



1859

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**Diseño de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de
maíz (*Zea mays*) en el predio agrícola “El Almendro” del
barrio La Vega, parroquia y cantón Catamayo, provincia de
Loja**

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

Maribel Andreina Guamán Zhingre
Autor

Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.
Director

Loja – Ecuador
2021

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Edison Ramiro Vásquez
DIRECTOR DE TESIS

HAGO CONSTAR :

Que el proyecto de tesis **Diseño de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el predio agrícola “El Almendro” del barrio La Vega, parroquia y cantón Catamayo, provincia de Loja**, de autoría de **Maribel Andreina Guamán Zhingre**, ha concluido con todas las actividades planificadas en el cronograma.

Loja, 07 de septiembre de 2020



firmado electrónicamente por:

EDISON

RAMIRO

Edison Ramiro Vásquez
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Loja, 4 de marzo del 2021

Ing.

Luis Sivilsaca Caraguay Mg. Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS

En calidad de presidente del Tribunal de Calificación de la Tesis titulada: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) EN EL PREDIO AGRÍCOLA “EL ALMENDRO” DEL BARRIO LA VEGA, PARROQUIA Y CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA**, de autoría de la señorita egresada de la Carrera de Ingeniería Agrícola **Maribel Andreina Guamán Zhingre**, con cédula de ciudadanía Nro. **1150715264**, se informa que la misma ha sido revisada e incorporadas todas las sugerencias efectuadas por el Tribunal Calificador y luego de su revisión se ha procedido a la respectiva calificación. Por lo tanto, autorizamos la versión final de la tesis y la entrega oficial para la sustentación pública.

Atentamente,



firmado electrónicamente por:
LUIS FLORESMILO
SIVISACA
CARAGUAY

Mg.Sc. Luis Floresmilo Sivilsaca Caraguay
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



firmado electrónicamente por:
MIGUEL
ANGEL

Mg.Sc. Miguel Ángel Villamagua
VOCAL DEL TRIBUNAL



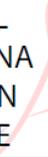
firmado electrónicamente por:
WILMAN EDUARDO
ALDEAN GUAMAN

Mg.Sc. Wilman Eduardo Aldeán
VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, Maribel Andreina Guamán Zhingre, declaro ser autora 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.

Firma: MARIBEL
ANDREINA
GUAMAN
ZHINGRE  Firmado digitalmente por
MARIBEL ANDREINA
GUAMAN ZHINGRE
Fecha: 2021.03.11
16:13:20 -05'00'

Autora: Maribel Andreina Guamán Zhingre

Cédula: 1150715264

Fecha: Loja, 11 de marzo del 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN

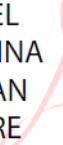
Yo, Maribel Andreina Guamán Zhingre, declaro ser autora de la tesis titulada: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ (ZEA MAYS) EN EL PREDIO AGRÍCOLA “EL ALMENDRO” DEL BARRIO LA VEGA, PARROQUIA Y CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA**, como requisito para optar al grado de Ingeniera 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 ocho días del mes de marzo de dos mil veintiuno, firma la autora.

MARIBEL
ANDREINA
GUAMAN
ZHINGRE

Firma: 

Firmado
digitalmente por
MARIBEL ANDREINA
GUAMAN ZHINGRE
Fecha: 2021.03.11
16:14:32 -05'00'

Autora: Maribel Andreina Guamán Zhingre

Número de cédula: 1150715264

Dirección: Calle Carlos Arrobo y Joaquín Gallegos Lara. Av. Villonaco, Loja - Ecuador

Correo electrónico: marygza97@gmail.com

Teléfono: 326186 Celular: 0959812105

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Tesis: Dr. Edison Ramiro Vásquez

Tribunal de Grado: Ing. Luis Floresmilo Sivisaca Caraguay Mg. Sc.

Ing. Wilman Eduardo Aldeán Guamán Mg. Sc.

Ing. Miguel Ángel Villamagua Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

Un especial reconocimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables por brindarme la oportunidad de ser una profesional; mis más sinceros agradecimientos a la planta docente de la carrera de Ingeniería Agrícola, por otorgarme sus conocimientos y experiencias; así mismo, al personal administrativo que ayudaron a lo largo de mi formación académica.

De igual forma agradezco a mi director de tesis Ing. Edison Ramiro Vásquez y a docentes que contribuyeron para el cumplimiento de mi trabajo de tesis.

Finalmente, agradezco a familiares y amigos por el apoyo brindado y su confianza. Gracias a todos por contribuir y ser una parte fundamental de mi formación profesional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por bendecirme, guiarme y protegerme en todo momento; y, permitirme culminar mi formación académica.

Especialmente dedico este logro a mis padres José Guamán y Blanca Zhingre, de la misma manera a mis hermanos por ser un ejemplo de superación, por haberme brindado su apoyo incondicional y ser parte fundamental en mi vida y formación universitaria.

