETER (MM)	WALL THICKNESS (MM)	OUTSIDE DIAMETER (MM)	MAX. WORKING PRESSURE (BAR)	MAXIMUM FLUSHING PRESSURE (BAR)	KD
23010	20.80	1.00	22.80	3.0	3.5	0.30

DRIPPERLINES PACKAGE DATA (ON CARTON COILS)

MODEL	WALL THICKNESS (MM)	COIL LENGTH (M)	DISTANCE BETWEEN DRIPPERS (M)	AVERAGE* COIL WEIGHT (KG)	COILS IN A 40 FEET CONTAINER (UNITS)	TOTAL IN A 40 FEET CONTAINER (M)
23010	1.00	200	0.15 to 0.25	14.7	480	96000
		300	0.30 to 1.00	20.7		144000

* Calculated weight average. For further details see "Average Coil Weight Disclaimer".

Anexo III

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

(Trabajo Individual)

Ciudad: Cañas, Guanacaste.

Fecha: 18 de mayo de 2022

Señores/as

Vicerrectoría de Investigación. Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores/as:

Yo Alfredo Josué Rodríguez Villegas, portador de la cédula de identidad número 114300501. En mi calidad de autor del trabajo de graduación titulada: **SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO Y FERTIRRIEGO AUTOMATIZADO CON SENSORES DE HUMEDAD Y TELEMETRÍA PARA MAÍZ (*ZEA MAYS)* JICARAL, PUNTARENAS, 2020**

El cual se presenta bajo la modalidad de, marque una opción: ___X___ Proyecto de Graduación _____ Tesis de Graduación Presentado en la fecha 12/05/2022, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede Guanacaste, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Marque con una X o un ✓	
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca.	√
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	√
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	√
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	√
Consulta electrónica con texto protegido	√
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	√
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	√
Divulgación del resumen en el Repositorio UTN, con una cantidad de 200 a 500 palabras	√

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional. Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante: _____

Cédula: 114300501

Día: 12 de mayo de 2022

Anexo V

BOLETA DE PRESENTACIÓN FORMAL DE TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

SOBRE EL AUTOR (ES) DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN				
Primer apellido	**Segundo apellido**	**Nombre**	**Número de cédula**	**Firma del estudiante**
Carrera a la que pertenece:		**Título obtenido**		
Fecha de presentación:				
USO EXCLUSIVO PARA EL DIRECTOR DE				
Verificación de documentación:		**Marque con una (x)**		
			Documento físico del trabajo final	

		Carta de autorización para uso y manejo de los trabajos finales de graduación
		Acuso de recibido de la versión digital por parte de la Vicerrectoría de Investigación
		Copia digital para la carrera
		Entrega de resumen con palabras claves para biblioteca
Nombre del Director (a) de carrera:	**Firma del Director de carrera**	**Fecha de aprobación**