



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José

Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniera Agrícola

Robinson Andrés Jiménez Cumbicus.

Autor

Ing. Marco Reinoso Acaro, Mg .Sc.

Director

Loja - Ecuador

2019

No todos ocupan los mejores puestos, sino los más preparados, aunque no sean genios.

Certificación del director de tesis

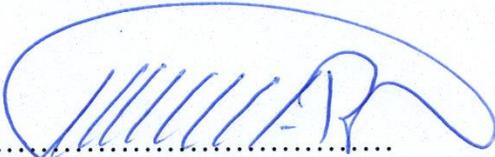
Ing. Marco Reinoso Acaro, Mg. Sc.

DOCENTE DE LA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CERTIFICA:

En calidad de director de la tesis titulada **“Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José”**, de la autoría del señor egresado de la carrera de ingeniería Agrícola Robinson Andrés Jiménez Cumbicus, ha concluido dentro del cronograma y autorizo se continúe con los trámites de graduación.

Loja, 27 de agosto del 2019



.....
Marco Reinoso Acaro, Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

Certificación tribunal de grado

El Tribunal Calificador de la tesis **DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN UTILIZANDO UN EQUIPO MOTOBOMBA EN LA FINCA SAN JOSÉ**, de autoría del señor **Robinson Andrés Jiménez Cumbicus**, egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola, certificamos que se ha incorporado al documento de tesis las sugerencias respectivas. Por lo tanto, autorizamos la impresión y publicación.

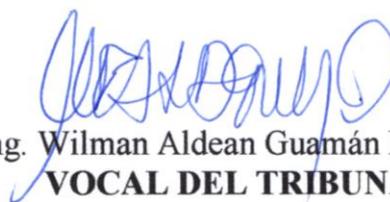
Loja, 18 de octubre del 2019



Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta Mg.Sc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Luis Sivilaca Caraguay Mg.Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL



Ing. Wilman Aldean Guamán Mg.Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL

Autoría

Yo, **Robinson Andrés Jiménez Cumbicus**, declaro de ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el repositorio Institucional- Biblioteca Virtual.

Autor: Robinson Andrés Jiménez Cumbicus

Firma:



Cédula: 1106072562

Fecha: Loja 18 de octubre del 2019

Carta de autorización de tesis por parte del autor para la consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo

Yo, **Robinson Andrés Jiménez Cumbicus**, declaro ser autor de la tesis titulada **“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN UTILIZANDO UN EQUIPO MOTOBOMBA EN LA FINCA SAN JOSÉ”**, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrícola, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 18 días del mes de octubre del dos mil diecinueve firma el autor.

Firma: 

Autor: Robinson Andrés Jiménez Cumbicus

Número de cedula: 1106072562

Dirección: Loja, Espíndola, 27 de Abril, barrio Las Lajas, calle principal s/n

Correo Electrónico: robinson_jc@hotmail.es

Teléfono: 30 25662 Celular: 0979511830

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Marco Reinoso Acaro Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta Mg. Sc.

Ing. Luis Sivisaca Caraguay Mg. Sc.

Ing. Wilman Aldean Guamán Mg. Sc.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haber permitido culminar mi formación académica y hacer realidad un sueño anhelado, a mis padres, hermanos que supieron darme su apoyo incondicional a lo largo de este camino.

Mis más sinceros agradecimientos a la planta docente de la carrera de Ingeniería Agrícola, por brindarme sus conocimientos y experiencias. De manera especial a mi director de Tesis Ing. Marco Reino Acaro, M.Sc. quien fue pilar fundamental para dirigir el cumplimiento de mi trabajo de tesis, por sus conocimientos, orientación, paciencia y motivación.

Finalmente, familiares y amigos por brindarme su confianza, amistad. Gracias a todos por contribuir con un granito de arena para el logro académico.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a Dios por guiarme y protegerme en todo momento, a mis padres Andrés Jiménez y Edilma Cumbicus que con su ejemplo de esfuerzo y superación y no dejarme desmayar en esta ardua etapa; y, mis hermanos: Joel y Anthony Jiménez que siempre estuvieron presentes compartiendo momentos de felicidad.

De igual manera lo dedico a mis abuelos paternos y maternos: Arcesio Jiménez, Dorinda Cumbicus, Misael Cumbicus y Clara Castillo, por sus sabios consejos y compartir grandes momentos a su lado. A mi tío Patricio Cumbicus⁽⁺⁾ que siempre me distes tu apoyo incondicional

Robinson Andrés

Índice de contenido

	Pág
Certificación del director de tesis	ii
Certificación tribunal de grado	iii
Autoria	iv
Carta de autorización	v
Agradecimiento.....	vi
Dedicatoria	vii
Índice de contenido.....	viii
Anexos	xi
Resumen	xiii
Abstract	xiv
1. Introducción	1
2. Revisión bibliográfica	3
2.1. Definición de riego.....	3
2.2. Métodos de riego.....	3
2.2.1. Riego por superficie	3
2.2.2. Riego presurizado	3
2.3. Factores de un sistema de riego	4
2.3.1. Suelo.....	4
2.3.2. Clima.....	7
2.4. Riego por aspersión.....	8
2.4.1. Ventajas y desventajas	8
2.4.2. Clasificación de los sistemas de riego por aspersión	9
2.4.3. Componentes de un sistema de riego por aspersión	10
2.5. Contenido de agua en el suelo.....	12

	Pág
2.6.	Energía del agua en el suelo..... 13
2.6.1.	Curva de retención del agua del suelo 13
2.7.	Infiltración del agua en el suelo 14
2.8.	Diseño agronómico 15
2.8.1.	Necesidades de agua del cultivo 15
2.9.	Diseño hidráulico 21
2.9.1.	Pérdidas de carga por fricción longitudinal 21
2.9.2.	Pérdidas locales..... 22
2.9.3.	Pérdida de carga en tubería multisalida (Diseño del lateral) 23
2.10.	Eficiencia de Riego 25
2.10.1.	Coeficiente de Uniformidad de Christiansen 25
2.10.2.	Factores que intervienen en el coeficiente de uniformidad..... 26
2.11.	Selección del equipo motobomba 26
2.11.1.	Carga dinámica total 27
2.11.2.	Potencia de la bomba 27
2.12.	Gestión social del riego..... 28
2.13.	Importancia del riego en el maíz..... 28
3.	Materiales y métodos 30
3.1.	Localización del área de estudio 30
3.2.	Materiales..... 31
3.3.	Metodología 31
3.3.1.	Metodología para el primer objetivo..... 31
3.3.2.	Metodología para el segundo objetivo 49
3.3.3.	Metodología para el tercer objetivo 50
4.	Resultados y discusión 52

	Pág
4.1. Resultados para el primer objetivo.....	52
4.1.1. Caudal disponible para el riego.....	52
4.1.2. Levantamiento topográfico de la superficie a regarse.....	52
4.1.3. Estudio del suelo	52
4.1.4. Diseño agronómico	53
4.1.5. Diseño hidráulico	60
4.1.6. Calculo de la motobomba	61
4.2. Resultados para el segundo objetivo	64
4.2.1. Replanteo de la ubicación de la red hidráulica	64
4.2.2. Instalación de la red hidráulica	64
4.2.3. Estación de bombeo	65
4.3. Resultados para el tercer objetivo	66
4.3.1. Costos del sistema de riego	66
5. Conclusiones	69
6. Recomendaciones.....	70
7. Bibliografía	71
8. Anexos	74

Anexos

	Pág
Anexo 1 Aforo del caudal del canal de riego.....	74
Anexo 2 Instalación del sistema de riego.	74
Anexo 3 Evaluación del sistema de riego	75
Anexo 4 Constantes hidrofísicas del suelo.	76
Anexo 5 Evapotranspiración de referencia de las estaciones del área de estudio (mm/día).....	77
Anexo 6 Velocidad del viento del área de estudio.....	77
Anexo 7. Velocidad de infiltración.....	77
Anexo 8 Puntos del replanteo.	79
Anexo 9 Evaluación del coeficiente de uniformidad.....	80
Anexo 10 Características técnicas del aspersor.	81
Anexo 11 Características técnicas de la motobomba.....	82
Anexo 12 Plano topográfico del área de estudio.....	83
Anexo 13 Plano del diseño del sistema de riego por aspersión.....	84
Anexo 14 Plano de traslape de los aspersores del sistema de riego	85
Anexo 15 Plano de características del sistema de riego por aspersión.....	86
Anexo 16 Plano de detalles técnicos del sistema de riego por aspersión.....	87

Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José

Resumen

En la finca San José perteneciente a la Parroquia 27 de Abril del Cantón Espíndola, Provincia de Loja, se realizó el diseño, implementación y evaluación del sistema de riego por aspersión utilizando una motobomba de impulsión en una área de 0,26 ha. En el diseño es necesario la evaluación física del suelo, en donde se tomaron muestras no disturbadas con la ayuda de los cilindros Koppecky de 100 cm^3 , para la determinación de capacidad de campo a $1/3$ y $1/10$ de atm, punto de marchitez permanente, densidad aparente, y la textura. La profundidad radicular efectiva se calculó realizando un muestreo in situ de plantas de maíz; y, la velocidad de infiltración se obtuvo mediante los cilindros infiltrómetros. En el diseño agronómico, se calculó, las necesidades de riego del cultivo de maíz, donde se utilizó el método indirecto Penman- Monteith para la obtención la ETo de las estaciones meteorológicas de Cariamanga, Amaluza y Nambacola, por medio de regresión lineal en base a la altitud en el programa ArcGis se determinó la ETo del área de estudio; la curva de kc se obtuvo de la investigación realizada por Ureña (2016), dando como resultado la evapotranspiración del cultivo. Se determinó, la lámina, tiempos y frecuencias de riego. En el diseño hidráulico, se calculó de la red hidráulica, principal, secundaria o múltiple y lateral, con diámetros nominales de 2", 2" y 1" respectivamente, mediante de la fórmula de Hazen-Williams, además se calculó el coeficiente de Christiansen para las tuberías con multisalidas. Se seleccionó la motobomba Honda WH20XT de 4.8 HP, con un caudal de diseño de 3.66 l/s y una carga dinámica total de 33.94 m. Luego de instalar el sistema de riego, se realizó la evaluar mediante el coeficiente de uniformidad de Christiansen (Cu) el cual fue 91%.

Palabras claves: riego por aspersión, diseño agronómico, diseño hidráulico, evaluación, coeficiente de uniformidad de Christiansen.

Abstract

In the San José farm belonging to the April 27 Parish of the Espíndola canton, Loja Province, the design, implementation and evaluation of the sprinkler irrigation system was carried out using a drive pump in an area of 0.26 ha. In the design, the physical evaluation of the soil is necessary, where undisturbed samples were taken with the help of Köppeckycylinders of 100 cm, for the determination of field capacity at 1/3 and 1/10 of atm, wilting point permanent, apparent density, and texture. Effective root depth was calculated by sampling in situ of corn plants; and, the infiltration rate was obtained by the infiltrometer cylinders. In the agronomic design, the irrigation needs of the corn crop were calculated, where the indirect Penman Monteith method was used to obtain the ETo of the Cariamanga, Amaluza and Nambacola weather stations, by means of liner regression based on the altitude in the ArcGis program determined the ETo of the study area; The kc curve was obtained from the research carried out by Ureña (2016), resulting in crop evapotranspiration. It was determined, the sheet, times and frequencies of irrigation. In the hydraulic design, the hydraulic network, main, secondary or multiple and lateral, was calculated with nominal diameters of 2", 2" and 1" respectively, using the Hazen- Williams formula, in addition the Christiansen coefficient was calculated for multi-outlet pipes. The 4.8 HP Honda WH20XT motor pump was selected, with a design flow of 3.66 l/s and a total dynamic load of 33.94 m. After installing the irrigation system, the evaluation was carried out using the Christiansen (UC) uniformity coefficient, which was 91%.

Keywords: sprinkler irrigation, agronomic design, hydraulic design, evaluation, Christiansen uniformity coefficient.

1. Introducción

Según SENAGUA (2016) en el Ecuador la superficie potencialmente regable es de 3,136.085 ha, de las cuales 1,500.000 ha cuentan con infraestructura para el aprovechamiento del recurso.

Se estima que el 51% de la superficie regada aplica el agua a las parcelas por gravedad, ocasionando pérdidas de agua y de suelo; el 20% utiliza el riego por aspersión; el 2% riego por goteo y el 27% otro tipo de riego. (CAMAREN, 2006)

En la provincia de Loja, los proyectos de sistemas de riego se han basado principalmente en el diseño y la construcción, sin tomar en cuenta su operación y mantenimiento; es decir la parte social y organizativa. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) afirma que el principal problema es la inadecuada gestión de riego en la parcela, causando una baja producción y productividad de los cultivos, el deterioro del medio ambiente y la disminución de ingresos en los agricultores. (FAO, 2009)

Esto se ve reafirmado por Graf (2010) quien señala que el 60 % de agua se pierde debido a la manera ineficiente en que funcionan los sistemas de riego. El aprovechamiento y la optimización del uso del agua es una necesidad que se requiere implementar en los sistemas de riego.

La implementación de un sistema de riego por aspersión tiene grandes ventajas como son: el ahorro de mano de obra, mayor eficiencia de uniformidad y alta producción y productividad de los cultivos, evitando pérdida de fertilidad del suelo por acción de la escorrentía o la percolación profunda.

La parroquia 27 de abril, es una de las 6 parroquias rurales del cantón Espíndola dedicada a la agricultura familiar campesina, en donde la distribución de la lluvia a lo largo del año se caracteriza por dos épocas definidas; la primera comprende de noviembre hasta mayo, donde las lluvias satisfacen las necesidades hídricas de los cultivos; la segunda abarca los meses de junio a octubre, en este tiempo prácticamente no llueve y es necesario aplicar un riego integral a los cultivos.

Un problema fundamental en la parroquia es la utilización de método de riego. Chamba y González (2008) afirma, que, el método de riego más frecuente y utilizado, es por gravedad (58%) y otros (42%). Esto implica que en la localidad, las prácticas tradicionales siguen siendo utilizadas. Lo cual genera una baja eficiencia y uniformidad, provocando pérdidas de agua y suelo; además una productividad baja y costos de producciones elevados.

Se planteó la propuesta de “Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José” en el barrio Las Lajas de la parroquia 27 de Abril, para el aprovechamiento del recurso hídrico de forma eficiente en un área de 0.26 ha.

Los objetivos planteados fueron los siguientes:

Objetivo general

- Contribuir al mejoramiento de la eficiencia de uso del agua de riego en la finca San José.

Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de riego por aspersión en la finca San José.
- Implementar un sistema de riego por aspersión en la finca San José.
- Evaluar la eficiencia de uniformidad del sistema de riego implementado.

2. Revisión bibliográfica

2.1. Definición de riego

Es la reposición del agua en el suelo consumida por la planta por los fenómenos físicos de evaporación y transpiración, sin dificultar la absorción del agua por la planta, para así los cultivos se puedan desarrollar adecuadamente. (Demin, 2014)

2.2. Métodos de riego

Los principales métodos de riego que se utilizan son los siguiente:

2.2.1. Riego por superficie

Es la distribución del agua por acción de la gravedad y su eficiencia de aprovechamiento del agua es relativamente bajo debido a que a menudo sucede percolación profunda en el inicio del surco y esorrentía superficial al final del mismo. Este método es de bajo costo debido a que no requiere un consumo de energía. Existen varios tipos de riego por superficie de los cuales los principales son: surcos, melgas, pozas, riego por desbordamientos, entre otros. (Demin, 2014)

2.2.2. Riego presurizado

El sistema de riego presurizado está en función de la presión requerida por los emisores de aplicación de agua (aspersores, microaspersores o goteros). Esta presión puede ser dotada por el desnivel topográfico o una motobomba. Se utiliza tuberías hasta el cultivo para el traslado del recurso hídrico, evitando pérdidas de infiltración en la conducción y distribución. De esta forma se distribuye en forma de gotas (goteo) o de lluvia (microaspersion y aspersión), presentado altas eficiencias de aplicación. (Demin, 2014)

2.3. Factores de un sistema de riego

Los factores que afectan un sistema de riego son:

2.3.1. Suelo

El suelo es una composición de minerales, materia orgánica, agua y aire, los cuales forman capas degradadas por el pasar de los años, donde intervienen fenómenos físicos, químicos y biológicos (Cisneros, 2010). Por tanto, en el riego el suelo se comporta como un reservorio de agua, almacenada en los macro y microporos.

2.3.1.1. *Características físicas del suelo relacionadas con el riego*

Los componentes del suelo generan propiedades que le dan identidad. De las múltiples propiedades físicas que posee el suelo, se van a describir únicamente las propiedades básicas que influyen en el riego. Estas características son textura, profundidad, densidad aparente, densidad real y velocidad de infiltración. (Vásquez, Vásquez, Vásquez y Cañamero, 2017)

Textura: es definida por Rucks, García, Kaplán, Ponce de León y Hill (2004) como el porcentaje de arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla que está presente en el suelo. Para conocer el tipo granulométrico o la clase de textura que hay en el suelo es preciso realizar un examen de laboratorio, con el fin de analizar los resultados a través del Triángulo de Textura o también conocido como el Triángulo Textural, que se aprecia a continuación.

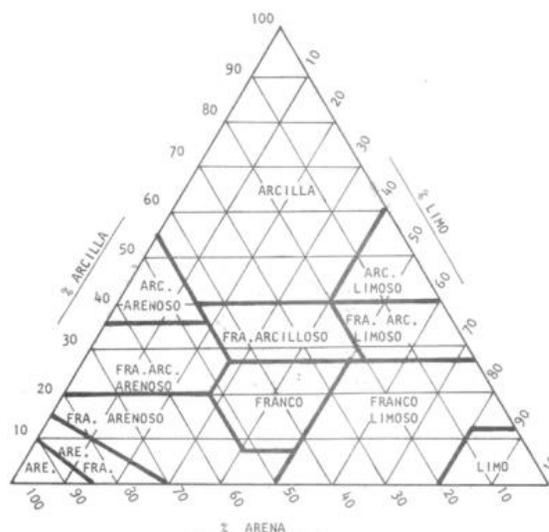


Figura 1. Triángulo de Textura.

Fuente: Rucks, et al., 2004

Para utilizar el triángulo granulométrico se ubica en cada uno de sus lados los porcentajes de arena, limo y arcilla que arroja el análisis de laboratorio, coincidiendo en un punto dentro del triángulo en una casilla que corresponde a la clase textural.