Maribel Guamán

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	III
AUTORÍA.....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIV
TÍTULO.....	XV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Recursos hídricos.....	3
2.2. Riego y sus tendencias.....	4
2.3. Métodos de riego	5
2.3.1. Riego por superficie.....	5
2.3.2. Riego presurizado	7
2.4. Parámetros hidrofísicos del suelo que intervienen en un sistema de riego.....	7
2.4.1. Textura.....	7
2.4.2. Densidad aparente.....	8
2.4.3. Densidad real	9
2.4.4. Porosidad o volumen total del suelo.....	9

2.4.5.	Profundidad.....	10
2.5.	Energía del agua en el suelo	10
2.6.	Curva de retención del agua del suelo	11
2.6.1.	Aplicaciones de la curva de retención de agua del suelo.....	12
2.6.2.	Contenido de agua en el suelo	13
2.6.2.1.	Niveles de humedad del suelo.	14
2.6.2.2.	Evaluación de las condiciones físicas del suelo.	15
2.7.	Infiltración del agua en el suelo.....	16
2.8.	Riego aspersión.....	16
2.8.1.	Ventajas y desventajas	17
2.8.1.1.	Ventajas.	17
2.8.1.2.	Desventajas.	18
2.8.2.	Tipos de riego por aspersión.....	18
2.8.2.1.	Estacionarios.....	18
2.8.2.2.	Móviles o desplazamiento continuo.	19
2.8.3.	Componentes de un sistema de riego por aspersión	20
2.8.3.1.	Fuente de agua.	20
2.8.3.2.	Fuente de energía.....	20
2.8.3.3.	Red de distribución.	20
2.8.3.4.	Aspersores.....	20
2.9.	Diseño Agronómico.....	21
2.9.1.	Necesidades de agua de los cultivos	21
2.9.1.1.	Evapotranspiración (ET).....	21
2.9.1.2.	Evapotranspiración de referencia (Eto).	22
2.9.1.3.	Coeficiente de cultivo (Kc).....	23
2.9.1.4.	Evapotranspiración del cultivo (ETc).....	23
2.9.2.	Parámetros de riego	23
2.9.2.1.	Lámina de agua aprovechable (LAA).....	23
2.9.2.2.	Umbral de Riego.....	23
2.9.2.3.	Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA).	24

2.9.2.4. Lámina de riego o lámina total (Lr).....	24
2.9.2.5. Frecuencia de riego.....	24
2.9.2.6. Selección del aspersor.....	25
2.10. Diseño hidráulico.....	27
2.10.1. Diseño de la red de tuberías de distribución.....	27
2.10.1.1. Pérdidas de carga por fricción longitudinal.....	27
2.10.1.2. Pérdidas de carga locales.....	29
2.10.1.3. Pérdidas de carga de salidas múltiples o cálculo del lateral.....	30
2.11. Eficiencia de riego.....	31
2.11.1. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU).....	32
2.11.1.1. Factores que intervienen en el coeficiente de uniformidad.....	32
2.11.2. Uniformidad de distribución (DU).....	33
2.12. Criterios para la selección de un grupo de bombeo.....	33
2.12.1. Carga dinámica total.....	34
2.12.2. Potencia de la bomba.....	34
2.13. Importancia del riego en el maíz.....	34
2.13.1. Trabajos relacionados con el diseño de riego por aspersión.....	35
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	37
3.1. Ubicación del predio “El Almendro”.....	37
3.1.1. Información climática.....	37
3.1.2. Hidrografía.....	38
3.2. Materiales.....	38
3.3. Metodología.....	38
3.3.1. Metodología para el primer objetivo.....	38
3.3.1.1. Elaboración de encuesta.....	38
3.3.1.2. Elaboración de la línea base.....	39
3.3.2. Metodología para el segundo objetivo.....	39
3.3.2.1. Superficie a regar.....	39
3.3.2.2. Medición del caudal de la fuente de abastecimiento.....	39

3.3.2.3. Propiedades hidrofísicas del suelo.....	40
3.3.2.4. Diseño agronómico.....	42
3.3.2.5. Diseño hidráulico.....	47
3.3.2.6. Selección de la motobomba.....	51
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	54
4.1. Resultados y discusión para el primer objetivo	54
4.1.1. Elaboración de encuesta	54
4.1.2. Elaboración de la línea base	54
4.2. Resultados y discusión para el segundo objetivo	67
4.2.1. Superficie a regar	67
4.2.2. Caudal de la fuente de abastecimiento.....	67
4.2.3. Estudio del suelo.....	67
4.2.3.1. Curva de retención de humedad del suelo y evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	68
4.2.3.2. Velocidad de infiltración del agua en el suelo.....	69
4.2.4. Diseño agronómico.....	69
4.2.4.1. Necesidades de agua del cultivo.....	69
4.2.4.2. Parámetros de riego.....	71
4.2.4.3. Selección del aspersor.....	73
4.2.5. Diseño hidráulico.....	75
4.2.5.1. Selección de la motobomba.....	77
5. CONCLUSIONES.....	79
6. RECOMENDACIONES.....	80
7. BIBLIOGRAFÍA	81
8. ANEXOS	89

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>La textura y su variación en diámetro.</i>	7
Tabla 2. <i>Densidad aparente en función de la textura.</i>	9
Tabla 3. <i>Contenido de agua a CC y PMP en distintas texturas (Martín de Santa Olalla y de Juan Valero, 1992).</i>	14
Tabla 4. <i>Coeficientes de Hazen – Williams.</i>	28
Tabla 5. <i>Coeficientes para pérdidas en accesorios.</i>	29
Tabla 6. <i>Eficiencia de aplicación del agua según el método utilizado.</i>	32
Tabla 7. <i>Superficies de los predios del sector “El Salado”.</i>	54
Tabla 8. <i>Uso actual del predio y tipos de cultivos con más demanda de siembra.</i>	55
Tabla 9. <i>Ciclos, producción y fechas del cultivo de maíz.</i>	56
Tabla 10. <i>Ciclos, producción y fechas del cultivo de la yuca.</i>	57
Tabla 11. <i>Ciclos, producción y fechas del cultivo de la cebolla.</i>	58
Tabla 12. <i>Ciclos, producción y fechas del cultivo de caña.</i>	59
Tabla 13. <i>Ciclos, producción y fechas del cultivo de frutales.</i>	60
Tabla 14. <i>Evapotranspiración de referencia.</i>	69
Tabla 15. <i>Evapotranspiración del cultivo.</i>	70
Tabla 16. <i>Índice de humedad.</i>	70
Tabla 17. <i>Requerimientos hídricos del cultivo</i>	71
Tabla 18. <i>Pérdida de carga en la red de tubería, con el método de Hazen – Williams.</i>	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Triangulo textural.	8
Figura 2. Curvas de retención del agua en el suelo para suelos arenosos, arcillosos y francos.	12
Figura 3. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.	15
Figura 4. Representación esquemática de la superficie regada por cada tipo de marco.	27
Figura 5. Ubicación de la zona de estudio.	37
Figura 6. Métodos de riego para los diferentes cultivos del sector.	61
Figura 7. Dificultades con respecto al uso de riego en el predio.	63
Figura 8. Uso de insumos agrícolas en los diferentes cultivos de los predios.	64
Figura 9. Curva de retención de humedad del suelo.	68
Figura 10. Coeficientes del cultivo de maíz (kc).	70
Figura 11. Laterales críticos.	76

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Aforo del caudal del canal de riego.....	89
Anexo 2. Levantamiento topográfico.	89
Anexo 3. Medición de la velocidad de infiltración.....	89
Anexo 4. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	90
Anexo 5. Velocidad de infiltración de la zona de estudio.	91
Anexo 6. Evapotranspiración de referencia, según el programa Cropwat.....	92
Anexo 7. Datos de las fases fenológicas y Kc, según Ureña (2017)	92
Anexo 8. Factor de corrección del caudal.	92
Anexo 9. Tabla de selección rápida de la motobomba.	93
Anexo 10. Estimación de la eficiencia de la motobomba y el NPSH requerido.	93
Anexo 11. Coeficiente de corrección por altitud.	94
Anexo 12. Características del aspersor seleccionado.	94
Anexo 13. Velocidad del viento del lugar de estudio.	95
Anexo 14. Presión de vapor del agua en función de su temperatura.	95
Anexo 15. Plano del levantamiento topográfico.....	96
Anexo 16. Plano del diseño del sistema por aspersión.	97
Anexo 17. Plano de traslape de los aspersores.	98
Anexo 18. Detalles de la red de tuberías, aspersores y motobomba.....	99
Anexo 19. Características técnicas de la motobomba.....	100
Anexo 20. Encuesta aplicada.	101

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ
(ZEA MAYS) EN EL PREDIO AGRÍCOLA “EL ALMENDRO” DEL BARRIO LA VEGA,
PARROQUIA Y CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA.

RESUMEN

En el predio agrícola “El Almendro” del barrio La Vega, parroquia y cantón Catamayo, provincia de Loja, se realizó el diseño de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de maíz (*Zea mays*) para una superficie de 0,58 ha. El objetivo principal es de contribuir al manejo integral de los predios dedicados a la agricultura familiar campesina del sector, mediante el diseño de un sistema de riego presurizado; para el cual se realizó la evaluación física del suelo, en donde se tomaron muestras no disturbadas con la ayuda de los cilindros Koppecky de 100 cm³, y muestras alteradas, a una profundidad de 40 cm respectivamente. Para el diseño agronómico, se determinó, las necesidades de riego del cultivo de maíz, donde se empleó el método indirecto Penman- Monteith propuesto por la FAO para la obtención de la ETo, el cual se efectuó con base a datos climáticos (altitud, latitud, longitud, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y heliofanía) de la estación meteorológica Catamayo, y a partir de los datos obtenidos por Ureña (2016) se graficó la curva del kc, que se utilizaron para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo. A partir de los resultados de análisis de las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, textura, velocidad de infiltración, profundidad efectiva) se determinó, la lámina de riego de 53,64 mm; la frecuencia de riego de 7 días; y, el tiempo de riego de 7 horas. En el diseño hidráulico, se determinó la red hidráulica principal, secundaria o múltiple y lateral, con diámetros nominales de 3”, 3” y 1 ½”, respectivamente, mismas que fueron diseñadas a través de la fórmula de Hazen-Williams; además, se estimó el coeficiente de Christiansen para las tuberías con multisalidas. Finalmente, se seleccionó la motobomba Honda WH20X de 5,5 HP, con una presión máxima de 42,84 mca.