Profundidad efectiva: es el espacio en el que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin dificultades, con el objeto de conseguir el agua y los nutrientes indispensables. Los suelos pueden clasificarse de acuerdo a su profundidad efectiva en suelos profundos (1m o más), moderadamente profundos (0.60m), suelos poco profundos (menos a 0.25m). (Durán, 2017)

Densidad aparente: es la masa del suelo dividida para el volumen que ocupa esa masa de suelo, se calcula teniendo en cuenta el espacio ocupado por los poros al cuantificar el volumen de la muestra de suelo. Ésta afectada por su textura, estructura, contenido de materia orgánica, humedad y grado de compactación, principalmente. (Jaramillo, 2002)

Sin embargo, otros autores señalan que la densidad aparente simboliza la relación entre el peso de sólidos (P_s) o también masa de sólidos (M_s) y su volumen total (V_t) de una muestra de

suelo no disturbada, cuyos valores se expresan generalmente en g/cm^3 , t/m^3 o kg/dm^3 . (Vásquez, et al. 2017). Añaden que para calcular la densidad aparente es preciso seguir la siguiente fórmula:

$$D_{ap} = \frac{d_s}{V_t}$$

Donde:

D_{ap} = Densidad aparente (g/cm^3)

d_s = Densidad de suelo seco (g)

V_t = Volumen Total (cm^3)

2.3.1.2. *Contenidos de humedad del suelo relacionado con el riego*

Los contenidos de humedad relacionados con el riego en el suelo son:

Saturación: es el nivel de saturación se da cuando todos los poros del suelo se llenan de agua, por tal razón los poros no poseen aire y las plantas pueden morir por asfixia, ahí radica la importancia de regar en cantidades adecuadas. Por ejemplo, en la estación lluviosa no se tiene control sobre la cantidad de agua que cae, entonces aquí la saturación puede evitarse mediante canales de drenaje, para sacar el exceso de agua. (Mendoza, 2013)

Capacidad de campo: es la cantidad de agua que el suelo retiene en los microporos y corresponde a las condiciones de humedad después de la saturación y posterior drenaje a una tensión de 1/3 de atmosfera. Esto también depende principalmente del tipo de suelo. (Cisneros, 2003)

Punto de marchitez permanente: es el porcentaje de humedad contenida en los microporos de menor diámetro equivalente en donde las plantas no pueden tomar el agua del suelo,

sin poder recuperarse de la pérdida hídrica ocasionando el marchitamiento de la planta, estando a una tensión de 15 atmosferas. (Cisneros, 2003)

Suelo seco: es la pérdida total del agua del suelo lo contrario a la saturación, en donde los poros del suelo están en su totalidad llenos de aire. (Mendoza, 2013)

Agua aprovechable (AA): Amézquita (1999) considera que el agua aprovechable es un nombre derivado de su verdadero significado, expresión del contenido de la humedad del suelo de agua, contenida entre el punto de capacidad de campo y el de punto de marchitez permanente. Puede ser expresado en términos de lámina (LAA).

2.3.2. Clima

El clima es el estado de la atmósfera de un lugar, sus elementos son temperatura, humedad, vientos y precipitaciones (Moreno, 2009). Estos meteoros determinan la evapotranspiración de los cultivos, es decir los requerimientos de riego; así, como los métodos de riego. Por ejemplo, puede suceder que, por las características de los vientos, el sistema de riego por aspersión no pueda ser utilizado, siendo posible o más eficiente el método de goteo.

2.3.2.1. *Precipitación*

Precipitación es cualquier forma de agua que cae sobre la superficie terrestre; se mide en milímetros de capa de agua. Las características que la identifican son la intensidad, duración y frecuencia. De estas características la que condiciona los sistemas de riego es la frecuencia. (Cabrera, 2015)

2.3.2.2. *Temperatura*

La temperatura es un concepto amplio, pues como señala el autor Inzunza (s.f.) “se deriva de la idea de medir el grado de caliente o frío relativo y de la observación de las variaciones de

calor sobre un cuerpo”. Esta variable se puede expresar en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) o Kelvin ($^{\circ}\text{K}$). La temperatura ambiental es la que se utiliza en la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo.

2.3.2.3. *Humedad relativa*

La humedad es la cantidad de agua que contiene el aire en forma de vapor, estando en función de la temperatura, depende principalmente de varios factores como la lluvia, las plantas, si el lugar está cerca al mar, etc. Se puede medir en porcentaje, con valores de 0 a 100, indicando que 0 representa aire seco y el 100 aire saturado de humedad. (Inzunza, s.f.)

2.3.2.4. *Velocidad del viento*

La velocidad del viento es definida por como es el espacio recorrido de la masa de aire en determinado tiempo (segundos, minutos, horas, etc.). Estando en función de la temperatura ya que el aire se mueve de altas a bajas presiones generados por los cambios de temperaturas. La velocidad del viento se expresa en km/ h, m/ s. (Palma y Ramírez, 2013)

2.4. **Riego por aspersión**

Es la aplicación del agua sobre la superficie en forma de lluvia, la cual se infiltra en el suelo para la disposición de los cultivos. Un diseño adecuado de un sistema de riego por aspersión no produce escorrentía o erosión del suelo.

Este sistema moja toda la superficie del suelo y produce grandes pérdidas por evaporación, además funciona en zonas donde la velocidad del viento no es importante ya que produce pérdidas debido a una mala distribución del agua. (Demin, 2014)

2.4.1. **Ventajas y desventajas**

A continuación, se presentan las principales ventajas y desventajas:

Tabla 1.

Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.

Ventajas	Desventajas
Se adapta a todo tipo de superficies y topografías.	El sistema requiere estar presurizado para funcionar, lo cual implica el consumo de energía.
Es posible regular la intensidad de la precipitación de aplicación de agua en el suelo.	El costo de tubería y accesorios.
Tiene una alta eficiencia de riego y es de fácil operación.	Las zonas con vientos fuertes disminuyen la eficiencia del riego.
Es posible aplicar agroquímicos por la línea de riego.	Se incrementan los riesgos fitosanitarios.

Fuente: Huber (2005)

2.4.2. Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

Los sistemas por aspersión se clasifican en móviles, fijo y semifijos.

2.4.2.1. *Sistemas Móviles (portátil)*

Las tuberías se las puede mover tanto principales como laterales, reduciendo costos en tuberías y aumentando en mano de obra, operación y mantenimiento. (Arango, 2002)

2.4.2.2. *Sistema Semifijo*

Son sistemas de desmontaje rápido y esto son desplazados de un lugar a otro de forma manual o mecanizada. Son los sistemas de alas de riego y los cañones de riego. (Gómez et al., 2010)

2.4.2.3. *Sistema fijo*

Los sistemas de riego por aspersión fijos se caracterizan por conservar todos sus materiales y equipos sin la necesidad de moverlos. En este sistema los aspersores cubren toda la superficie que necesita riego. (Gómez et al., 2010)

2.4.3. Componentes de un sistema de riego por aspersión

Arango (2002) menciona que los principales componentes de un sistema riego son:

- Fuente de agua, la cual permite el abastecimiento del recurso hídrico.
- Fuente de energía que proporciona la presión del agua para que el sistema funcione.
- Sistema de distribución que son tuberías de conducción principal, secundarias, laterales y accesorios.
- Aspersores para enviar el agua en forma de lluvia sobre el suelo.

2.4.3.1. Fuente de agua

Carrazón (2007) señala que para el éxito de un buen sistema de riego lo principal es la fuente de agua, donde hay tener en cuenta tres aspectos:

- Proveniencia del agua: Puede ser de una fuente superficial o subterránea.
- Calidad del agua: Se debe realizar un análisis para determinar la calidad y tipo de sales que se encuentran en el agua. Se establece si es apta para el cultivo a implementar y el método de riego.
- La cantidad de agua: Que determina la superficie a regar y la necesidad de la construcción de un embalse.

2.4.3.2. Fuente de energía

Cadena (2016) menciona que es necesario una fuente de energía la cual es utilizada para llevar el agua hacia el cultivo; se la puede obtener mediante dos formas:

- Motobomba: Es una unidad compuesta por un motor que proporciona energía en forma de caudal y presión a los aspersores. El motor puede ser de combustión interna o eléctrico para su funcionamiento.

- **Desnivel topográfico:** Se utiliza el desnivel entre la fuente de agua y el terreno de riego para transformarlo en presión.

2.4.3.3. ***Red hidráulica***

Se utiliza diferentes tuberías desde la fuente de abastecimiento hasta el terreno para la distribución del agua, que por su función son:

Tubería principal: conducen el agua desde la fuente de abastecimiento hasta la primera derivación de los caudales que se dirigen a las distintas subunidades de riego.

Tuberías secundarias: conducen el agua desde la principal hasta un grupo de subunidades.

Tuberías terciarias: conocidas también como múltiples distribuyen el agua dentro de la unidad o parcela de riego; y.

Tuberías laterales se encargan de abastecer de agua a los aspersores en la parcela. Pueden ser fijas o móviles. Por el material que son construidas pueden ser de hierro galvanizado (HG), aluminio, polietileno (PE) o policlorurovinil (PVC). Además, para unir las distintas tuberías y regular los caudales y/o presión se utilizan diferentes accesorios. (Santos, Juan, Picornell & Tarjuelo, 2010)

2.4.3.4. ***Aspersores***

Son dispositivos que distribuyen el agua sobre el suelo y los cultivos imitando a la lluvia en forma de pequeñas gotas, siendo estos los responsables para una buena calidad de funcionamiento del sistema de riego. (Santos et al., 2010)

Cadena (2016) dice que los aspersores cumplen el rol más importante en el sistema de riego distribuyendo el agua sobre el cultivo. Existe una alta gama de aspersores según se finalidad a emplearse los cuales se clasifican en:

- Según el mecanismo de giro: Martillo o de impacto, balancín, trompo, hélice, giro rápido y giro parcial.
- Según la presión de trabajo: Baja presión (10 a 20 mca), media presión (20 a 40 mca) y alta presión (mayor a 40 mca)
- Según el número de boquillas: de una, dos o tres boquillas.
- Según la trayectoria o el ángulo de salida del chorro: ángulo bajo (menor o igual a 25°) y ángulo normal (25° a 45°)

2.5. Contenido de agua en el suelo

En suelo está constituido por tres fases: solida (minerales y materia orgánica), líquida (agua del suelo) y gaseosa (atmósfera del suelo). El agua del suelo se clasifica en: agua de drenaje contenida en los macroporos; agua útil o disponible por los cultivos contenida en los microporos entre los puntos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente; y, agua higroscópica o agua inerte que no puede ser utilizada por los cultivos. (Pizarro, 1996)

Valarezo, Iñiguez, Guaya y Valarezo (1998) señala que algunas propiedades físicas del suelo están relacionadas con el contenido de humedad y este es una determinante del contenido de aire y del intercambio gaseoso del suelo. Existen tres formas de expresar el contenido de agua en el suelo:

- Contenido de agua en base a masa o unidades de masa
- Contenido de agua en base a volumen o unidades de volumen
- Contenido de agua en unidades lineales, capa de agua o lámina (mm)

2.6. Energía del agua en el suelo

En el suelo existen dos tipos de energías: cinética la cual está relacionada con la velocidad del agua por lo que se la considera insignificante ya que es muy lenta; y, potencial está directamente relacionada con la posición y/o la condición interna. (Valarezo et al., 1998)

Pizarro (1996) dice que el potencial del agua en el suelo tiene cuatro componentes:

- Potencial o gravitacional
- Mátrica o matricial
- Osmótico
- Presión

2.6.1. Curva de retención del agua del suelo

Es la relación que existe entre el contenido de humedad en el suelo en términos de volumen y el potencial de retención de agua en el suelo. El potencial significa la energía que la planta utiliza para extraer el agua desde el suelo a un determinado nivel de humedad.

La energía necesaria para la extracción del agua del suelo aumenta cuando el contenido de humedad disminuye. La curva de retención del agua del suelo tiene dos límites definidos: límite húmedo y límite seco.

Con fines de riego para los cultivos existen dos puntos clave en la curva de retención de agua del suelo; el punto de marchitez permanente y el punto de capacidad de campo; la diferencia entre estos dos puntos es la humedad aprovechable total de agua en el suelo (Figura 2). Esta depende principalmente de la textura del suelo. (Vásquez et al., 2017)

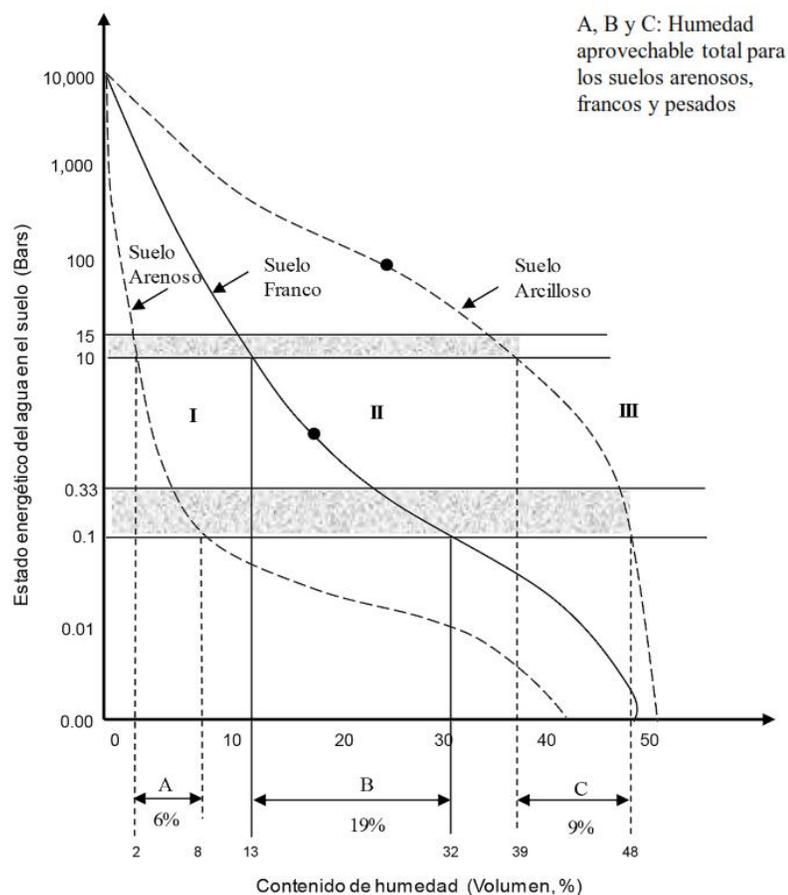


Figura 2. Curva de retención de tres tipos de suelos característicos.

Fuente: Rucks, et al., 2004

Valarezo et al. (1998) dice que los factores que determinan la forma de curva de retención de agua en el suelo son: la estructura, estructura y materia orgánica. Además, los parámetros de la curva de retención del agua en el suelo son: Saturación del suelo, capacidad de campo, capacidad de aireación o porosidad drenable, punto de marchitez permanente, agua útil o agua aprovechable, volumen físicamente inerte del suelo.

2.7. Infiltración del agua en el suelo

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo y es uno de los más importantes del ciclo hidrológico. La velocidad de infiltración, con relación a la velocidad del

suministro de agua, determina cuánta agua penetra en la zona no saturada y cuanto se pierde por escorrentía. (Cerdá, 1996 citado por Kunst, Ledesma, Basan, Angella, Prieto, y Godoy, 2003)

La velocidad de infiltración está directamente ligada a la textura del suelo con velocidades altas en suelos arenosos y bajas en suelos arcillosos. Los factores que afectan este proceso son: características del terreno o medio permeable (contenido de humedad) y del fluido que se filtra. (Ruíz & Martínez ,2015)

2.8. Diseño agronómico

Mullo (2016) menciona que el diseño agronómico se refiere al cálculo de las necesidades de agua que un cultivo requiere en época de mayor demanda, teniendo en cuenta el suelo, la calidad del agua y la climatología. El diseño agronómico se desarrolla en dos etapas: cálculo de las necesidades de agua de los cultivos y determinación de los parámetros de riego

2.8.1. Necesidades de agua del cultivo

Consiste en calcular la evapotranspiración del cultivo para ser compensadas mediante riego.

2.8.1.1. *Evapotranspiración*

Es la transferencia de agua del suelo hacia la atmosfera en función de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas; está en función de las variaciones climáticas y las características morfológicas y fisiológicas del cultivo respectivamente. (Vásquez et al., 2017)

2.8.1.2. *Evapotranspiración de referencia (E_t)*

Es la cantidad de evapotranspiración del cultivo de referencia, que generalmente se lo toma al pasto ray grass o alfalfa bajo condiciones estándar las cuales son óptimas para su desarrollo sin restricciones de agua. La variación climática son los únicos factores que determinan la

evapotranspiración de referencia. Siendo ésta calculada a partir de los datos meteorológicos expresada en mm/ día. (FAO, 2006)

Métodos para determinar la evapotranspiración de referencia: según Cadena (2016) los métodos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se dividen en:

- Directos: El método directo es el del lisímetro, que a su vez se pueden dividir en lisímetro volumétrico y gravimétrico; también se podría considerar el método de la parcela con tensiómetros, el tanque evaporímetro y los atmómetros de Livingston.
- Indirectos: Consisten en modelos matemáticos desarrollados en función de los datos meteorológicos entre los que se puede nombrar Thornthwaite, Turc, Hansen, Penman-Monteith, Criddle entre otros.

2.8.1.3. *Coefficiente de cultivo (kc)*

El coeficiente de cultivo es un valor que sirve para transformar los requerimientos hídricos del cultivo de referencia calculado con las fórmulas correspondientes en los requerimientos hídricos del cultivo a regar. El coeficiente Kc está en función de la etapa fenológica del cultivo o el índice de cobertura del mismo, siendo menor al inicio del cultivo y aumentando a medida que este se desarrolla, como lo indica en la figura 3.

2.8.1.4. *Evapotranspiración del cultivo (Etc)*

Es el requerimiento de agua que tiene el cultivo a regar en cada fase fenológica. Se lo calcula a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia y del coeficiente de cultivo, aplicando a la fórmula matemática. (FAO, 2006)

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ETc= Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo= Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kc= Coeficiente del cultivo

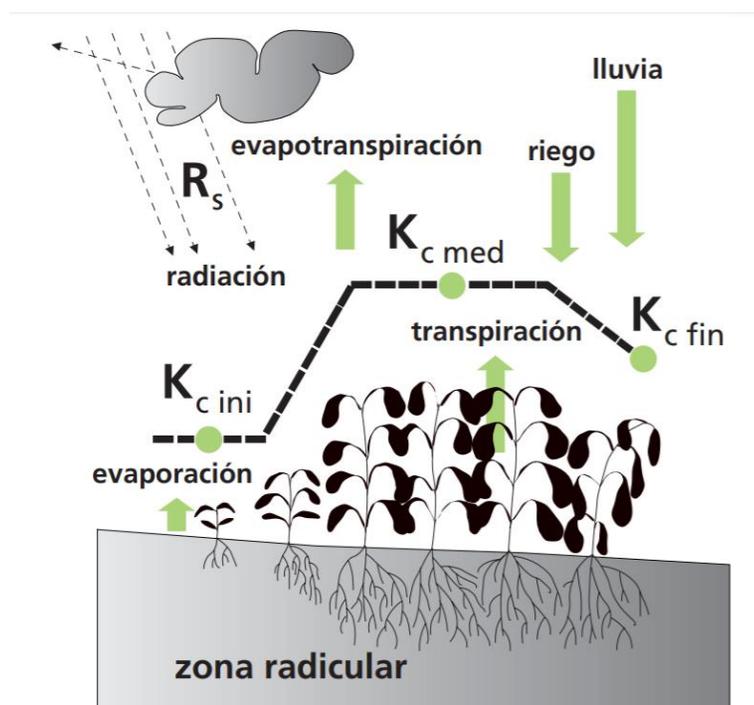


Figura 3. Proceso de la evapotranspiración del cultivo.

Fuente: FAO, 2006

2.8.1.5. *Parámetros de riego*

Láminas de riego: es la cantidad de agua que necesita un cultivo en un riego para subir el contenido de humedad desde el actual hasta capacidad de campo considerando la eficiencia de aplicación del método de riego utilizado. (Cadena, 2012)

➤ Lámina de agua aprovechable (LAA)

Maldonado (2012) menciona que lámina de agua aprovechable es la cantidad de agua que puede almacenar el suelo a determinada profundidad, definida por el cultivo entre los puntos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente

➤ Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)

Maldonado (2012) señala que “Es la cantidad de agua consumida por la planta entre dos riegos consecutivos, siendo la cantidad de agua que se debe aplicar en cada riego por unidad de superficie, entre los puntos de umbral de riego y capacidad de campo. Se obtiene del producto de: $LARA = LAA * UR$ ”. (gallegos, 2016, p. 40)

Umbral de riego: Consiste en no dejar el contenido de humedad en el suelo, manteniendo en niveles en que la planta no gaste mucha energía al momento de tomar el agua, por debajo de un valor que afecte el crecimiento de las plantas. (Chow, 2006)

Lámina de riego o lámina total (Lr): es la lámina de agua total que necesita el cultivo tomando en cuenta la eficiencia de aplicación, cada método de riego tiene definido. Para el riego por aspersión de 65 % a 85 % y riego localizado entre 80 % y 95%. (Monge, 2018). Se obtiene mediante la siguiente formula:

$$Lr = LARA_{ajus}/Ea$$

Donde:

Lr= Lámina de riego (mm).

LARA = Lámina de riego rápidamente aprovechable (mm)

Ea= Eficiencia del método de riego por aspersión (decimal).

Frecuencia de riego: Huber (2005) menciona que es la relación entre la disponibilidad de la lámina de agua rápidamente aprovechable de riego y la evapotranspiración del cultivo en una fase determinada, pudiendo variar en función de la evapotranspiración actual. Se calcula con la siguiente expresión matemática.

$$Fr = \frac{LARA}{ETc}$$

Donde:

Fr: frecuencia de riego (días)

LARA= Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

➤ Frecuencia de riego ajustado

Debido a los amplios intervalos entre riegos dentro del ciclo del cultivo y a las variaciones de las condiciones del tiempo atmosféricos es preciso reajustar la frecuencia a un intervalo de días menor para un manejo practico en los sistemas de riego. (Gallegos, 2016)

Selección del aspersor: el aspersor seleccionado es aquel que proporcione una intensidad de precipitación horaria inferior a la velocidad de infiltración básica, para de esta manera garantizar que no exista escorrentía superficial y por tanto erosión hídrica. (Gallegos, 2016)

Intensidad de precipitación (Ip): es una consecuencia del caudal emitido por el aspersor y la superficie mojada por el mismo, se calcula en base a la siguiente fórmula matemática. (Chow, 2006)

$$Ip = \frac{qa}{Sa * Sl} \rightarrow mm/h$$

Donde:

Ip= Intensidad de precipitación (mm/h)

Qa= Descarga del aspersor (l/h)

Sa = Distancia entre aspersores (m)

Sl = Distancia entre laterales (m)

Número de posiciones: el número de posiciones del aspersor para cubrir la superficie de riego es una relación entre la superficie de riego total y la superficie regada por cada aspersor. (Núñez, 2015)

Tiempo de riego por posición del aspersor: es el tiempo que el emisor debe funcionar para reponer el agua consumida por el cultivo por la evapotranspiración (Chow, 2006). Se calcula de acuerdo a la siguiente expresión matemática.

$$T_{PL} = \frac{Lr}{IP} \rightarrow \frac{mm}{mm/h} = horas$$

Donde:

Tr= Tiempo de riego (h)

Lr= Lámina de riego (mm)

Ip= Intensidad de precipitación del aspersor (mm/h)

Marco de riego: Valarezo (2013) dice que cuanto más pequeño es el marco de riego se obtiene una mayor uniformidad, lo que considera un adecuado traslape. El marco de riego se lo conoce también como superficie regada por el aspersor y por tanto es igual a la separación entre aspersores por la separación entre laterales. Estas distancias dependen de las características técnicas del aspersor, las mismas que se encuentran en los catálogos del fabricante o también se las puede obtener por experimentación en campo.

2.9. Diseño hidráulico

Es un procedimiento mediante el cual, partiendo desde el diseño agronómico, se calcula la longitud y diámetro de las tuberías de la red hidráulica (principal, secundaria, terciaria y laterales), además de la fuente de energía. (Núñez, 2015)

2.9.1. Pérdidas de carga por fricción longitudinal

La pérdida de carga consiste en la pérdida de energía de un fluido, por efecto de la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería y la velocidad del mismo. Los materiales de las tuberías empleadas en riego son policloruro vinil (PVC), polietileno (PE) y aluminio principalmente. Los factores que determinan la pérdida de carga son el caudal, diámetro interior de la tubería y coeficiente de fricción o rugosidad. Para el cálculo de la pérdida de carga de una tubería longitudinal se aplica siguiente ecuación matemática:

$$hf = J * L$$

Donde:

hf= Pérdida de carga en la tubería (m).

J= Gradiente hidráulico, o pérdida de carga en m/m o en m /100 m.

L= Longitud de la tubería (m)

➤ Fórmula de Hazen y William para tuberías

$$J = 1,21 \times 10^{10} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * (D)^{-4,87}$$

Donde:

J= Gradiente hidráulico o pérdida de carga (m/m)

Q= caudal (l/s)

C= coeficiente de fricción, depende de la naturaleza y estado material.

D= Diámetro interior de la tubería (mm)

➤ Fórmula de Scobey

$$J = 4.098 \times 10^{-3} * K * D^{-4,9} * Q^{1.9}$$

Donde:

J= Gradiente hidráulico o pérdida de carga (m/m)

Q= caudal (l/s)

K= coeficiente de rugosidad de Scobey.

D= Diámetro interior de la tubería (mm)

2.9.2. Pérdidas locales

Según López, Iglesias, Martínez e Izquierdo (2003) son pérdidas que se realizan en puntos concretos del sistema de riego, se relacionan en función de la altura de velocidad y diámetros nominales que se reducen o ensanchan, producto de la implementación, los accesorios son: válvulas, codos, uniones, etc. Se calcula en base a la siguiente ecuación matemática:

$$hm = K \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

hm= Pérdida (m)

v= Velocidad aguas abajo de la zona de alteración del flujo (m/s)

k= Coeficiente (Adimensional, Tabla 2)

g = valor de gravedad (9.81m/s^2)

Tabla 2.

Coefficientes de pérdidas para los accesorios más comunes.

Accesorio	K
Válvula de globo abierta	10
Válvula de ángulo abierta	5
Válvula de retención de clapeta	2.5
Válvula de compuerta abierta	0.2
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de radio grande	0.6
Codo de 45	0.4
Codo cerrado: inversión de flujo	2.2
Te estándar - dirección de paso	0.6
Te estándar - dirección desvió	1.8
Entrada recta	0.5
Salida brusca	1

Fuente: López et al. (2003)

2.9.3. Pérdida de carga en tubería multisalida (Diseño del lateral)

En los tubos laterales de riego por aspersión, se calcula las pérdidas por fricción considerando que a medida que la longitud se prolonga el caudal disminuye generando una disminución de las pérdidas por efecto de las salidas múltiples. Este fenómeno fue estudiado por el investigador norteamericano Christiansen, quien propuso un Coeficiente de Reducción por Salidas.

Valarezo (2013) menciona que en un lateral el caudal disminuye progresivamente debido al caudal utilizado por los aspersores, por ende, las pérdidas de fricción también disminuyen, por tal motivo es necesario corregirla. En función a la ubicación del primer aspersor se presentan tres condiciones:

- Cuando el primer aspersor está ubicado a una distancia igual al espaciamiento del resto de aspersores en un lateral.

$$F = \frac{1}{2n} + \frac{1}{(B+1)} + \frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2}$$

- Cuando el primer aspersor está ubicado a la mitad de distancia de espaciamiento del resto de aspersores en un lateral.

$$F = \left\lceil \frac{2n}{(2n-1)} \right\rceil \left\lceil \frac{1}{(B+1)} + \frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2} \right\rceil$$

- Cuando el primer aspersor está ubicado al inicio de la entrada del lateral.

$$F = \frac{n \left\lceil \frac{1}{B+1} + \frac{1}{2n} + \frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2} \right\rceil - 1}{n-1}$$

Donde:

B= Coeficiente en función del material de la tubería.

n= Número de salidas.

2.9.3.1. *Criterios para determinar el dimensionamiento de un lateral de aspersores*

Para el diseño de un lateral hay que tener un control de presiones. Monge (2018) manifiesta la diferencia de presiones máxima y mínima no debe superar el 20% de la presión nominal del aspersor, lo que ocasiona una diferencia de caudal que no debe ser mayor al 10 %. Se expresan en función de la siguiente ecuación:

$$\frac{P_o}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} = h_f \leq 0.2 \frac{P_a}{\gamma}$$

Donde:

P_o/γ = Presión máxima o en el origen del ramal (m)

P_n/γ = Presión mínima o presión en el último aspersor (m)

P_a/γ = Presión nominal del aspersor (m)

h_f = Pérdida de carga en el lateral (m)

2.9.3.2. *Cálculo de un lateral porta-aspersores*

Monge (2018) manifiesta que mediante experimentos se ha comprobado que a lo largo de un lateral el 75% de la pérdida por fricción se produce en el primer 1/3 de la longitud del lateral, situando en ese punto la presión media. Valarezo (2013) en base a la pendiente del terreno se presentan tres casos los cuales son:

- Lateral horizontal
- Lateral ascendente
- Lateral descendente

2.10. Eficiencia de Riego

Es conocida también como calidad de riego en la parcela. La eficiencia de riego es la relación que existe entre la cantidad de agua emitida por los aspersores y la cantidad de agua aprovechada, donde intervienen tres subcomponentes: eficiencia uniformidad, eficiencia aplicación y eficiencia de almacenamiento en el suelo. (Núñez, 2015)

2.10.1. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen

Un criterio de la calidad de riego es la uniformidad con la que se aplica el agua sobre la superficie de riego. Un coeficiente cuantitativo para medir la uniformidad muy aplicado en los sistemas de riego por aspersión es el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU). Un

coeficiente de uniformidad alto significa que el sistema tiene una buena distribución del agua en la zona de las raíces adecuada. (Núñez, 2015)

El coeficiente de Christiansen es la relación entre el promedio de las láminas almacenadas en el perfil del suelo a lo largo del campo regado y la desviación de dicho promedio, para un número específico de muestreos. (Antunez, Felmer & Mora, 2010)

$$CU = 100 \left[1 - \frac{\Sigma(Z_1 - m)}{n * m} \right]$$

Donde:

CU= Coeficiente de uniformidad (%).

Z₁= Lámina o volumen de agua recolectada en el pluviómetro de muestreo (mm o cm³).

m=Media de las mediciones de las láminas registradas (mm).

N= Número de puntos de medida o pluviómetros

2.10.2. Factores que intervienen en el coeficiente de uniformidad

Zapata (1996) menciona que interviene cuatro factores los cuales son: constructivos, dependen del proceso de fabricación y del material, los emisores pueden proporcionar mayor o menor caudal frente a otro en las mismas circunstancias; hidráulicos, los emisores pueden estar en funcionamiento a diferentes presiones debido a las pérdidas de carga; envejecimiento; y, obstrucción.

2.11. Selección del equipo motobomba

Las motobombas centrífugas mueven un cierto gasto o caudal de líquido entre dos niveles; son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico. Están constituidas por: una tubería de aspiración y un impulsor o rodete. (Fernández, 2005);

además, por una tubería de impulsión y por un motor que puede ser de combustión interna o eléctrico que provee de energía a la bomba.

2.11.1. Carga dinámica total

Es la suma de total de todas las resistencias del sistema de riego por aspersión las cuales son: desnivel geométrico, pérdida de carga por fricción en la tubería de succión y descarga; y, a la carga de velocidad. (Luege, 2007)

2.11.2. Potencia de la bomba

Luege (2007) señala que la potencia útil de una motobomba es la que transfiere a una liquido en forma de caudal y altura se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$PB = \frac{QB * CDT}{\eta * 76}$$

Donde:

PB= Potencia de la bomba (Hp)

QB= Caudal de diseño (l/s)

CDT= Carga dinámica total (m)

η = Eficiencia de la bomba (decimal)

Se debe realizara una corrección a la potencia de la motobomba en base a la altitud. (Tabla 3)

Tabla 3.

Coefficiente de corrección por altitud.

Altitud sobre el nivel del mar (m)	Factor de corrección
0	1.00
500	1.09
1000	1.18
2000	1.37
3000	1.70
4000	2.13

Fuente: Luege (2007)

2.12. Gestión social del riego

Permite visualizar el riego como una construcción eminentemente social, enfoque basado en la equidad que supera la visión tradicional de la obra de riego con un simple problema de ingeniería hidráulica. Con ello se lleva un mayor nivel de apropiación de la obra por parte de los campesinos y pequeños productores, una solución de los problemas y conflictos potenciales que surgen en torno a la distribución y uso del recurso con el propósito de que el agua se considere un bien común, el riego en el sector campesino es el componente de desarrollo más importante para fortalecer la organización social. () se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- La organización de las juntas de agua de riego
- Distribución del agua
- Gestión ambiental del agua
- Gestión tecnológica del agua

2.13. Importancia del riego en el maíz

El recurso agua tiene un gran valor para la agricultura, pues es a partir de ella que todas las plantas pueden llegar a desarrollarse y producir los alimentos necesarios por el ser humano. La

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (2003) considera que el agua es un recurso indispensable para todos los cultivos en un nivel apropiado de calidad, cantidad y aplicación oportuna.

Por otro lado, el agua ocupa un rol fundamental en la economía del Ecuador, pues como afirma Camaren (2017) con disponibilidad de agua se disminuyen los riesgos de la producción debido a los cambios en el clima; incrementa ciclos de producción; aumenta la biodiversidad y mantiene cubierto el suelo; reorganiza el uso de los recursos como tierra, agua y también la mano de obra. Pero sobre todo aumenta el empleo y la economía de las familias.

Por tal razón el uso eficiente del recurso hídrico en el maíz es de gran importancia, porque sin él en las zonas tropicales cuando hay estrés hídrico o sequía durante las primeras etapas (15 a 30 días) de establecido del cultivo, puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional o estancar su crecimiento. (Deras, 2014)

En cambio, si el estrés hídrico se produce durante la floración, el cultivo se vería seriamente afectado debido a que en este periodo se encuentra muy sensible a la sequía. Deras (2014) indica que el maíz necesita de 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo, para obtener calidad en el mismo.

3. Materiales y métodos

3.1. Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra en el barrio Las Lajas de la Parroquia 27 de Abril, del cantón Espíndola, provincia de Loja. La parroquia cuenta con una superficie de 4126 ha. Posee dos tipos de clima Tropical Seco y Subtropical Seco, con una temperatura que fluctúa entre 18 a 22 °C, con una precipitación promedio anual de 900 milímetros. Presenta un rango altitudinal que va de 680 a 2800 msnm, con un relieve montañoso. Además, tiene una población de 2086 personas según el INEC (Censo2010).

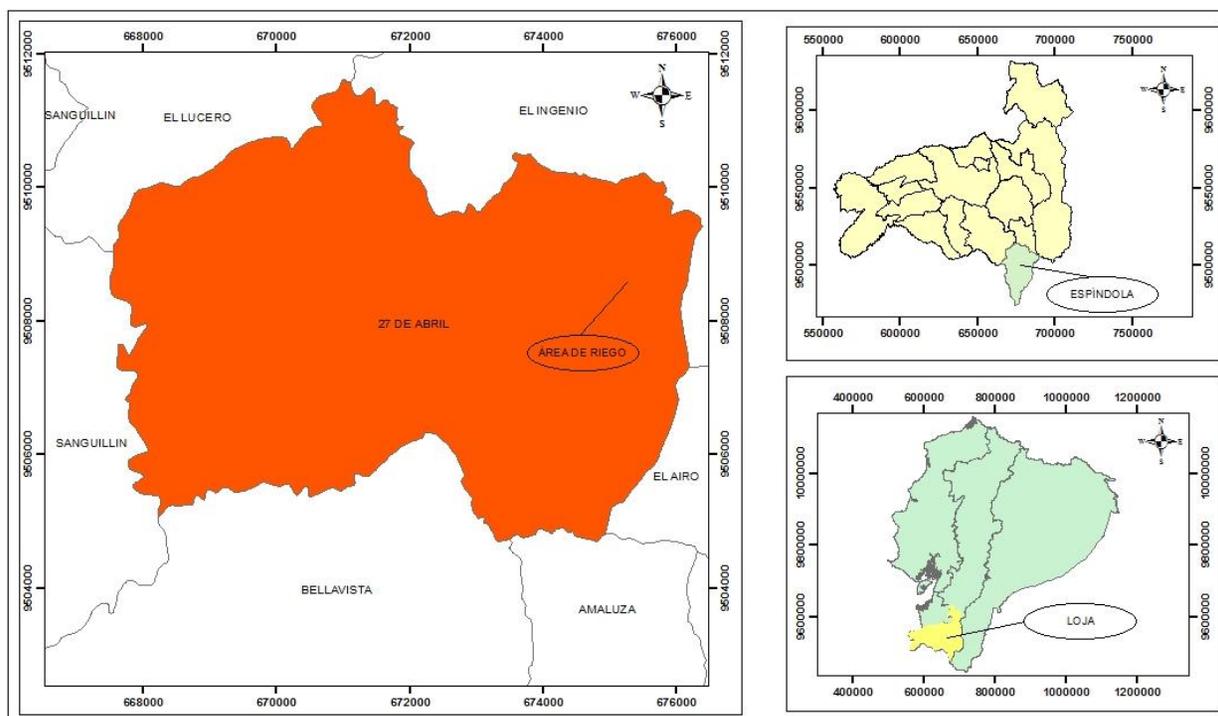


Figura 4. Ubicación de la zona de estudio.