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

ABSTRACT

In the “El Almendro” agricultural property of La Vega neighborhood, Catamayo parish and canton, Loja province, was designed a sprinkler irrigation system for the cultivation of corn (*Zea mays*) for an area of 0.58 ha. The main objective is to contribute to the integral management of the properties dedicated to peasant family agriculture in the sector, through the design of a pressurized irrigation system; for which, was done the physical evaluation of the soil, where were taken undisturbed samples with the help of Koppecky cylinders of 100 cm³, and altered samples, at a depth of 40 cm respectively. For the agronomic design, were determined the irrigation needs of the corn crop, where was used the indirect Penman-Monteith method proposed by FAO to obtain the ETo, which was carried out based on climatic data (altitude, latitude, length, maximum and minimum temperature, relative humidity, wind speed and heliophany) of the Catamayo meteorological station, and from the data obtained by Ureña (2016) was graphed the kc curve, which was used to calculate evapotranspiration of the crop. From the results of the analysis of the physical properties of the soil (apparent density, field capacity, permanent wilting point, texture, infiltration speed, effective depth), was determined the irrigation sheet of 53.64 mm; the frequency of irrigation of 7 days; and, the watering time of 7 hours. In the hydraulic design, was determined the main, secondary or multiple and lateral hydraulic network, with nominal diameters of 3”, 3” and 1 ½”, respectively, which were designed through the Hazen-Williams formula; in addition, was estimated the Christiansen coefficient for pipes with multi-outlets. Finally, was selected the 5.5 HP Honda WH20X motor pump, with a maximum pressure of 42.84 mwc.

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

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la superficie de regadío es de 325'000.000,1 ha, lo que representa el 20 % del total de tierra cultivada y el 40 % de los alimentos producidos. El continente asiático representa 232'000.000,7 ha (71,6 %); América con 52'000.000,2 ha (16 %); Europa con 21'000.000,4 ha (6,6 %); África con 15'000.000,6 ha (4,8 %) y Oceanía con 3'000.000,2 ha (1 %) de la superficie regada a nivel mundial. Del total de agua que se utiliza en la agricultura de regadío, el 94 % de la superficie se riega por gravedad y el 6 % por aspersión o goteo, con una eficiencia media de riego del 56 % (Arroyo, 2017); lo que se debe a la escasa tecnificación de riego, al poco uso de riego localizado, a la falta de conocimientos y a la poca inversión realizada, esto conlleva a problemas como excesiva descarga de agua, aumento de salinización de suelos debido al excesivo uso en tierras mal drenadas, anegamientos, uso ineficiente de riego, entre otros, dando como resultado a una tasa decreciente de tierras regadas eficientemente (Eurosur, s.f.).

En Ecuador, la producción bajo riego contribuye al 70 % de la producción agrícola nacional. De acuerdo a la Comisión Nacional de Recursos Hídricos, actualmente Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), cerca de 420.000 ha (28 %) corresponden a riego privado - particulares, con 36,5 % del caudal concesionado; 266.000 ha (18 %) a los sistemas públicos, con 23 % del caudal concesionado y 466.000 ha (31 %) a los comunitarios y asociativos con 40,5 % del caudal (SENPLADES, 2014). Sin embargo, al 28 % de la superficie de riego privado – particular, se le suma el 23 % que corresponde a 348.000 ha del uso del agua sin concesión, dando un total de 51 %; es decir, que pertenecen a personas o entidades privadas como personas naturales, empresas, sociedades, compañías y corporaciones. La Secretaría de Riego y Drenaje (SRD) y la SENAGUA, mencionan que existirían 1'152.000 ha bajo infraestructura de riego, restándole a esto, las hectáreas que están siendo regadas de manera ilegal (sin concesión), daría 1'500.000 ha equipadas con riego (Román et al., 2011).

De acuerdo a la FAO, las principales formas de riego que se utilizan en Ecuador son 663.900 ha (78 %) de riego por inundación y gravedad, 170.100 ha (20 %) de aspersión y 19.400 ha (2 %) de riego localizado, lo que evidencia escasa tecnificación en la forma de aplicar el agua a los cultivos (Martínez, 2015). Es importante tener presente que la tecnificación de riego parcelario no solo es dejar de regar por superficie y pasar al riego por aspersión o goteo; de hecho, implica considerar aspectos económicos, sociales y técnicos de una comunidad.