La parroquia 27 de abril se ubica al noroeste del cantón Espíndola, limita al norte con la parroquia El Ingenio y El Lucero; al sur con las parroquias Bellavista y Amaluzá; al este con las

parroquias El Ingenio y El Airo; y, al oeste con la parroquia Sanguillín. El área de estudio según el sistema de coordenadas planas (UTM) se localiza en la zona 17 Sur:

- Norte: 9510756 m
- Este: 671735 m
- Altura: 1125 msnm

3.2. Materiales

Los materiales que se utilizaron fueron los siguientes:

- Estación total
- GPS
- Computadora
- Calculadora
- Material bibliográfico
- Muestras de suelos
- Cilindros Koppecky de 100cc
- Barreno extractor de muestras
- Estufa
- Balanza analítica
- Ollas de presión
- Estacas
- Pintura
- Manómetro

3.3. Metodología

La metodología que se siguió para cada uno de los objetivos fue la siguiente:

3.3.1. Metodología para el primer objetivo

“Diseñar un sistema de riego por aspersión en la finca San José”

3.3.1.1. *Aforo del caudal de la fuente de agua*

La fuente de agua para abastecer al sistema de riego, es un canal sin nombre que pasa cercano al terreno regar. Para su aforo se utilizó el método de velocidad – superficie transversal, conocido como el método del flotador. El procedimiento que se siguió fue:

Primero, se seleccionó un tramo recto de 10 m de canal y se ubicó dos señales visibles; posteriormente se utilizó una bola de espuma flex, la cual se lanzó un poco antes de la primera señal, con el propósito de que ésta adquiriera la velocidad del flujo al momento de pasar por la señal, y se midió el tiempo, hasta que el flotador pasó por la segunda señal. Con los datos obtenidos se calculó la velocidad del flujo. Estas lecturas se repitieron cuatro veces, para obtener la velocidad media.

Para calcular el área transversal mojada del canal, se midió el calado y el ancho de la solera en cuatro sitios distintos para obtener un área transversal promedio. Además, se realizó una corrección el cual es relacionado con la velocidad en base al tipo de canal y la profundidad del mismo. Con esta información se procedió a determinar el caudal por medio con la siguiente expresión matemática:

$$Q=A*V*Fc$$

Donde:

Q= Caudal (m³/s)

A= Área (m²)

V= Velocidad (m/s)

Fc= Factor de corrección

3.3.1.2. *Superficie de riego*

Para la determinación de la superficie de riego se ejecutó un levantamiento topográfico mediante el siguiente procedimiento:

Con el GPS diferencial se obtuvieron las coordenadas de partida de la estación total.

- Se levantó la información con la estación total, con un distanciamiento de 5 metros entre los puntos para precisar mayor detalle.
- La información adquirida se procesó en el programa AutoCAD Civil 2018, donde se obtuvo el plano topográfico del área de estudio.

3.3.1.3. *Suelo*

Para el diseño del sistema de riego se requieren datos de las características del suelo relacionadas con el riego, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

- El número de muestras se determinó con base en la superficie y con las características visibles del suelo.
- Muestras inalteradas las cuales fueron tomadas con los cilindros Koppecky de 100 cm³, realizando un corte transversal sobre el suelo por tres muestras completamente al azar y dos repeticiones de cada una, tomando en cuenta dos profundidades de 0 a 25 cm y de 20 a 50 cm.

En el laboratorio de agua y suelos del Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, se realizó los siguientes análisis:

- Textural aplicando el método de Bouyoucos.
- Densidad aparente.
- Capacidad de campo, con la cámara de presión a una tensión de 1/10 y 1/3 de atmosfera.

- Punto marchitez permanente, con la cámara de presión a una tensión de 15 atmosferas.

Curva de retención de humedad del suelo: se procesó en el programa Excel los resultados de las constantes hidrofísicas del suelo, donde se graficó la curva de retención de humedad relacionando en el eje X el contenido volumétrico de humedad y en eje Y el potencial hídrico. (Figura 6)

Velocidad de infiltración del agua en el suelo: para obtener la velocidad de infiltración se utilizó el método de los anillos infiltrómetros, el mismo que consiste en obtener pares de datos de la velocidad de infiltración y su relación con el tiempo de contacto de agua con el suelo, para luego esta información ser procesada en un modelo matemático conocido como la ecuación de Kostiakov, que permite predecir la velocidad de infiltración de agua en el suelo para cualquier tiempo de riego.

3.3.1.4. *Diseño agronómico*

El diseño agronómico es fundamental para el diseño de un sistema de riego por aspersión consiste en una planificación de uso del agua que toma en cuenta las características del suelo y del cultivo, que termina con la identificación del caudal de diseño del sistema de riego con base en la frecuencia de riego y tiempo de riego. Para determinar el diseño agronómico se realizó el siguiente procedimiento:

Evapotranspiración del cultivo (Requerimientos hídricos): la FAO (1997) recomienda utilizar la siguiente expresión matemática para obtener la evapotranspiración del cultivo, razón por la cual se la utiliza en este estudio:

$$ET_c = ET_o * k_c$$

Donde:

ETc= Evapotranspiración máxima del cultivo (mm/día)

ETo= Evapotranspiración potencial del cultivo de referencia (mm/día)

kc = Coeficiente de cultivo, que relaciona la evapotranspiración del cultivo con la evapotranspiración del cultivo de referencia, es una fracción adimensional.

➤ Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia se calculó aplicando la fórmula de Penman – Monteith, que se encuentra desarrollada en el programa CROPWAT 8.0 de la FAO. Los datos generados por este modelo matemático para cada sitio donde existen estaciones meteorológicas, fueron procesados para obtener la información para la zona de estudio; para lo cual se utilizó un sistema de información geográfico SIG que por medio del método de regresión lineal de acuerdo a la altitud se generaron los datos. Se seleccionaron las estaciones climáticas Amaluza, Cariamanga y Nambacola. Rodeando el área de estudio, los datos requeridos fueron humedad relativa, velocidad del viento, heliofania, temperatura máxima y mínima, los cuales fueron recuperados de los anuarios del INAMHI (Instituto nacional de meteorología e hidrología) en un periodo de 17 años (1995-2012). Mismos que fueron procesados en el programa CROPWAT 8.0 con la finalidad de determinar la evapotranspiración de referencia de cada estación (Anexo 5), las cuáles fueron corregidas en el Excel empleando las siguientes expresiones matemáticas.

$$ETo = ETo \text{ mensual} + (r(Z_{Det} - Z_{Det}))$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración de referencia corregida (mm)

ETo mensual= Evapotranspiración de referencia mensual (mm)

r = Gradiente (altitudinal)

Z_{Det} = Altura determinada (m)

$Z_{estación}$ = Altura de la estación (m)

Los datos corregidos se interpolaron en el programa ArcGis. Posteriormente se descargó un modelo digital terrestre de la página del Instituto Geográfico Militar, para aplicar la expresión matemática.

➤ Coeficiente experimental k_c del cultivo

En base a los resultados obtenidos por Ureña (2017) sobre la curva del k_c del cultivo de maíz, se identificaron las etapas fenológicas. Tomando en cuenta la fecha de siembra y los meses del ciclo del cultivo se graficó la curva del k_c , ingresando los valores del periodo de días de cada fase en el eje de las X, y en el eje de las Y los valores del coeficiente del cultivo k_c . Esto permitió que el día 15 de cada mes se obtuviera el coeficiente k_c respectivo.

Parámetros de riego: en base a los resultados del clima, cultivo y propiedades hidrofísicas del suelo se calcularon las láminas de riego y el tiempo de riego, seleccionando el aspersor que se adaptó a las condiciones del terreno.

➤ Lámina de agua aprovechable, LAA

Para el cálculo de la lámina de agua aprovechable, se usaron los datos de las características hidrofísicas del suelo obtenidas en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional de Loja; mientras que, para la determinación de la profundidad efectiva de riego, se midió en el sitio de estudio. El procedimiento para la medición consistió en seleccionar 10 plantas, en la fase de máximo desarrollo vegetativo y junto al tallo realizar una calicata para por observación identificar

la profundidad de aproximadamente del 80% de la masa radicular, que correspondió a aproximadamente el 70 % de la profundidad total.

$$LAA = \frac{(CC - PMP)}{100} * \frac{Da}{Dw} * P.ef$$

Donde:

LAA= Lámina neta de agua a aplicarse (mm)

CC= Contenido de humedad a capacidad de campo expresado en términos de masa (%)

PMP= Contenido de humedad punto de marchitez permanente expresado en términos de masa (%)

Da= Densidad aparente del suelo (g/cm³)

Dw= Densidad del agua (g/cm³)

P.ef= Profundidad efectiva de las raíces (mm). a 70% de la profundidad total

➤ Lámina de agua rápidamente aprovechable LARA

Se usó la siguiente fórmula:

$$LARA = LAA * P$$

Donde:

LARA= Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

P= Porcentaje de agotamiento (decimal)

LAA= Lámina neta de agua a aplicarse (mm)

➤ Frecuencia de riego (Fr)

$$Fr = \frac{LARA}{ETc}$$

Donde:

Fr: frecuencia de riego (días)

LARA= Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

➤ Frecuencia de riego ajustado (Fr_j)

En base a las condiciones de jornada de trabajo del agricultor, se ajustó la frecuencia de riego, planteándola a una vez por semana, haciendo de este un sistema práctico y funcional.

Entonces la frecuencia de riego ajustada es igual a 7 días.

➤ Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada $LARA_{ajus}$

Se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$LARA_{ajus} = ETc * Fr_{ajus}$$

De donde:

$LARA_{ajus}$ = Lámina de riego rápidamente aprovechable (mm)

ETc= Evapotranspiración del cultivo, (mm/día)

Fr_{ajus} = Frecuencia de riego ajustada, igual a 7 días

➤ Lámina de riego (Lr)

La lámina de riego aprovechable se obtuvo mediante la siguiente formula:

$$Lr = LARA_{ajus}/Ea$$

Donde:

Lr= Lámina de riego (mm).

$LARA_{ajus}$ = Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

Ea = Eficiencia del método de riego por aspersión (decimal).

➤ Selección del Aspersor

La velocidad de infiltración del suelo y las características de diseño del aspersor, permitieron seleccionar un aspersor en función de la presión de funcionamiento, caudal de emisión y diámetro húmedo.

➤ Intensidad de Precipitación (I_p)

Con las características del aspersor seleccionado, se procedió a calcular la intensidad de precipitación horaria, la misma que posteriormente servirá para el cálculo del tiempo de riego. Su cálculo se lo hizo con la siguiente fórmula:

$$I_p = \frac{q_a}{S_a * S_l}$$

Donde:

I_p = Intensidad de precipitación (mm/h)

Q_a = Descarga del aspersor (l/h)

S_a = Espacio entre aspersores (m)

S_l = Espacio entre laterales (m)

➤ Número de aspersores por lateral (NAL)

El número de aspersores por lateral se calculó de acuerdo a la siguiente expresión matemática:

$$NAL = \frac{LTL}{Sa}$$

Donde:

NAL= Número de aspersores por lateral (u)

LTL= Longitud del terreno en dirección del lateral (m)

Sa = Espacio entre aspersores (m)

➤ Longitud del Lateral (LL)

Cuando el primer aspersor se ubica a mitad de la separación entre aspersores (Sa/2), entonces la longitud del lateral se determinó de acuerdo a la siguiente formula.:

$$LL = Sa * (NAL - 0.5)$$

Donde:

LL= Longitud del lateral (m)

Sa= Espacio entre aspersores (m)

NAL= número de aspersores por lateral (u)

➤ Caudal del Lateral QL

El caudal del lateral se determinó de acuerdo a la siguiente expresión matemática:

$$QL = qa * NAL$$

Donde:

QL= Caudal del lateral (l/h)

qa= Caudal del aspersor (l/h)

- Número laterales en el área NPL

Para el caculo del número de laterales se empleó la siguiente expresión matemática:

$$NPL = \left(\frac{LTS}{SL} \right) * n$$

NPL= Número laterales en la secundaria (u)

LTS= Longitud del secundario en dirección del secundario (m)

n= Número de lados

SL = Espacio entre laterales (m)

- Tiempo de posición del Lateral

El tiempo de posición del lateral se caculo con la siguiente formula:

$$TPL = \frac{Lr}{IP}$$

TPL= Tiempo de riego por posición por lateral (h)

Lr= Lámina de riego (mm)

Ip= Intensidad de precipitación del aspensor (mm/h)

- Caudal Secundario

El caudal del secundario se calculó de acuerdo a la siguiente expresión matemática:

$$QS = QL * NL$$

Donde:

QS= Caudal línea secundaria (l/h)

QL= Caudal del lateral (l/h)

NL= Número de laterales en operación

3.3.1.5. *Diseño hidráulico*

El diseño hidráulico consistió en la determinación de los diámetros de la red hidráulica del sistema de riego con base en dos criterios: pérdida de carga por fricción permitida y / o velocidad del agua en la tubería; además, de la presión de trabajo de las tuberías con base en la presión hidrostática. Las pérdidas de carga por fricción de las tuberías se calcularon empleando la fórmula de Hazen – William; y, en las tuberías múltiple y lateral se corrigió la pérdida de carga por fricción por longitud, por ser estas tuberías multisalidas, el ajuste se hizo con el factor de corrección de Christiansen.

Pérdidas de carga por fricción en la principal: para calcular la pérdida por fricción de la tubería principal se utilizó la fórmula de Hazen y William para tuberías de PVC o Polietileno.

$$hf = J * L$$

Donde:

hf = Pérdida de carga en la tubería para una longitud (m).

J= Pérdida de carga por fricción en una tubería en m /m o gradiente hidráulico (m/m).

L= Longitud de la tubería (m)

El gradiente hidráulico se calculó utilizando la siguiente expresión matemática

$$J = 1,21 \times 10^{-10} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * (D)^{-4,87}$$

Donde:

Q= caudal en l/s.

C= coeficiente de fricción.

D= Diámetro interior de la tubería (mm)

Pérdidas de carga por fricción en la múltiple y lateral: las tuberías múltiple y lateral son de salidas múltiples, por lo que las pérdidas de carga por fricción se calcularon utilizando la siguiente fórmula matemática.

$$hf = J * L * F$$

Donde:

hf= Pérdida de carga en la tubería (m).

J= Gradiente hidráulico (m/m).

L= Longitud de la tubería (m)

F= Coeficiente de reducción de pérdidas de Christiansen (adimensional).

La ubicación de la primera lateral en el diseño del sistema de riego, está al inicio de la múltiple, por lo que el factor de corrección para salidas múltiples (Christiansen) se utilizó cuando $S_a = 0$; mientras que, para la lateral, el primer aspersor se lo ubicó a una distancia igual a la mitad de la separación entre aspersores, por lo que se utiliza el factor F para $S_a / 2$.

$$S_a: 0 \quad F = \left(\frac{2n}{2n-1} \times \frac{1}{B+1} + \left(\frac{(B-1)^2}{6n^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$S_a: S_a/2 \quad F = \left[\frac{2n}{2n-1} \right] \left[\frac{1}{B+1} + \left[\frac{(B-1)^2}{6n^2} \right]^{\frac{1}{2}} \right]$$

Donde:

n= Número de aspersores en el lateral.

B= Factor que depende del material de la tubería.

Presiones de lateral: para cumplir con la condición que la diferencia de presión entre el aspersor que funciona a mayor presión y el que funciona con menor presión dentro del sistema de riego no debe exceder al 20 % de la presión nominal, se eligió el aspersor en el lateral más crítico, el cual está de forma ascendente y el aspersor más crítico en el lateral descendente; y, en estos se calcularon las presiones con las siguientes fórmulas matemáticas:

Presión en el aspersor crítico ascendente

- Presión al inicio del lateral $\left(\frac{P_o}{\gamma}\right)$.

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4}H_f + \frac{H_g}{2} + H_a$$

Donde:

P_o/γ =Presión al inicio del lateral (m)

P_a/γ =Presión de trabajo del aspersor (m)

H_g = Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)

H_a = Altura del elevador (m)

H_f = Pérdida de carga del lateral (m).

- Presión al final del lateral $\left(\frac{P_n}{\gamma}\right)$.

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4}H_f - \frac{H_g}{2}$$

Donde:

P_n/γ =Presión final del lateral (m)

Pérdidas de carga locales: las pérdidas de los diferentes accesorios se calcularon utilizando la siguiente expresión matemática:

$$H_{f_{sec}} = (\Sigma km) * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$H_{f_{sec}}$ = Energía por unidad de peso pérdida en el accesorio (m).

km = Coeficiente de pérdida menores del accesorio (Adimensional).

v = Velocidad media del flujo en la tubería (m/s).

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

Cálculo de la velocidad media: para el cálculo de la velocidad media del agua en las tuberías, se consideró que estén dentro del rango óptimo (0.5 y 2.5 m/s) empleado la siguiente expresión matemática.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

V = Velocidad media de la tubería (m/s)

Q = Caudal de la conducción de la tubería (m³/s)

A = Área de la sección circular interna de la tubería (m²)

El área interior de la tubería se calculó en base a la siguiente expresión matemática.

$$A = \pi * r^2$$

Donde

r= Radio interior de la tubería (m)

3.3.1.6. *Selección de la motobomba*

La motobomba se selecciona en función de la altura manométrica total o carga dinámica total (CDT), caudal de diseño y potencia de la bomba en base al siguiente procedimiento:

Carga dinámica total (CDT): para el cálculo de la altura manométrica total se sumó la altura geométrica o desnivel más la altura de aspiración, las pérdidas de carga por fricción por longitud, las pérdidas de carga por accesorios y las pérdidas de carga secundarias o por accesorios. Este procedimiento se realizó en base a las siguientes formulas:

$$CDT = H_{geo} + H_{asp} + P_{asp} + H_{elev} + hf + hf_{succ} + hf_{sec} + hv$$

H_{geom} = Altura geométrica de impulsión (m)

H_{asp} = Altura de aspiración (m)

P_{asp} = Presión del aspersionador (m)

H_{elev} = Altura del elevador (m)

hf = Pérdidas por fricción en las tuberías (m)

hf_{succ} = Pérdidas por fricción en la tubería de succión (m)

hf_{sec} = Pérdidas por fricción por accesorios (m)

hv = Pérdidas por velocidad (m)

Máxima ubicación de la motobomba sobre el espejo de agua UB: se calculó la altura máxima que se puede ubicar el equipo motobomba, con las siguientes fórmulas matemáticas:

$$UB = NPSH_{dis} - NPSH_{req}$$

Donde:

UB= Ubicación de la motobomba (mca)

NPSH_{dis}= Carga neta positiva de succión disponible (mca)

NPSH_{req}= Carga neta positiva de succión requerida (mca)

Carga neta positiva de succión disponible, para evitar cavitación se obtuvo mediante la siguiente expresión matemática:

$$NPSH_{dis} = P_{atm} - P_{vapor} - hf_{succ} - hf_{acces\ succ}$$

Donde:

P_{atm} = Presión atmosférica del sitio (mca)

P_{vapor}= Presión de vapor del agua (mca)

hf_{Succ} = Pérdidas por fracción en la tubería de succión (mca)

hf_{acces suc} = Pérdidas por fricción por accesorios en la tubería de succión (mca)

El cálculo de la presión atmosférica del sitio donde se implementó el proyecto se calculó mediante la siguiente fórmula matemática:

$$P_{atm} = 10.3 - \frac{altitd}{900}$$

Donde:

altitud = Altitud sobre el nivel del mar de la zona de estudio (m)

Potencia requerida: la potencia de la bomba fue determinada en función del caudal de bombeo, carga dinámica total y la eficiencia de la bomba de acuerdo a la siguiente expresión matemática.

$$PB = \frac{QB * CDT}{\eta * 76}$$

Donde:

PB= Potencia de la bomba (Hp)

QB= Caudal de diseño (l/s)

CDT= Carga dinámica total (m)

η = Eficiencia de la bomba (decimal)

Se debe realizar dos correcciones a la potencia obtenida, para corregir la cantidad de oxígeno en la atmósfera (altitud) y para un nivel de aceleración adecuado. Se realizó en base a las siguientes formulas respectivamente:

$$P(HP) = PB(HP) * F \quad P \text{ motor}(HP) = P(HP)/Fc$$

Donde:

F= Factor de corrección de acuerdo a la altitud (Tabla 3).

Fc= Factor para lograr la máxima vida útil del motor.

Pmotor= Potencia del motor (HP).

Se contrasto el dato obtenido con las motobombas del mercado y se seleccionó en base a la curva característica de la motobomba.

3.3.2. Metodología para el segundo objetivo

“Implementar un sistema de riego por aspersión en la finca San José”

3.3.2.1. *Replanteo de ubicación de la red hidráulica*

Con la estación total se replanteó el diseño previamente realizado en el programa AutoCAD Civil 2018. Se marcó con estacas los vértices de las líneas principal, múltiple y laterales y el sitio donde se ubicará el tanque de abastecimiento de la motobomba y la base de la misma. Se requirió mano de obra calificada y no calificada.

3.3.2.2. *Instalación de la red hidráulica*

Se realizó el siguiente procedimiento:

- Desbroce de la trayectoria de la red hidráulica.
- Excavación de zanjas para la instalación de las distintas tuberías del sistema de riego.
- Instalación de las tuberías con sus respectivos accesorios.
- Instalación de los aspersores con sus respectivos elevadores
- Como el sistema de riego es fijo el material desalojado por la excavación de las zanjas se utilizó como relleno de las mismas.

3.3.2.3. *Estación de bombeo*

La estación de bombeo consta de:

- Canal de acceso al pozo de bombeo desde el canal de riego.
- Pozo de bombeo.
- Base o plataforma de soporte de la motobomba.

3.3.3. Metodología para el tercer objetivo

“Evaluar la eficiencia de uniformidad del sistema de riego por aspersión”

Para la evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) se procedió de la siguiente manera:

- Selección de la superficie donde se midió el CUC, que consistió en la superficie en cuyos cuatro vértices se encuentra un aspersor; esta equivale dentro del diseño a la superficie regada por un aspersor.
- Ubicación de pluviómetros para recolectar la precipitación de los aspersores. (Figura 5)
- Medición del volumen recolectado por cada pluviómetro.
- Transformación del volumen recolectado a lámina o columna de agua con la siguiente expresión matemática:

$$\text{Lamina} = \frac{V}{A} * 10$$

Donde:

Lámina= Lámina recolectada (mm)

V= Volumen recolectado en el pluviómetro (cm³)

A= Área de recolección del pluviómetro (cm²)

- Cálculo del coeficiente de uniformidad mediante la siguiente expresión matemática:

$$\text{CUC} = 100 \left[1 - \frac{\Sigma(Z_1 - m)}{n * m} \right]$$

Donde:

CUC= Coeficiente de uniformidad (%).

Z_1 = Lámina de agua de cada pluviómetro (mm).

m = Media de las láminas recolectadas (mm).

N = Número de puntos de medida.

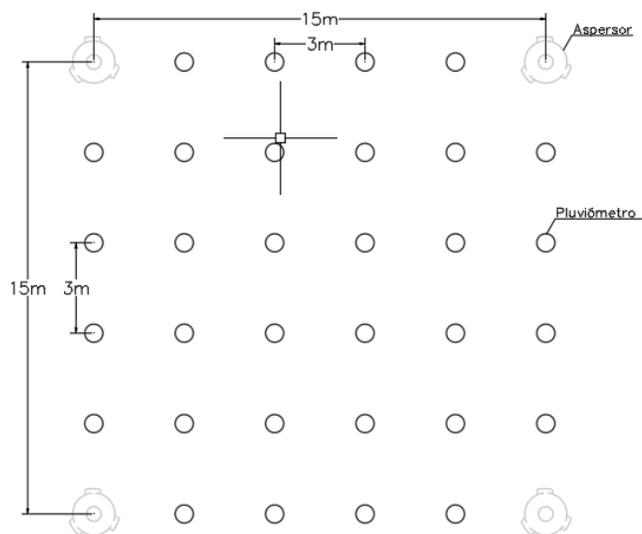


Figura 5. Diagrama de la evaluación del sistema de riego.

4. Resultados y discusión

4.1. Resultados para el primer objetivo

4.1.1. Caudal disponible para el riego

Se obtuvo un caudal promedio diario de 32 l/s en época de estiaje, el cual es permanente de mes de julio hasta agosto debido a que es la capacidad máxima del canal de riego, mismo que sirve como referencia para el diseño del sistema de riego. (Anexo 1)

$$Q=A*V*Fc$$

$$V = \frac{e}{t} = \frac{10m}{80s} = 0.125m/s$$

$$A = b * h = 0.8m * 0.4m = 0.32m^2$$

$$Q = 0.32m^2 * 0.125m/s * 0.8 = 0.032m^3/s = 32l/s$$

4.1.2. Levantamiento topográfico de la superficie a regarse

Se procesó los datos de campo en el programa AutoCAD dando como resultado un plano con curvas de nivel cada 0.4 m; y, una superficie a regarse de 0.26 ha con una pendiente de 5 %. (Anexo 12)

4.1.3. Estudio del suelo

4.1.3.1. *Curva de retención de humedad del suelo*

Con los resultados de las constantes hidrofísicas de capacidad de campo a 1/10 de atmósfera de 41.8 % de contenido de humedad y un punto de marchitez con un valor de 28.2 %, lo cual indica que se tienen 13.6 % de agua aprovechable para los cultivos clasificado como medio. El 54.2 % corresponde al estado poroso del suelo o saturación, la curva de retención es

característica de un suelo de textura franco arcillo arenoso, situación que corresponde a los resultados de textura (Anexo 4).

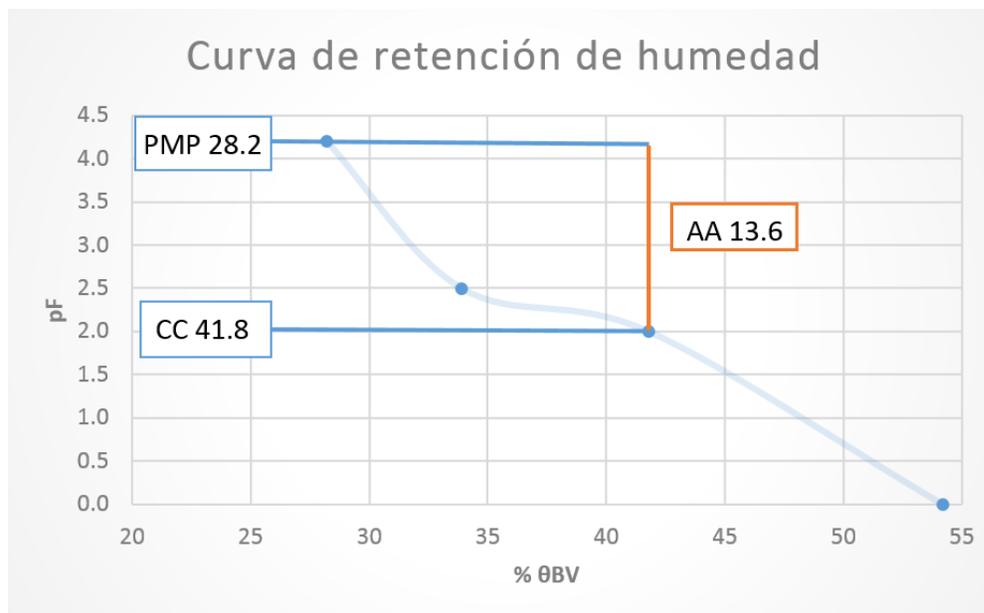


Figura 6. Curva de retención de humedad del suelo.

4.1.3.2. *Determinación de la velocidad de infiltración*

Se obtuvo una infiltración básica de 81 mm/hora (Anexo 7), según Cisneros (2003) corresponde a una velocidad de infiltración rápida debido a que el suelo contiene grandes cantidades de arena. Este valor está condicionado por una capa inferior de suelo aluvial resultado de sedimentos depositados por las lluvias.

4.1.4. **Diseño agronómico**

En el diseño agronómico se determinó la cantidad de agua que requiere el sistema de riego en la época de máxima demanda del recurso hídrico por los cultivos.

4.1.4.1. *Evapotranspiración de referencia*

La evapotranspiración del cultivo de referencia se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Determinación ETo.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Eto (mm/mes)	115	109	118	111	121	114	118	124	127	124	111	109
Eto (mm/día)	3.7	3.9	3.8	3.7	3.9	3.8	3.8	4	4.1	4	3.7	3.5

La evapotranspiración potencial del cultivo de referencia es muy similar a lo largo del año, con un valor máximo de 127 mm en el mes de septiembre y un mínimo de 111 mm en el mes de abril.

Estos datos fueron contrastados con los valores del programa New Loc Clim perteneciente a la FAO los cuales tienen un margen de error de 0.1mm por día, obteniéndose datos similares, por lo tanto, los datos obtenidos son confiables.

4.1.4.2. *Coefficiente experimental del cultivo*

En base a los resultados obtenidos por Ureña (2017), se determinó el kc máximo del maíz, el cual fue de 1.07 para el mes de septiembre. (Figura 7)

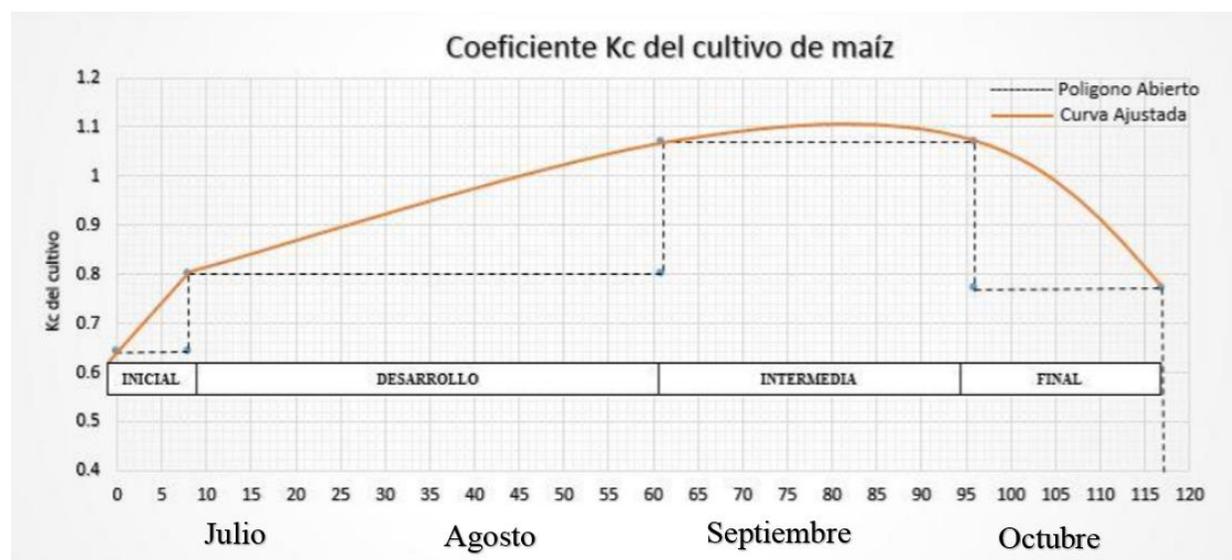


Figura 7. Coeficiente Kc del cultivo de maíz.

4.1.4.3. *Evapotranspiración del cultivo*

En los meses de julio a noviembre debido a las condiciones climatológicas se presentan valores entre 2.8 y 4.4 en función de la etapa fenológica del cultivo, siendo septiembre el mes donde se presenta la mayor evapotranspiración del cultivo con un valor de 4.4 mm/día, el cual es la base para el diseño del sistema de riego. (Tabla 4)

Tabla 5.

Determinación ETc del cultivo de maíz.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETc (mm/mes)	-	-	-	-	-	-	94	99	132	95	85	-
ETc (mm/día)	-	-	-	-	-	-	3	3.2	4.4	3.1	2.8	-

4.1.4.4. *Parámetros de riego*

Lámina de agua aprovechable (LAA): el valor de la LAA es 65.2 mm hasta una profundidad efectiva del maíz de 400 mm.

$$LAA = \frac{(CC - PMP)}{100} * \frac{Da}{Dw} * P. ef$$

$$LAA = \frac{(41.8\% - 28.22\%)}{100} * \frac{1.2g/cm^3}{1g/cm^3} * 400mm$$

$$LAA = 65.2 mm$$

Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA): la LARA es de 32.6 mm valor que introducido en la curva de pF, corresponde a un valor de 2.4 que a su vez equivale a 251 cm columna agua de succión o 25 centibares (cb). Núñez (2014) señala que a partir de 30 centibares es recomendable comenzar el riego en suelos livianos, para que el cultivo no sufra estrés hídrico en sus diferentes etapas fenológicas.

$$LARA = LAA * P$$

$$LARA = 65.2 \text{ mm} * 0.5$$

$$LARA = 32.6 \text{ mm}$$

Frecuencia de riego: Con una evapotranspiración del cultivo de 4.4 mm/día, el área de estudio puede almacenar agua para una frecuencia de 7.41 días.

$$Fr = \frac{LARA}{Nr}$$

$$Fr = \frac{32.6\text{mm}}{4.4\text{mm/día}}$$

$$Fr = 7.41 \text{ días}$$

Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustado: se fijó una frecuencia de riego acorde a la disponibilidad y manejabilidad del sistema de riego en 7 días con un valor de lámina de 30.8 mm.

$$LARA_{ajus} = ETc * Fr_{ajus}$$

$$LARA_{ajus} = 4.4\text{mm/día} * 7\text{días}$$

$$LARA_{ajus} = 30.8 \text{ mm}$$

Lámina de riego: se utilizó una eficiencia de aplicación del sistema de riego de 75 %, el cual es acorde a ese método garantizando una humedad óptima al cultivo de maíz y evitando problemas de estrés hídrico, para lo cual se debe reponer una lámina de riego de 41.1 mm.

$$Lr = LARA_{ajus}/Ea$$

$$Lr = \frac{30.8\text{mm}}{75\%}$$

$$Lr = 41.1 \text{ mm}$$

Selección del aspersor: las características del aspersor son: (Anexo 10)

Mini cañón (Naandanjain 5035 SD $\frac{3}{4}$)

Número de boquillas: 3.5 mm*2.5 mm (código Azul)

Caudal del aspersor: 1240 l/hora

Presión del aspersor: 30 mca

Altura del elevador: 2 m

Diámetro húmedo: 27.2 m

Angulo de inclinación: 24°

Marco de riego: debido a que en la zona de estudio se tienen una velocidad del viento menor a 2 m/s (Anexo 6), se redujo al 60 % del diámetro húmedo efectivo del aspersor quedando 16.32 m. Con el objeto de obtener una mayor uniformidad y evitar problemas por el viento se bajó el diámetro a 15 m. (Anexo 15)

Intensidad de precipitación: para el cálculo de la intensidad de precipitación se aplicó la siguiente ecuación matemática.

$$IP = \frac{qa}{Sa * Sl}$$

$$IP = \frac{1240 \text{ l/hora}}{15\text{m} * 15\text{m}}$$

$$IP = 5.51\text{mm/h}$$

Se cumple la condición de diseño, que la intensidad de precipitación debe ser menor o igual a la velocidad de infiltración básica 5.51 mm/hora \leq 298 mm/hora. Esto indica que se ha seleccionado bien el aspersor y el marco de riego está bien definido.

Número de aspersores por lateral: de acuerdo a la longitud del terreno en dirección al lateral y al espaciamiento entre aspersores, dio como resultado dos aspersores por lateral.

$$NAL = \frac{LTL}{Sa}$$

$$NAL = \frac{30m}{15m}$$

$$NAL = 2 \text{ aspersores}$$

Longitud del lateral: en base al número de aspersores de cada lateral y la ubicación del primer aspersor se obtuvo una longitud del lateral de 22.5m

$$LL = Sa * (n - 0.5)$$

$$LL = 15 \text{ m} * (2 - 0.5)$$

$$LL = 22.5 \text{ m}$$

Caudal del lateral: el caudal de lateral está en función de los aspersores ubicados en el mismo y el caudal distribuido dando como resultado 2480 l/hora.

$$QL = qa * NAL$$

$$QL = 1240 \frac{l}{\text{hora}} * 2 \text{ aspersores}$$

$$QL = 2480 \frac{l}{\text{hora}}$$

Número de laterales en el área: en el sistema de riego se diseñó los laterales por los dos lados teniendo como resultado 6 laterales en el área de implementación.

$$NPL = \left(\frac{LTS}{SL} \right) * n$$

$$NPL = \left(\frac{43}{15}\right) * 2$$

$$NPL = 6$$

Tiempo de posición del lateral: para reposición del agua evaporada por acción de la evapotranspiración es necesario regar 7.5 horas.

$$TPL = \frac{Lr}{IP} \rightarrow \frac{\text{mm}}{\text{mm/h}} = \text{horas}$$

$$TPL = \frac{41.1 \text{ mm}}{5.51 \text{ mm/hora}}$$

$$TPL = 7.5 \text{ horas}$$

Caudal del secundario: debido a las condiciones del terreno en un lateral se ubicó un aspersor de círculo parcial por lo tanto se le suma el caudal de este ya que difiere a los demás, se empleó la siguiente formula. El caudal de la línea secundaria o múltiple y principal es de 13190 l/hora.

$$TPL = QL * NL$$

$$TPL = \left(2480 \frac{\text{l}}{\text{hora}} * 5\right) + 790 \frac{\text{l}}{\text{hora}}$$

$$TPL = 13190 \frac{\text{l}}{\text{hora}}$$

Tabla 6.