En la provincia de Loja, solamente el 22 % de la superficie con uso agropecuario dispone de riego (PDOT, 2014). En el cantón Catamayo se cultiva 13.293 ha, de las cuales 4.682 ha (35 %) se encuentran bajo riego y el resto bajo seco; de la superficie regada, el 89 % es a gravedad, 3 % por aspersión, 7 % corresponden a otros sistemas y el 1 % a bombeo. Por lo que se puede evidenciar que en el cantón Catamayo no se ha tecnificado el riego, manteniéndose el método tradicional que es a gravedad, debido a la falta de conocimientos y a la poca inversión por parte del Estado en las etapas productivas primarias (PDYOT, 2014).

Los predios agrícolas del sector “El salado”, de la parroquia Catamayo dedicados a la agricultura familiar campesina, utilizan para el riego el agua del canal secundario que deriva del río Catamayo. El riego se realiza de dos maneras; al sur del canal se riega los predios por gravedad, lo que implica que las prácticas tradicionales siguen siendo utilizadas, esto provoca serios problemas de drenaje, salinidad del suelo, mala eficiencia de riego, desperdicio de agua y reducción de la superficie para los cultivos debido a la construcción de canales, erosión del suelo por emplear caudales erosivos y mayor crecimiento de malezas; y, para el riego al norte del canal se utilizan bombas que en la mayoría de los casos no han sido seleccionadas técnicamente por falta de conocimiento de los usuarios del sector, escasa asistencia técnica y mala planificación de sistemas de riego a implementarse.

En estas consideraciones, se planteó la propuesta de “Diseño de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el predio agrícola “El Almendro” del barrio La Vega, parroquia y cantón Catamayo, provincia de Loja”, con la finalidad del uso eficiente del recurso hídrico para una superficie de 0,58 ha.

Objetivo general

Contribuir al manejo integral de los predios dedicados a la agricultura familiar campesina del barrio La Vega, de la parroquia y cantón Catamayo, provincia de Loja.

Objetivos específicos

- Elaborar la línea base de la producción agrícola para los predios del barrio La Vega, de la parroquia y cantón Catamayo.
- Diseñar un sistema de riego por aspersión para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el predio agrícola “El Almendro”.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Recursos hídricos

Los recursos hídricos son cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas. Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional ya que son indispensables para la existencia de la vida. Una de las grandes dificultades que enfrenta la humanidad es la falta de agua dulce, la construcción de presas y el tratamiento de aguas residuales son algunas de las estrategias que se llevan a cabo para obtener recursos hídricos que puedan aprovecharse (Pérez & Merino, 2016).

La importancia de estos recursos hídricos plantea retos y problemas serios como la desertificación o las sequías. Planificar estos recursos de manera adecuada no es fácil, por el hecho de que no solo los individuos, animales y plantas (cultivos) lo necesitan, también muchas industrias actuales requieren un gran número de agua para sacar sus producciones adelante (IMPORTANCIA, s. f.).

En los últimos 50 años, el consumo del agua en el mundo se ha triplicado y en los últimos 25 años, la disponibilidad de agua en el mundo disminuyó un 50 %. Según pronósticos en el año 2025, alrededor de 3.500 millones de personas (casi la mitad de la población total) sufrirán problemas con el agua (Gaceta, 2015).

El Ecuador está conformado por 79 cuencas hidrográficas de las cuales 72 descargan al Océano Pacífico y contienen el 19% del recurso hídrico total; y, las 7 cuencas hidrográficas restantes descargan a la cuenca amazónica y contienen el 81% del recurso hídrico total. Según el SENAGUA para el 2010, el número de concesiones de agua para consumo humano fue de 24.110, con un consumo estimado de 45.307 l/s y para el riego, el número de concesiones fue de 34.739, con una estimación de 519.949 l/s. De las cuales el 88% corresponden a la Sierra, el 11% a la Costa y el 1% a la Amazonía y Galápagos, esta demanda ha aumentado aproximadamente en un 16 % en los últimos años (SENAGUA, 2012; citado en Rivera, 2016).

La provincia de Loja posee cuatro cuencas hidrográficas, la del río Catamayo - Chira con un caudal promedio de 135.000 l/s, la del río Santiago con 1'400.000 l/s, la del río Puyango con 90.000 l/s y la del río Jubones con 50 l/s (PDOT, 2014).