Tiempos de riego en el ciclo del cultivo del maíz

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETc (mm/día)	-	-	-	-	-	-	3.1	3.8	4.4	3.2	-	-
Tiempo de riego (horas)	-	-	-	-	-	-	5.3	6.4	7.5	5.4	-	-

4.1.5. Diseño hidráulico

Se calcularon las pérdidas por fricción de las tuberías principal, múltiple, lateral, succión y accesorios, con los diámetros interiores de las tuberías y al caudal respectivo dando como resultado una pérdida de carga de 2.2 m (Tabla 2), las velocidades de las tuberías se buscó mantener los rangos óptimos, menor a 2.5 m/s para tuberías principal y secundaria, para laterales tienen que ser menor o igual a 2 m/s, deben ser igual o mayor a 0.5 m/s (Monge, 2018).

Tabla 7

Perdidas por fricción en las tuberías

Tubería	Caudal (l/s)	Longitud (m)	Øe (Pulgadas)	Øi (mm)	Velocidad (m/s)	J (m/100)	F	Hf (m)
Principal	3.66	5.5	2"	53.6	1.62	0.05	-	0.26
Múltiple	3.66	30	2"	53.6	1.62	0.05	0.40	0.57
Lateral	0.69	22.5	1"	27.2	1.19	0.06	0.53	0.70
Succión	3.66	2	2"	50	1.86	0.07	-	0.13
Accesorios	-	-	-	-	-	-	-	0.55
Hf total								2.21

4.1.5.1. *Aspersores con máxima y mínima presión*

Para cumplir con la condición que la diferencia de presiones entre los aspersores con máxima y mínima presión, no superan el 20% de la presión nominal del aspersor, se identificó al aspersor 2 del lateral 2 como el de mínima presión con un valor de 29.5 mca; y el aspersor 1 del lateral 5 como el de máxima presión con un valor de 31.9, obteniéndose una diferencia de presión entre los dos aspersores de 2.4 mca, que es inferior a 6 m que corresponde a la máxima diferencia de presión permitida. (Figura 8)

- Presión al inicio del lateral 2

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4}H_f + \frac{H_g}{2} + H_a = 30 + \frac{3}{4} * 0.7 + \frac{0.7}{2} + 2 = 32.88\text{m}$$

➤ Presión al final del lateral 2

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4}H_f - \frac{H_g}{2} = 30 - \frac{1}{4} * 0.7 - \frac{0.7}{2} = 29.47\text{m}$$

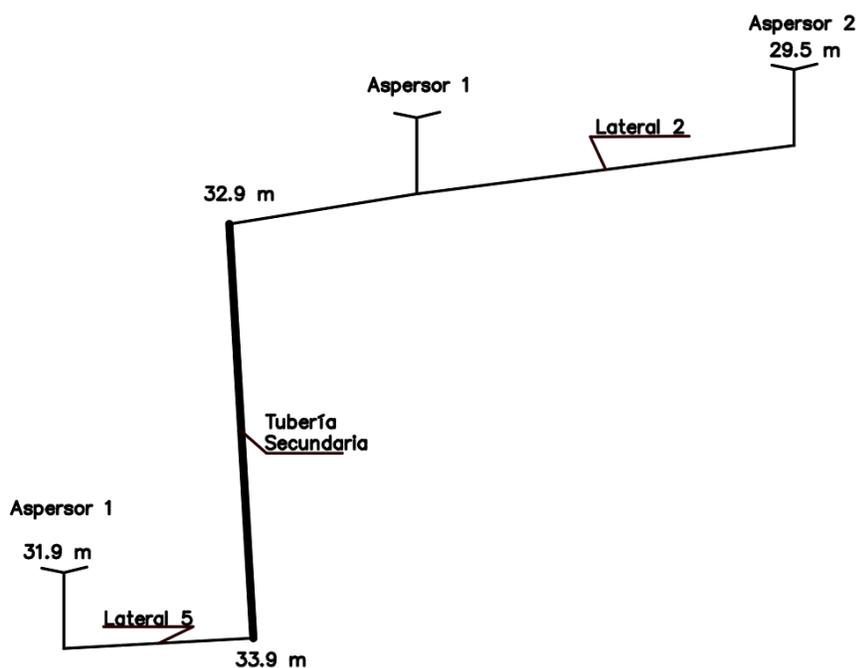


Figura 8. Presiones máxima y mínima en los aspersores.

4.1.6. Cálculo de la motobomba

4.1.6.1. *Altura manométrica total o carga dinámica total (CDT)*

La carga dinámica total con el que funciona el sistema de riego es de 33.94 m

$$CDT = H_{\text{geo}} + H_{\text{asp}} + P_{\text{asp}} + H_{\text{elev}} + hf + hf_{\text{succ}} + hf_{\text{sec}} + hv$$

$$CDT = -0.1 \text{ m} + 0.3 \text{ m} + 30 \text{ m} + 2 \text{ m} + 0.96 \text{ m} + 0.13 \text{ m} + 0.55 \text{ m} + 0.10 \text{ m}$$

$$CDT = 33.94 \text{ m}$$

4.1.6.2. *Máxima ubicación de la motobomba sobre el espejo de agua UB*

La altura máxima que se puede ubicar la bomba es de 4.21 m, como la motobomba en el proyecto, se la ubicó a 0.3 m, se garantiza que en el equipo motobomba no se va a presentar el fenómeno de cavitación

Carga neta positiva de succión disponible NPSH_{dis}

$$NPSH_{dis} = P_{atm} - P_{vapor} - hf_{succ} - hf_{acces\ succ}$$

$$P_{atm} = 10.3 - \frac{altitd}{900} = 10.3 - \frac{1125}{900} = 9.05 \text{ m. c. a.}$$

La presión de vapor P_{vapor} para una temperatura del agua de 20 °C es igual a 0.24 m.

$hf_{acces\ suc} = 0.5 \text{ m}$ (adoptado)

$$NPSH_{dis} = 9.05 \text{ m} - 0.24 \text{ m} - 0.1 \text{ m} - 0.5 \text{ m}$$

$$NPSH_{dis} = 8.21 \text{ m}$$

Carga neta positiva de succión requerida NPSH_{req}

En vista de que el fabricante no proporciona la carga neta de succión requerida para el modelo de motobomba seleccionado, se asume un valor que garantice cubrir el mencionado requerimiento correspondiente a un valor de 4 m.

$$UB = 8.21 \text{ m} - 4 \text{ m}$$

$$UB = 4.21 \text{ m}$$

4.1.6.3. *Potencia requerida*

La potencia de la motobomba es de 2.72 HP, la cual se requiere corregir por altitud y nivel de aceleración del motor.

$$PB \text{ (HP)} = \frac{QB\left(\frac{l}{s}\right) * CDT(m)}{76 * n}$$

$$PB = \frac{3.66 \text{ l/s} * 33.94\text{m}}{76 * 0.6} = 2.72 \text{ HP}$$

El motor de combustión de la bomba, va a funcionar a una altitud de 1125 msnm, por lo tanto, se requiere una mayor la potencia del motor para corregir la cantidad de oxígeno en la atmósfera. Este factor corresponde al valor de 1.2 quedando:

$$P = PB * F$$

$$P = 2.72 \text{ HP} * 1.2 = 3.3 \text{ HP}$$

Finalmente se debe aumentar la potencia con un factor de carga F_c que contempla el nivel de aceleración del motor:

$$P_{\text{motor}} = \frac{P}{F_c}$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{3.3 \text{ HP}}{0.8} = 4.1 \text{ HP}$$

$F_c = 0.8$ quiere decir que se mantiene un 20 % de aceleración para alguna eventualidad o para lograr la máxima vida útil del motor.

De acuerdo al cálculo se requiere una potencia de la motobomba de 4.1 HP, este valor no contrasta con las motobombas que existen en el mercado. Se eligió la motobomba Honda WH20XT de 5 hp en función de la carga dinámica total y el caudal requerido por el sistema de riego. (Figura 9)

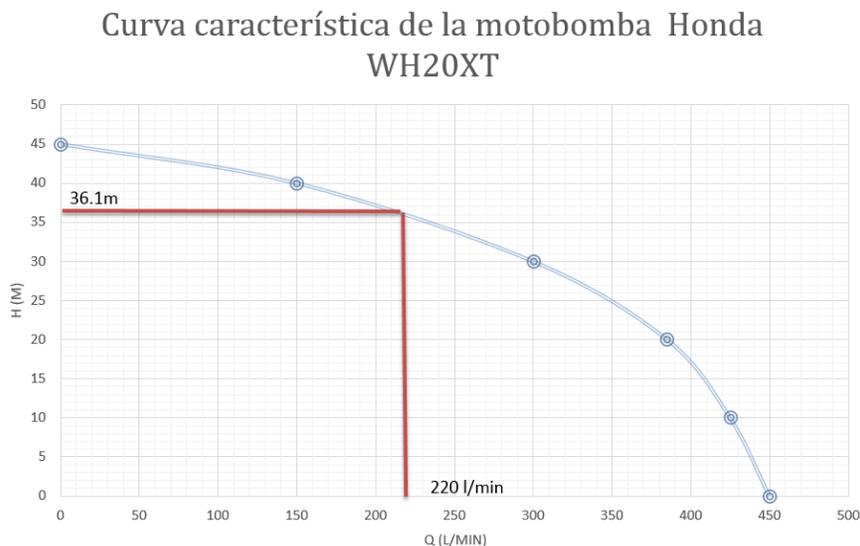


Figura 9. Curva característica de la motobomba.

Para el funcionamiento del sistema de riego se requiere una presión de 33.94 mca siendo menor a la presión proporcionada por la motobomba de 36.1 mca. Por lo tanto, el sistema de riego funciona en óptimas condiciones. (Anexo 11)

4.2. Resultados para el segundo objetivo

4.2.1. Replanteo de la ubicación de la red hidráulica

Se realizó el replanteo ubicando los puntos en los diferentes vértices de cada tubería. (Anexo 8)

4.2.2. Instalación de la red hidráulica

Excavación zanjas a una profundidad de 0.6 m y de ancho de 0.2 m, las cuales fueron rellenas con el mismo material extraído, con la finalidad de obtener un sistema de riego fijo. (Anexo 2)

➤ Tubería principal

Se instaló una tubería de polietileno PE de 2" en donde se colocó un reductor flex de 2" a 1.5" y abrazaderas de 2" y 1.5", para acoplar la motobomba a la tubería principal. También se añadieron dos codos de 90 grados de 2" para que la tubería quede enterrada transportando el caudal de diseño de 3.79 l/s.

➤ Tubería múltiple secundaria

Se instaló una tubería polietileno de 2", con una longitud de 30 m, en donde se realizaron perforaciones para la colocación de los collarines de 2" con salida a 1", para la distribución del caudal de diseño del sistema de riego.

➤ Lateral

Se ubicó 22.5 m de manguera de polietileno de 1", se acoplo un adaptador de 1" al collarín, con una te de 1" para ubicar la primera salida, un codo de 1" para colocar la segunda salida y abrazaderas de 1", se colocó un bushing hembra de 1" con una salida 3/4" para el acople del elevador.

➤ Elevador de riego

Se utilizó tubo de PVC de 3/4" de 2 m de longitud, para el acople del elevador al aspersor se utilizó un adaptador hembra de 3/4".

4.2.3. Estación de bombeo

Para la ubicación de la motobomba se realizó una base de hormigón de $f'c=140$ de 0.6 m de ancho y 0.7 de largo, y para un pre filtrado y abastecimiento del agua un estanque de 0.6 m de ancho, 0.6 m de largo y 0.8 m de alto.

En la Tabla 8, se presentan las características técnicas de las tuberías de riego.

Tabla 8.

Especificaciones de la tubería de riego

Diámetro nominal (pulgadas)	Diámetro interior (mm)	Espesor nominal (mm)	Tipo de material	Presión de trabajo (PSI)	Descripción de Tubería
3/4"	18.85	3.9	PVC	145	Elevador de riego
1"	27.2	2.4	PE	80	Tubería lateral
2"	53.6	4.7	PE	80	Tubería principal y secundaria

4.3. Resultados para el tercer objetivo

De acuerdo a la evaluación realizada se obtuvo un coeficiente de uniformidad de 91 %. (Anexo 9) Este resultado contrasta con la ficha técnica del aspersor mismo que menciona que en marcos de 15*15 m se obtiene un coeficiente de uniformidad entre 88 y 92%. Huber (2005) afirma que un sistema de riego por aspersión es uniforme cuando el coeficiente de uniformidad es igual o mayor a 85%. Además, se obtuvo una precipitación promedio de 5.6 mm/hora con caudal promedio de 1250 l/hora, a una presión de 3 atmosferas, misma que es proporcionada por la motobomba con un consumo de total del sistema de riego de 13750 l/hora. (Anexo 3)

4.3.1. Costos del sistema de riego

Para el diseño, implementación y evaluación del sistema de riego impulsado con un equipo motobomba en un área de 0.26 ha, el costo es de \$ 1757.1 (Tabla 9 y10), este valor es producto de que el sistema de riego es fijo y el costo de la motobomba (\$ 600).

Tabla 9

Presupuesto del diseño para el sistema de riego por aspersión en la finca San José de la parroquia 27 de Abril.

Concepto	valor total
a. Sueldos	241.0
a1. Personal técnico	186.4
a2. Personal auxiliar	54.5
b. Cargas sociales	20.2
b1. Personal técnico	0.0
b2. Personal auxiliar	20.2
c. Viajes y viáticos	0.0
d. Servicios	20.0
e. Arrendamientos	22.7
f. Equipos e instalaciones	18.1
g. Suministros	2.0
h. Subcontratos	105.0
Total	429

Tabla 10

Presupuesto de la construcción para el sistema de riego por aspersión en la finca San José de la parroquia 27 de Abril.

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo	Total
Desbroce y limpieza	ha	0.25	85.0	21.3
Replanteo y nivelación	km	0.16	430	68.8
Excavación sin clasificar a mano	m ³	19	10.2	193.8
Bomba honda modelo= wh20xt de 5 HP	U	1	600.0	600.0
Hormigón simple f'c=140 kg/cm ²	m ³	0.23	0.9	0.2
Tubería de PE Flex 2" x 80psi reforzada	m	35.5	1.8	69.6
Tubería de PE Flex 1" x 80psi x 100mts	m	120	0.6	74.9
Tubo PVC roscable 3/4"	m	22	1.5	37.0
Tee dr adaptador 1" x 3/4" flex	U	5	0.6	3.4
Codo em 1" x 90° polimex	U	6	1.6	10.5
Adaptador gp flex 1" ng	U	11	0.6	7.4
Bushing em 1" x 3/4" pp	U	11	0.3	3.7
Codo dr 2" flex	U	2	1.1	2.4
Reducción dr 2"x1 1/2" flex	U	1	0.9	1.0
Abrazadera nor/g12wi / 20-32 urza 1"	U	22	0.7	17.7
Abrazadera nor /w1/ urza 35-50 1 1/2"	U	1	1.0	1.2
Abrazadera nor /g12 w1/urza 40-60 2"	U	5	1.3	7.0
Montura 2"*1"	U	6	1.9	12.8
Aspersor ht naandanjain 5035 sectorial 3/4" boq4 5	U	1	17.0	19.0
Aspersor ht naandanjain 5035 total 3/4" boq4 0	U	10	13.9	155.7
Unión ti PVC roscable 3/4"	U	11	0.5	5.5
Tapón hembra rosca 3/4"	U	11	0.9	11.1
Tapón macho 2" flex	U	1	1.5	1.7
Teflón	U	1	1.0	1.1
Malla de plástico de 2 mm	m ²	0.5	3	1.5
Relleno manual de zanjas	m ³	19	5.0	95.0
Total				1328.1

5. Conclusiones

- Para el presente trabajo se contempló: el diseño agronómico e hidráulico. En el diseño agronómico se calculó una frecuencia de riego de 7 días, un tiempo de riego de 7.5 horas por posición del aspersor, para suministrar una lámina de riego de 41,1 mm; con un aspersor, modelo Naandanjain 5035 (SD $\frac{3}{4}$), dotando de una intensidad de precipitación de 5,51 mm/h, que es menor a 81 mm/h que corresponde a la Velocidad de infiltración básica, del suelo con una textura franco arcillo arenoso.

En el diseño hidráulico se determinó una tubería principal y secundaria de PE con un diámetro nominal de 2"; el lateral de PE de 1" y el elevador de PVC de $\frac{3}{4}$ "; obteniendo una pérdida de carga por fricción en 0,96 m en todas las tuberías y la pérdida por accesorios de 0,55 m; y, una carga dinámica total de 33,94 m; lo cual permitió seleccionar el equipo motobomba (bomba centrífuga) marca Honda WH20XT.
- El sistema de riego por aspersión instalado, en una superficie de 0.26 ha, en la finca "San José" de la parroquia 27 de Abril del cantón Espíndola, es fijo. La tubería principal y secundaria se encuentra a 0.60 m de profundidad, para evitar daños por acción de tipo de maquinaria agrícola.
- Producto de la evaluación en el funcionamiento del sistema de riego por aspersión implementado, arrojó un 91% de Coeficiente de Uniformidad, que determina que el diseño hidráulico es óptimo.

6. Recomendaciones

- Realizar un estudio de rentabilidad en la producción de maíz utilizando riego por aspersión con una motobomba.
- Estudio de diferentes frecuencias de riego y su incidencia en el rendimiento del maíz.

7. Bibliografía

- Antúñez, B., Mora, L., Felmer, S. (2010). Eficiencia en Sistemas de Riego por Goteo en el Secano. Tierra Adentro. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile
- Amézquita, E. (1999). Requerimientos de agua y nutrición de cultivos de flores. XI Congreso Nacional Agronómico. III Congreso Nacional de Suelos 1999. CIAT. Cali – Colombia Recuperado de: <https://goo.gl/VLnGS9>
- Arango, J. (2002). Aspectos fundamentales de los sistemas de riego. Universidad Nacional de Colombia Sede de Medellín, Colombia.
- Cabrera, J. (2015). Diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica, con un sistema de telemetría para el área de la energía, las industrias y los recursos naturales no renovables de la universidad nacional de Loja (tesis de grado). Universidad Nacional De Loja, Ecuador.
- Cadena, V. (2016). Hablemos de riego. Segunda edición. Quito, Ecuador. El Telégrafo EP.
- Chamba, M., González, E. (2008). Estudio de Caracterización Agrosocioeconómica - Sistema de Riego Limas-Cundurioacu. Subcomisión Ecuatoriana – PREDESUR
- CAMAREN. (2006). Propuesta Política de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Foro de los Recursos Hídricos.
- Carrazón, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. Programa especial para la seguridad alimentaria (PESA). FAO.
- Chow, J. (2006). Método fácil de diseño de riego por goteo. Recuperado de: <http://bit.ly/MEFADERG>
- Cisneros, R. (2010). Apuntes de la materia de Riego y Drenaje. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Consortio de Capacitación para el Manejo de los Recursos Naturales Renovables. (2017). El desarrollo de la agricultura bajo riego. Recuperado de: <http://bit.ly/340zUDg>

- Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. Catamarca, Argentina: INTA.
- Deras H., (2014). Guía técnica. El cultivo de maíz. IICA. Recuperado de: <http://bit.ly/2Lqf1cn>
- Durán, M. (2017). Profundidad efectiva del Suelo. Recuperado de: <https://www.scribd.com/document/362872176/ProfundidadEfectiva-Del-Suelo>
- FAO. (2009.). Eficiencia de riego. Recuperado de: <https://goo.gl/gVJAFF>
- FAO (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma 2006
- Fernández, P. (2005). Bombas centrífugas y volumétricas (tesis de grado). Universidad de Cantabria, España. Recuperado de: <https://goo.gl/ao9htu>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma 2006
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003). The use of water in agriculture. In: Agriculture, food and water. Recuperado de: www.fao.org/docrep/006/Y4683E/y483e00.htm
- Gallegos, C. (2016). Diseño e implementación de un sistema de riego presurizado para pastos en la finca Landapo de la parroquia Lauro Guerrero, cantón Paltas, provincia de Loja. Loja, Ecuador: Tesis
- Gómez, R., Oyonarte, A., García, J., Yruela, M^a del Carmen, Milla, M., Ávila, R., Gavilán, P. (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 3. Riego por aspersión. Signatura Ediciones de Andalucía. España: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Graf, M. (2010). La escasez de Agua en el mundo y la importancia del Acuífero Guaraní para Sudamérica: Relación abundancia- escasez. Argentina.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia 27 de Abril. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia 27 de Abril. Fase Diagnóstico.

- Inzunza, J. (s.f.). Meteorología descriptiva. Universidad de Concepción. Chile. Recuperado de:
<http://bit.ly/2U8HVS2>
- López, P., Iglesias, P., Martínez, F., Izquierdo, S. (2003). Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua. Valencia, España: Universidad politécnica de Valencia
- Maldonado, R. T. (2012). Texto Guía de Riego por Gravedad o Superficie. Loja: Primera Edición.
- Mendoza, A. (2013). Riego por goteo. Recuperado de: <http://bit.ly/2ZwTqnw>
- Mullo, J. (2016). Diseño de un sistema de riego parcelario para la comunidad San Pedro, ubicada en la Parroquia La Matriz, Cantón Guamote (tesis de grado). Universidad San Francisco de Quito, Quito
- Monge, M. (2018). Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Madrid, España: Agrícola Española.
- Palma, V. & Ramirez, F. (2013). Estación Meteorológica multiparamétrica sincronizada con GPS y monitorida a través de Internet. El salvador: Universidad de El Salvador.
- Pizarro, F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. Bilbao, España: Mundi-Prensa.
- Ruíz, E. & Martínez, M. (2015). Hidrología Aplicada: Infiltración y humedad del suelo. Recuperado de:
<http://bit.ly/2NBYQeH>
- SENAGUA. (2016). Propuesta de modelo de gestión integral del riego en el Ecuador. Recuperado de.
<https://goo.gl/EEmh8Y>
- Ureña, G. (2017). Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz (zea mays), mediante el lisímetro volumétrico, en el sector el Porvenir perteneciente al sistema de riego Campana-Malacatos. Loja, Ecuador: Tesis
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., Cañamero, M. (2017). Fundamentos de la ingeniería de riegos. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina

8. Anexos

Anexo 1 Aforo del caudal del canal de riego.



Anexo 2 Instalación del sistema de riego.



Anexo 3 Evaluación del sistema de riego





Anexo 4 Constantes hidrofísicas del suelo.

Profundidad	Textura	Densidad aparente (g/cm ³)	Saturación (%) pF 0	CC 1/10 atm (%) pF 2	CC 1/3 atm (%) pF 2.52	PMP 15 atm (%) pF 4.2
1 0-25cm	Franco arcillo arenoso	1.2	56.6	42.0	34.9	27.2
1 25-50cm	Franco arcillo arenoso	1.2	53.4	43.5	36.2	28.4
2 0-25cm	Franco arcillo arenoso	1.2	56.2	43.5	36.5	27.9
2 25-50cm	Franco arcillo arenoso	1.2	54.9	39.1	32.1	26.3
3 0-25cm	Franco arcillo arenoso	1.2	55.4	42.4	34.1	28.2
3 25-50cm	Arcillo arenoso	1.4	48.7	40.5	29.7	31.2
Promedio		1.2	54.2	41.8	33.9	28.2

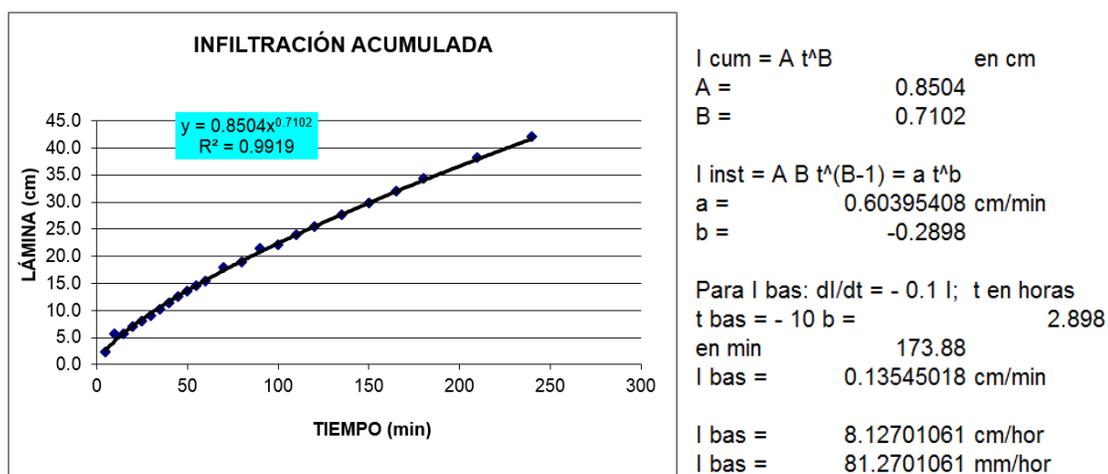
Anexo 5 Evapotranspiración de referencia de las estaciones del área de estudio (mm/día)

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Amaluza	3.5	3.7	3.6	3.5	4.0	3.7	3.7	4.0	4.0	3.9	3.6	3.5
Cariamanga	3.1	3.1	3.1	3.0	3.2	3.3	3.3	3.6	3.5	3.5	3.3	3.2
Nambacola	3.4	3.5	3.5	3.4	3.6	3.4	3.5	3.6	3.9	3.8	3.5	3.5

Anexo 6 Velocidad del viento del área de estudio.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Velocidad del viento (m/s)	0.9	1.2	0.9	0.8	1.2	1	1.6	1.8	1.7	1.2	1.1	1

Anexo 7. Velocidad de infiltración.



No. ORDEN	T. ACUMULAD (min)	I. ACUMULAD (cm)	V. INF. INST (cm/min)
1	5	2.4	0.38
2	10	5.7	0.31
3	15	5.7	0.28
4	20	7	0.25
5	25	8	0.24
6	30	9	0.23
7	35	10.2	0.22
8	40	11.4	0.21
9	45	12.6	0.20
10	50	13.5	0.19
11	55	14.6	0.19
12	60	15.4	0.18
13	70	18	0.18
14	80	18.9	0.17
15	90	21.4	0.16
16	100	22.1	0.16
17	110	24	0.15
18	120	25.5	0.15
19	135	27.7	0.15
20	150	29.9	0.14
21	165	32.1	0.14
22	180	34.3	0.13
23	210	38.3	0.13
24	240	42.1	0.12

Anexo 8 Puntos del replanteo.

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	671745.7	9510720.4	1122.9
2	671733.2	9510728.6	1123.2
3	671723.1	9510739.3	1123.7
4	671715.5	9510752.3	1124.4
5	671758.9	9510729.9	1122.1
6	671746.4	9510738.1	1122.5
7	671736.3	9510748.8	1123.2
8	671728.7	9510761.8	1123.7
9	671758	9510746	1122.1
10	671749.7	9510758.4	1121.5
11	671742.1	9510771.4	1122.1
12	671720.2	9510728	1121.3

Anexo 9 Evaluación del coeficiente de uniformidad.

Nº	Volumen (cm ³ /hora)	Lámina (mm/hora)
1	39	4.9
2	37	4.6
3	41	5.1
4	39	4.9
5	46	5.7
6	48	6.0
7	39	4.9
8	44	5.5
9	42	5.2
10	40	5.0
11	48	6.0
12	50	6.2
13	48	6.0
14	50	6.2
15	42	5.2
16	42	5.2
17	55	6.9
18	51	6.4
19	49	6.1
20	48	6.0
21	50	6.2
22	50	6.2
23	48	6.0
24	50	6.2
25	49	6.1
26	45	5.6
27	46	5.7
28	48	6.0
29	50	6.2
30	49	6.1
31	36	4.5
32	38	4.7

Anexo 10 Características técnicas del aspersor.



Aplicaciones: Para el uso en campos con sistemas de riegos fijos o móviles

- Excelente distribución del agua con espaciamientos de hasta 20m
- Boquilla a bayoneta, codificado por color para un mantenimiento sencillo
- Aleta integral de direccionamiento del chorro de agua para obtener un máximo alcance
- Alta potencia de impacto, producido con materiales de alto grado de calidad y resistencia a la corrosión, desgaste mecánico productos químicos y radiación solar (UV)

5035 SD Tabla de Rendimiento, Boquilla Doble, Corto SD (azul)

Precipitación (mm/h) Espaciamiento (m)

Color de rotor	Color de boquilla (mm)	P (bar)	Q (m ³ /h)	D (m)	Espaciamiento (m)					
					12x15	12x18	15x15	15x18	18x18	20x20
Rojo	3.5x2.5L Azul	3.0	1.240	27.2	6.9	5.7	5.5	4.6	3.8	3.1
		4.0	1.430	27.2	7.9	6.6	6.4	5.3	4.4	3.6
		5.0	1.620	27.2	9.0	7.5	7.2	6.0	5.0	4.1
	4.0x2.5L Negro	3.0	1.490	28.0	8.3	6.9	6.6	5.5	4.6	3.7
		4.0	1.740	29.0	9.7	8.1	7.7	6.4	5.4	4.4
		5.0	1.950	29.2	10.8	9.0	8.7	7.2	6.0	4.9
Negro	4.5x2.5L Marrón	3.0	1.790	29.7	9.9	8.3	8.0	6.6	5.5	4.5
		4.0	2.070	30.2	11.5	9.6	9.2	7.7	6.4	5.2
		5.0	2.320	32.2	12.9	10.7	10.3	8.6	7.2	5.8
	5.0x2.5L Violeta	3.0	2.110	31.5	11.7	9.8	9.4	7.8	6.5	5.3
		4.0	2.400	33.2	13.3	11.1	10.7	8.9	7.4	6.0
		5.0	2.690	35.2	14.9	12.5	12.0	10.0	8.3	6.7
	5.5x2.5L Naranja	3.0	2.390	32.2	13.3	11.1	10.6	8.9	7.4	6.0
		4.0	2.760	34.2	15.3	12.8	12.3	10.2	8.5	6.9
		5.0	3.090	35.0	17.2	14.3	13.7	11.4	9.5	7.7
	6.0x2.5L Rojo	3.0	2.700	34.2	15.0	12.5	12.0	10.0	8.3	6.8
		4.0	3.160	36.0	17.6	14.6	14.0	11.7	9.8	7.9
		5.0	3.540	34.0	19.7	16.4	15.7	13.1	10.9	8.9

5035 SD Tabla de Rendimiento-una sola boquilla, Largo SD (negro)

Precipitación (mm/h) Espaciamiento (m)

Color de rotor	Color de boquilla (mm)	P (bar)	Q (m ³ /h)	D (m)	Espaciamiento (m)					
					12x15	12x18	15x15	15x18	18x18	20x20
Rojo	3.5 Azul	2.5	0.720	24.0	4.0	3.3	3.2			
		3.0	0.790	24.0	4.4	3.7	3.5			
		4.0	0.910	25.0	5.1	4.2	4.0	3.4		
	4.0 Negro	5.0	1.040	25.0	5.8	4.8	4.6	3.9		
		2.5	0.950	26.0	5.3	4.4	4.2	3.5		
		3.0	1.040	26.0	5.8	4.8	4.6	3.9		
Negro	4.5 Marrón	4.0	1.200	26.0	6.7	5.6	5.3	4.4	3.7	
		5.0	1.350	28.0	7.5	6.3	6.0	5.0	4.2	
		2.5	1.210	28.0	6.7	5.6	5.4	4.5		
	5.0 Violeta	3.0	1.320	28.0	7.3	6.1	5.9	4.9	4.1	
		4.0	1.540	29.0	14.1	11.8	11.3	9.4	7.8	
		5.0	1.710	30.0	9.5	7.9	7.6	6.3	5.3	
Negro	5.5 Naranja	2.5	1.460	29.0	8.1	6.8	6.5	5.4	4.5	
		3.0	1.610	29.0	8.9	7.5	7.2	6.0	5.0	4.0
		4.0	1.870	31.0	10.4	8.7	8.3	6.9	5.8	4.7
	6.0 Rojo	5.0	2.100	32.0	11.7	9.7	9.3	7.8	6.5	5.3
		2.5	1.760	30.0	9.8	8.1	7.8	6.5	5.4	4.4
		3.0	1.930	31.0	10.7	8.9	8.6	7.1	6.0	4.8
	6.0 Rojo	4.0	2.230	34.0	12.4	10.3	9.9	8.3	6.9	5.6
		5.0	2.490	35.0	13.8	11.5	11.1	9.2	7.7	6.2
		2.5	2.060	30.0	11.4	9.5	9.2	7.6	6.4	5.2
	6.0 Rojo	3.0	2.260	32.0	12.6	10.5	10.0	8.4	7.0	5.7
		4.0	2.620	34.0	14.6	12.1	11.6	9.7	8.1	6.6
		5.0	2.940	36.0	16.3	13.6	13.1	10.9	9.1	7.4

Código de color - Uniformidad de distribución CU > 92% CU 88-92% CU 85-88% CU < 85%

Tabla de rendimiento bajo revisión

Boquilla e standard. Boquilla trancera: gris - 2.5 L

No cambie boquillas del Grupo de Manguito Rojo al Grupo de Manguito Negro o viceversa

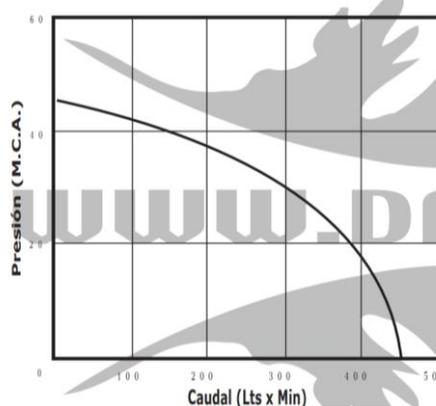
* Tabla de rendimiento preparada bajo condiciones de laboratorio

* En condiciones de viento, utilice un espaciamiento más estrecho

Anexo 11 Características técnicas de la motobomba.