Según la SENAGUA, CNRH e INERHI, existen 25.917 concesiones de agua, con un caudal que suma 35.483,36 m³/s, con un 80 % de concesiones que se toman de ríos y quebradas, originados sobre todo en los páramos de las microcuencas altas y un 2,1 % proviene de lagunas, vertientes, y pozos. Del total de caudal concesionado el 0,28 % corresponde a abrevaderos; el

2,56 % al agua potable; el 0,08 % a la fuerza mecánica; el 2,51 % a hidroelectricidad; el 0,45 % a las industrias; el 0,44 % a piscícolas; el 90,18 % a riego; y, el 3,5 % a uso doméstico (PDOT, 2015).

En el cantón Catamayo la principal red hídrica es el Río Catamayo con un caudal aproximado de 21.550 l/s, mismo que abastece de agua para consumo humano y la agricultura. El número de concesiones de agua para el cantón es de 1.456, distribuidas para riego y agua potable, con un caudal total de 3418 l/s; es importante señalar que la parroquia El Tambo tiene mayor número de concesiones (522) con 950 l/s (PDOT, 2012).

2.2. Riego y sus tendencias

Cuando el contenido de humedad es bajo se dificulta la absorción, por ello es necesario regar para reponer y que quede disponible para las plantas (Demin, 2014).

El riego consiste en la actividad de suministrar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua requerida cuando esta no puede ser satisfecha de forma natural a través de la precipitación con el objetivo de garantizar su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de las sales de forma que evite su acumulación en el suelo (Tarjuelo, 2005; citado en Mendoza & Bermúdez, 2015).

A principios de 1980, miles de agricultores de África comenzaron a utilizar un nuevo dispositivo revolucionario, una bomba de agua, simple y poco costosa, accionada por el hombre, para regar los cultivos. La FAO tenía la certeza de que esta tecnología podría ayudar a los agricultores africanos si pudiera adaptarse a las condiciones locales y producirse in situ. Bombear agua con motores pequeños de diésel o eléctricos requiere menos mano de obra que una bomba de pedales (FAO, 2003).

En los últimos años, algunas tecnologías han sufrido un avance significativo y facilitan acceder al productor a niveles de gestión del riego, con muy buenos niveles de eficiencia hídrica, utilizando la última programación de riegos, teledetección y modelos de cultivos, así como la aplicación de mejoras en ingeniería de la red de riego mediante protocolos de sectorización parcelaria basados en técnicas de teledetección que permiten obtener zonas más homogéneas, lo que permite aplicar los recursos con mayor precisión para evitar el lavado excesivo del suelo (INTEREMPRESAS, 2019).

Israel presenta un modelo que combina plantas desalinizadoras, revolucionarios métodos agrícolas y tecnologías que han convertido un país sin agua en uno que proporciona a

otros, diseñando un software que detecta y soluciona problemas en el sistema hídrico alertando sobre fugas y todo tipo de anomalías, en el que se implementa la analítica, Cloud, Big Data y algoritmos al campo del agua. Se utiliza una energía de 20 vatios, que convierte la red de agua en inteligente para que puedan transmitir y registrar la información. Esta puede ser utilizada para diversas aplicaciones, incluyendo sistemas de monitorización de agua, válvula de control remoto, calidad del agua, registradores de datos, reducción de presión de control o sensores, gracias a la producción de microenergía nacida de generadores de tuberías, para gestionar redes de agua (ELMUNDO, 2017).

En Ecuador la superficie potencialmente regable es de 3'136.000 ha, considerando la aptitud de los suelos y los recursos hídricos disponibles; y, la superficie agropecuaria que cuenta con riego es de 989.637,67 ha, que representa el 31.56 % (INEC, 2016). Estas superficies benefician a pequeños agricultores y ganaderos, a través de diferentes sistemas de riego, eficientemente aplicados y aumentando la producción en sus cultivos, para satisfacer la demanda de los sistemas de producción, es decir, que sean flexibles y se adapten a los diversos sistemas de cultivos y a la vez a los acuerdos sociales de reparto, optimización y distribución de agua. (Larrea et al., 2014). Mientras que en el cantón Catamayo, las 4.682 ha que se encuentran bajo riego, benefician a 1.818 unidades de producción agropecuaria (UPAs), mismas que utilizan mayormente el riego por gravedad (PDOT, 2012).

2.3. Métodos de riego

Es el conjunto de estructuras, que permite determinar qué área pueda ser cultivada aplicándole el agua necesaria a las plantas. El sistema de riego consta de una serie de componentes, aunque no necesariamente el sistema de riego debe constar de todas ellas, ya que dependerá de si se trata de riego superficial, por aspersión, o por goteo (EcuRed, s. f.).

2.3.1. Riego por superficie

El riego por superficie es un método de riego que consiste en aplicar el agua al suelo por gravedad. Se aporta el agua a la parcela y el suelo la distribuye a lo largo y ancho cubriendo la totalidad o sólo parte de su superficie. Una vez que el agua llega al punto de la parcela donde será aplicada, no es preciso suministrar presión ya que se vierte y discurre libremente (Fernández, Milla, et al., 2010).