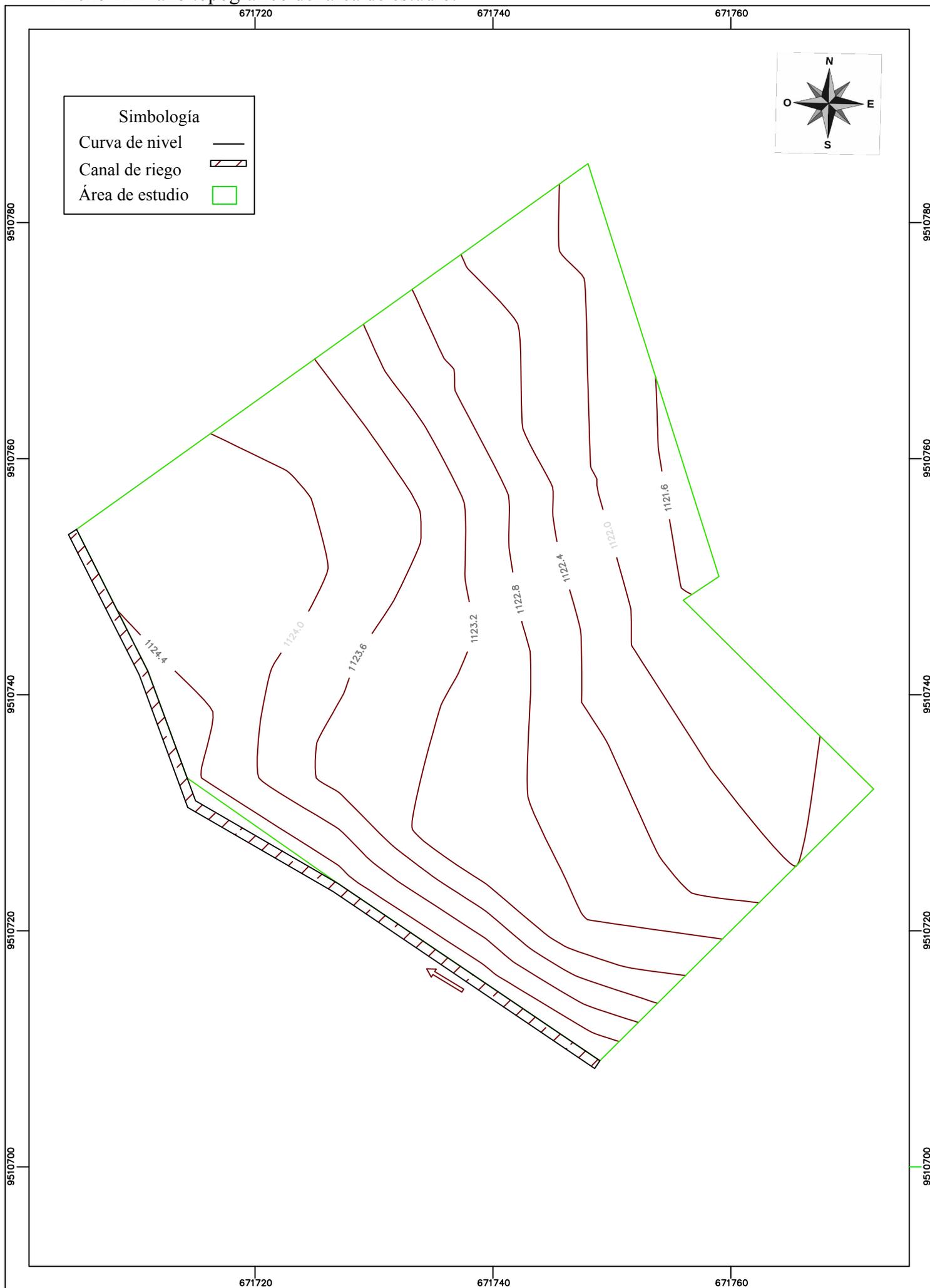


Curva de Rendimiento

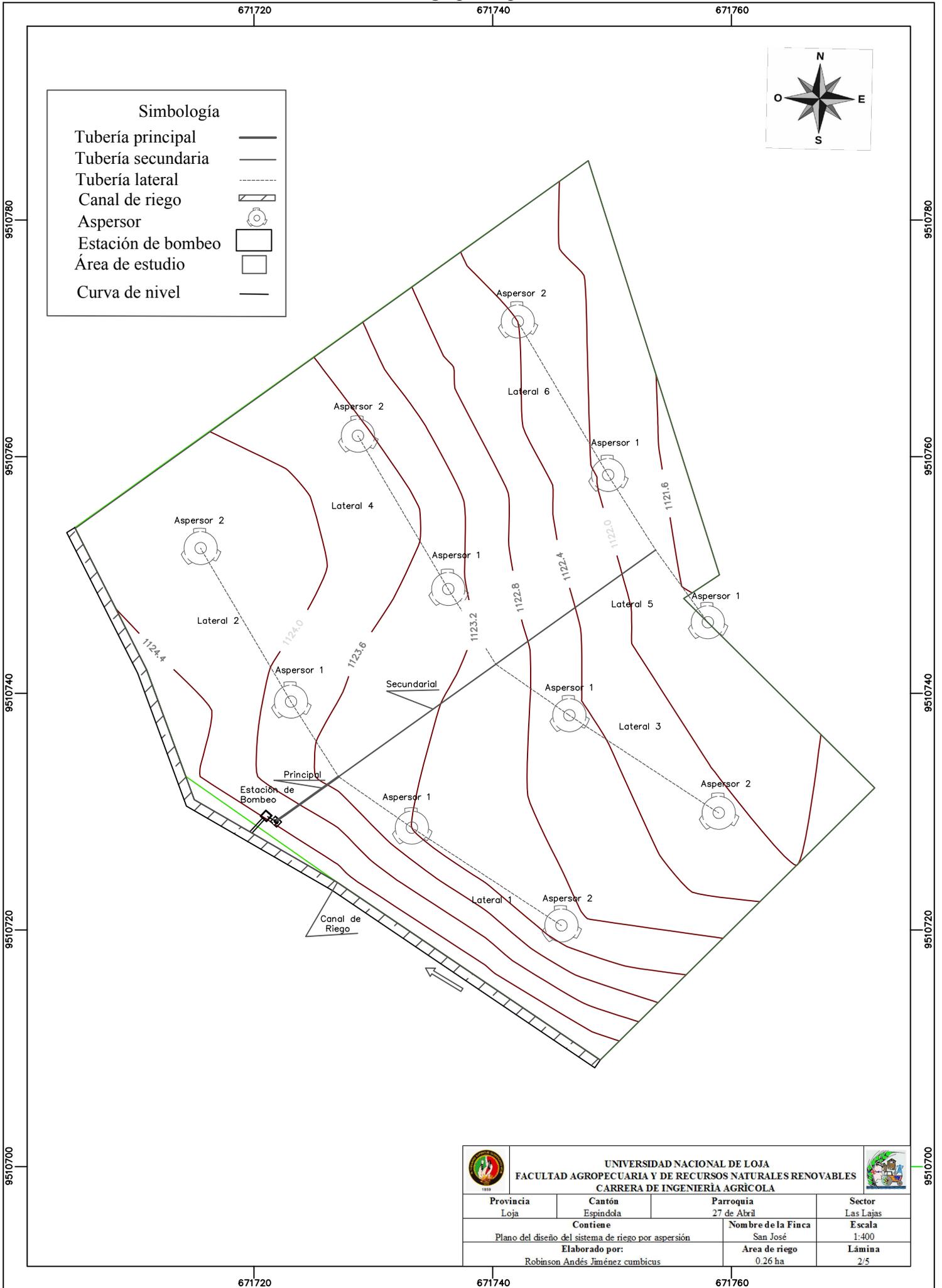


	Modelo	WH20XT
	Tipo y opcional	DX
	Uso principal	Alta presión
Bomba	Diámetro de succión (pulgadas)	2"
	Diámetro de descarga (pulgadas)	2"
	Elevación total (m)	45
	Altura de succión (m)	8
	Capacidad máxima de bombeo (l/min)	450
	Tiempo de autocebado (s/5m)	40
	Sello mecánico cuerpo bomba e impulsor	Carbón cerámico
Motor	Modelo	GT160
	Desplazamiento	163 cm ³
	encendido transistorizado	*
	Arranque manual	*
Equipamiento	Alarma de aceite	-
	Tipo de armazón: Asa tipo L	*
	Montura de resortes o gomas	-
Accesorios	Coplas de succión y descargas	*
	Abrazaderas de mangueras (3)	*
	Canastilla filtro de succión	*
Dimensiones	Largo (mm)	425
	Ancho (mm)	375
	Altura (mm)	405
Peso en seco (kg)		23.5
Capacidad del depósito de combustible (Lts)		3.6
Autonomía aproximada en horas con 1 estanque		2.8 Hrs

Anexo 12 Plano topográfico del área de estudio.

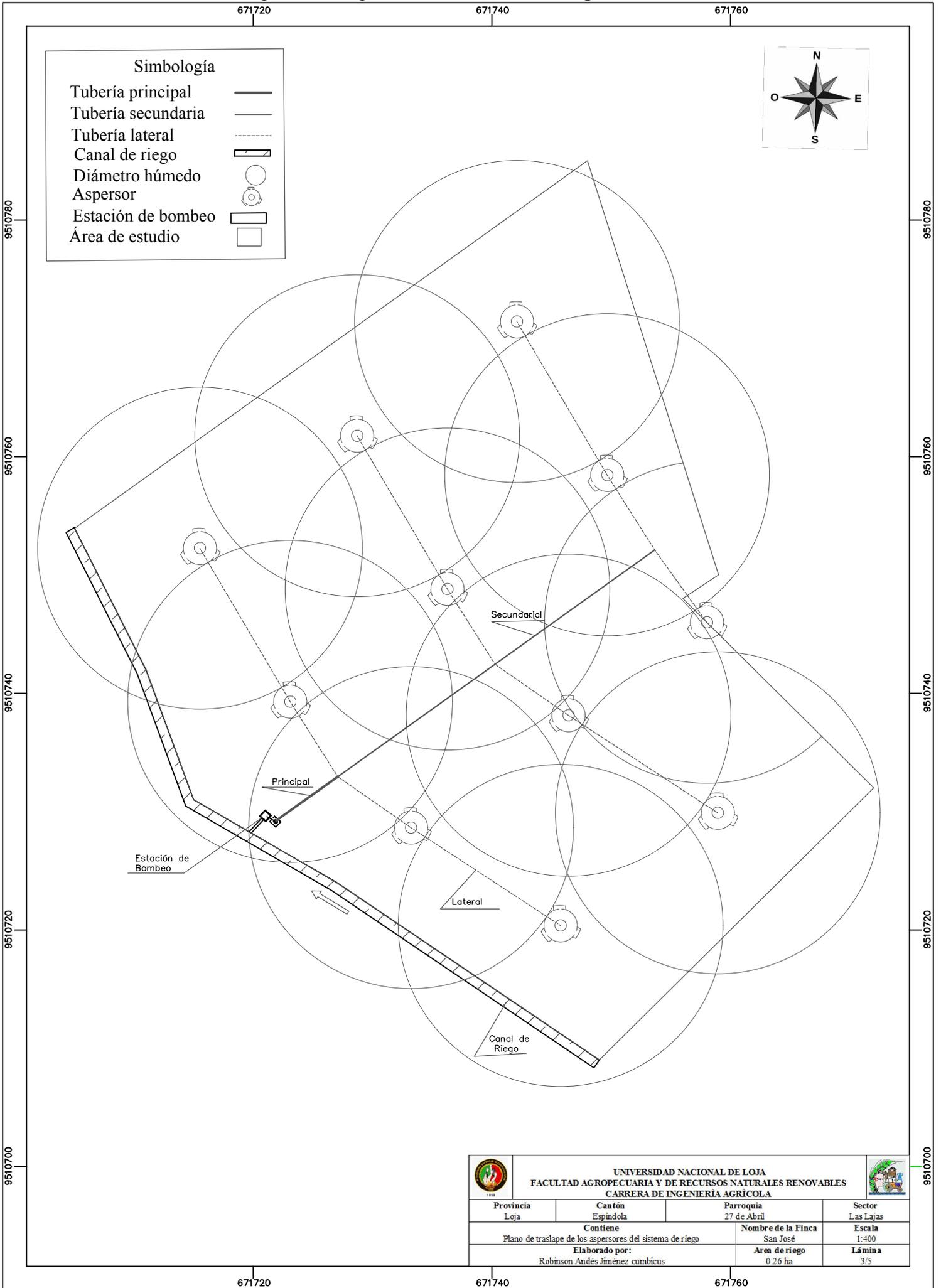


Anexo 13 Plano del diseño del sistema de riego por aspersión.



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA				
Provincia Loja	Cantón Espíndola	Parroquia 27 de Abril	Sector Las Lajas	
Contiene Plano del diseño del sistema de riego por aspersión			Nombre de la Finca San José	Escala 1:400
Elaborado por: Robinson Andrés Jiménez cumbicus			Area de riego 0.26 ha	Lámina 2/5

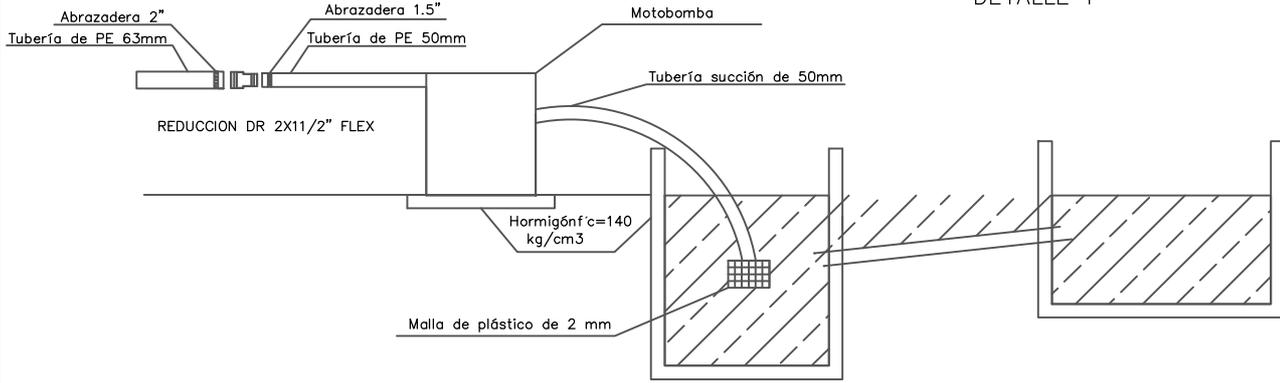
Anexo 14 Plano de traslape de los aspersores del sistema de riego



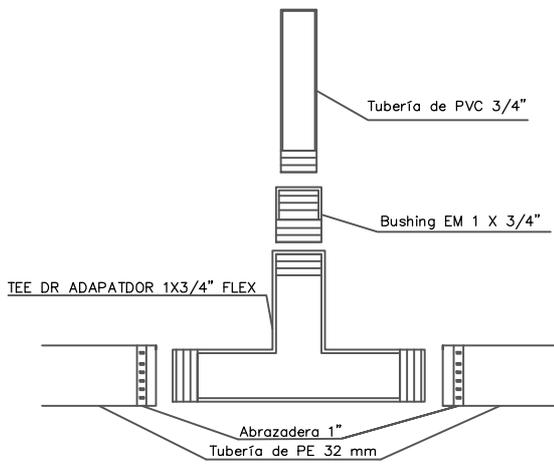
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA			
Provincia Loja	Cantón Espindola	Parroquia 27 de Abril		Sector Las Lajas	
Contiene		Nombre de la Finca San José	Escala 1:400		
Elaborado por:		Area de riego 0.26 ha	Lámina 3/5		
Robinson Andrés Jiménez cumbicus					

Anexo 16 Plano del detalles técnicos del sistema de riego por aspersión.

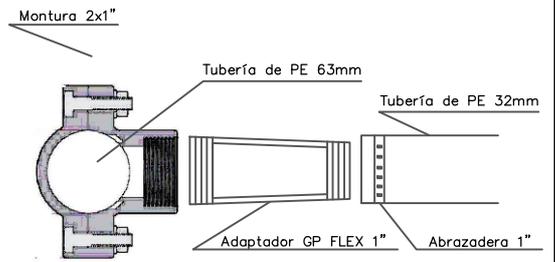
DETALLE 1



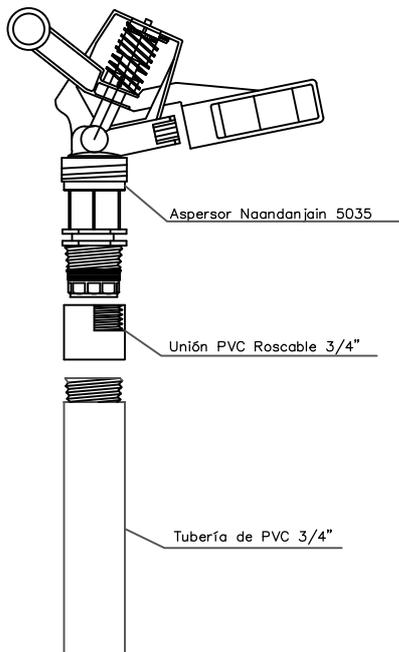
DETALLE 3



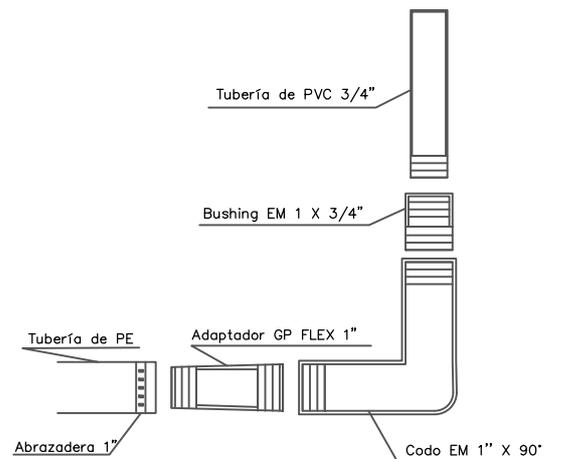
DETALLE 2



DETALLE 5

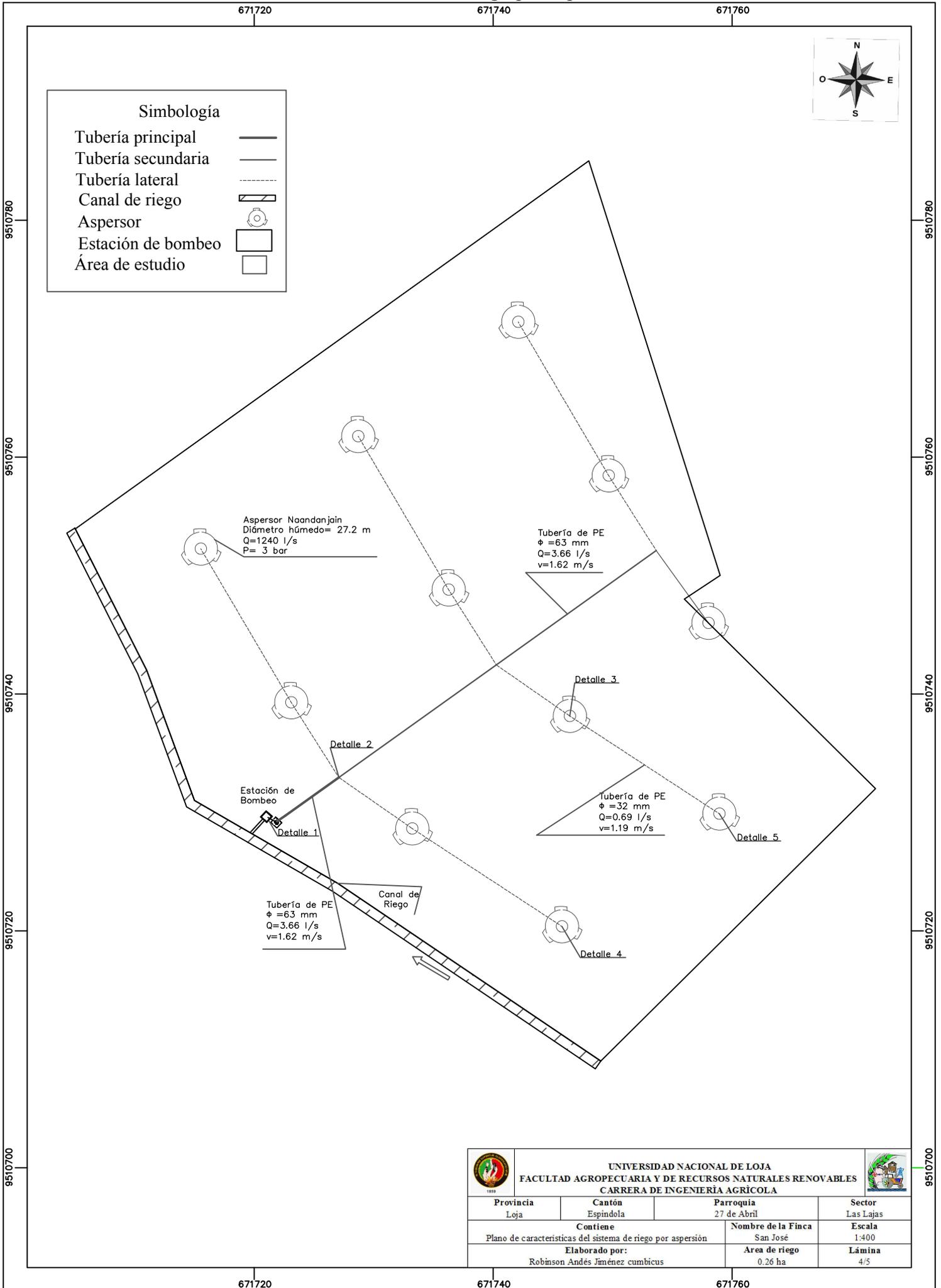


DETALLE 4



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA				
Provincia Loja	Cantón Espíndola	Parroquia 27 de Abril	Sector Las Lajas	
Contiene Plano de detalles técnicos del sistema de riego por aspersión		Nombre de la Finca San José	Escala 1:400	
Elaborado por: Robinson Andrés Jiménez cumbicus		Area de riego 0.26 ha	Lámina 5/5	

Anexo 15 Plano de características del sistema de riego por aspersión.



 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA</p>				
Provincia Loja	Cantón Espindola	Parroquia 27 de Abril	Sector Las Lajas	
Contiene Plano de características del sistema de riego por aspersión			Nombre de la Finca San José	Escala 1:400
Elaborado por: Robinson Andrés Jiménez cumibicus			Área de riego 0.26 ha	Lámina 4/5