El riego por gravedad se utiliza en terrenos con topografías o relieves llanos o con escasa pendiente, son poco costosos en instalaciones y mantenimiento, pero generalmente no

se consiguen altas eficiencias, si bien cuando el diseño es adecuado y el riego se maneja de forma adecuada (Fernández, Milla, et al., 2010).

Según García (2011), mediante un análisis de riego por gravedad realizado en Uruguay, se regó una parcela, aduciendo el agua a los surcos mediante una tubería con salidas regulables frente a cada uno, utilizando dos caudales; el primero se mojaba el surco con el máximo caudal que no generara erosión, y cuando éste llegaba al final del surco, se reducía a un caudal apenas superior al infiltrado, alcanzando una eficiencia de aplicación de 78 %.

Según Flores (2016), menciona que los factores que inciden en una buena tecnificación del riego por gravedad son:

- ▶ Longitud del surco, esta debe mantener un equilibrio entre la parte superficial del surco y la parte saturada, no se recomienda surcos mayores a 300 m.
- ▶ Textura, una textura arcillosa indica un tiempo mayor para la infiltración y más rápido avance superficial.
- ▶ Pendiente, busca el equilibrio de flujo, no debe ser tan pronunciada que aumente la velocidad del agua y cause erosión o tan pequeña que el agua se estanque. Se recomienda pendientes del 2 %.
- ▶ Nivelación y trazo del surco, es un factor crítico mediante el cual se puede gestionar la pendiente y longitud del surco; y, el trazo de riego, debe favorecer el flujo del agua por un lado y el drenaje en el otro sentido.
- ▶ Lámina aplicada, es el volumen de agua aplicada al inicio del surco, ésta debe ser calculada en función de las necesidades del cultivo; así mismo, debe ser estimado el tiempo de aplicación, que depende del diámetro del “sifón.”
- ▶ Intervalo de riego o calendarización del riego, en función de las necesidades del cultivo, la cantidad de agua que el suelo puede almacenar y la disponibilidad de agua, se lleva a cabo la planeación de los riegos.
- ▶ Velocidad de infiltración del agua en el suelo, si es mayor que 10 cm/h, no se recomienda los métodos de riego por gravedad y el gasto de riego, debe ser menor o igual a la velocidad media de infiltración (IMTA, 2010).

Es el método más antiguo en todo el mundo y aplicado en mayor superficie, incluso en la actualidad. Se estima que el 95 % de las tierras regadas en el mundo se realiza por superficie debido a que se considera el método más apropiado, técnicamente, para suelos llanos y pesados, y, económicamente, para varios cultivos y sistemas de producción (Pereira et al., 2010).

2.3.2. Riego presurizado

En estos sistemas de riego el agua se conduce a presión por tuberías y laterales de riego hasta las plantas, donde es aplicada desde emisores en forma de gotas (goteo) o de fina lluvia (microaspersión o aspersión) (Oviedo & Liotta, 2013).

El agua se puede captar de un río, canal o de perforación si es agua subterránea, la fuente de presurización puede ser una bomba o en forma natural utilizando la pendiente del terreno. Un sistema de riego presurizado consta de un cabezal de riego que constituye una bomba para extraer agua, impulsarla y darle presión a la tubería, además un sistema de filtrado, inyección de fertilizante y un sistema de conducción y distribución del agua mediante tuberías (Demin, 2014).

2.4. Parámetros hidrofísicos del suelo que intervienen en un sistema de riego

Son en gran parte responsables del buen desarrollo de las plantas, entre las propiedades que se incluyen en el riego están la textura, densidad aparente, densidad real, profundidad, contenido de agua e infiltración (Carvajal, 1997).

2.4.1. Textura

En el riego y drenaje, la textura juega un papel fundamental, en el cálculo de la lámina de riego y se refiere a los porcentajes de arcilla, limo y arenas de menos de 2 mm de diámetro. Para determinar la textura se han propuesto muchas escalas granulométricas, pero las más usadas son: el sistema usado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.) y el Sistema Internacional, propuesto por Atterberg (Tabla 1) (Cisneros, 2003).

Tabla 1

La textura y su variación en diámetro.

Fracciones	Límites de los diámetros (mm)	
	U.S.D.A.	Sistema Internacional (Atterberg)
Arena muy gruesa	2,0 – 1,0	
Arena gruesa	1,0 – 0,5	2,0 – 0,2
Arena media	0,5 – 0,25	
Arena fina	0,25 – 0,1	0,2 -0,02
Arena muy fina	0,1 – 0,05	
Limo	0,05 – 0,002	0,02 – 0,002
Arcilla	< 0,002	< 0,002

Fuente: (Cisneros, 2003)

Es una característica que nos da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, la porosidad, disponibilidad de agua y oxígeno, entre otros (Carvajal, 1997).

Una densidad aparente alta indica un suelo compacto elevado de partículas granulares como la arena y una densidad aparente baja no se indica como un ambiente favorecido para el crecimiento de plantas, es un suelo arcilloso siempre que no se encuentre compactado (Tabla 2). En suelos llanos la densidad aparente oscila de 1,2 a 1,95 g/cm³ (FAO, 2019).

Tabla 2
Densidad aparente en función de la textura.

Texturas	Da (g/cm³)
Arenas	1,4 – 1,6
Francos	1,3 – 1,4
Arcillas	1,1 – 1,3
Suelos orgánicos	0,7 – 1,1

Fuente: (Cisneros, 2003)

2.4.3. Densidad real

La densidad real de un suelo, es la relación que existe entre el peso de éste, en seco (P_{ss}) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (V_p) y se expresa en g/cm³. Se puede considerar casi constante debido a que varía de 2,60 a 2,75 g/cm³ (Cisneros, 2003).

$$Dr = \frac{P_{ss}}{V_p}$$

Donde:

Dr = Densidad real (g/cm³)

P_{ss} = Peso del suelo seco (g)

V_p = Volumen de las partículas (cm³)

2.4.4. Porosidad o volumen total del suelo

Formado por poros; es decir, es el volumen del aire que potencialmente puede ser llenado con el agua o el volumen máximo de agua que un suelo puede contener. El valor de la porosidad representa el contenido del agua en estado de saturación, los valores típicos en arena son de 30 %, suelo franco de 50 % y arcilla de 65 %. Su cálculo se hace aplicando cualquiera de las siguientes igualdades (Cadena, 2016):

$$Pr = \left\{ 1 - \left(\frac{da}{dr} \right) \right\} 100 \quad \text{ó} \quad Pr = \left(\frac{dr - da}{dr} \right) 100$$

Donde:

Pr = Porosidad (%)

da = Densidad aparente (g/cm^3)

dr = Densidad real (g/cm^3)

2.4.5. Profundidad

Es la profundidad o espesor del suelo en que las raíces de las plantas pueden penetrarse sin dificultades, mientras más profundo sea éste, afirmará mejor a la planta y por ende las raíces podrán extenderse más y almacenar más agua. Además, no tendrá problemas para ararlos o nivelarlos si fuera necesario, por lo que se podrá implementar cualquier método de riego, la profundidad efectiva en suelos profundos es de 1 m o más, en moderadamente profundos de 0,60 m y en suelos poco profundos menos a 0,25 m (Cadena, 2016).

2.5. Energía del agua en el suelo

El agua en el suelo tiene una energía determinada, que depende de la cantidad de agua que haya en el suelo y de las fuerzas que actúan sobre ella. Existen dos tipos de energías en el suelo; la cinética que está relacionada con la velocidad del agua por lo que se la considera insignificante por su lentitud; y, la potencial o potencial hídrico total (ψ) que es la energía libre por mol de agua, es decir a la capacidad de realizar trabajo del agua. A una altura de referencia y presión de 1 Atm, el agua pura siempre tiene un potencial hídrico total de cero y a medida que se le resta energía libre, su potencial se hace más negativo. El potencial hídrico se expresa mediante la siguiente ecuación (Silva et al., 2015):

$$\Psi = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_m + \Psi_s$$

Donde:

Ψ_g = Potencial gravitacional

Ψ_p = Potencial de presión

Ψ_m = Potencial mátrico

Ψ_s = Potencial de solutos u osmótico

El potencial hídrico se expresa en unidades de masa en J/Kg, volumen en cbar o Mpa y peso en cm o m.

- Potencial gravitacional (Ψ_g): es el trabajo que se realiza al trasladar una cantidad infinitesimal de agua respecto a un nivel de referencia, pudiendo ser positivo o negativo, si es que esta sobre o bajo el nivel de referencia.
- Potencial de presión (Ψ_p): está referido a la presión atmosférica, su valor es cero o positivo en la presencia de una columna de agua.

- ▶ Potencial mátrico (Ψ_m): es la reducción de energía libre del agua debido a las fuerzas de cohesión y adhesión entre moléculas de agua-agua y agua-sólido. Debido a que en la matriz del suelo existen poros con aire y agua se produce un fenómeno que se conoce como tensión superficial, se mide con tensiómetros (de Bourdon o de mercurio) o con bloques de yeso y su valor es cero o negativo.
- ▶ Potencial de solutos (Ψ_s) u osmótico (Ψ_o): es la reducción de energía libre del agua debido a la presencia de solutos. Adquiere importancia cuando el agua está separada por una membrana semipermeable, en el suelo no hay membranas semipermeables por lo que el agua se mide en respuesta al potencial hidráulico (suma de potencial de presión o mátrico y gravitacional), siempre se presenta en las células y su valor es negativo.

2.6. 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 (Jiménez, 2019).

La curva de retención del agua del suelo presenta un límite húmedo y seco; y, se obtiene al graficar el contenido de agua del suelo (eje de las Y) versus la tensión o potencial mátrico (eje de las X), sometiendo el suelo a presiones de 0,33 y 15 bares como se indica en la figura 2 (Silva et al., 2015).

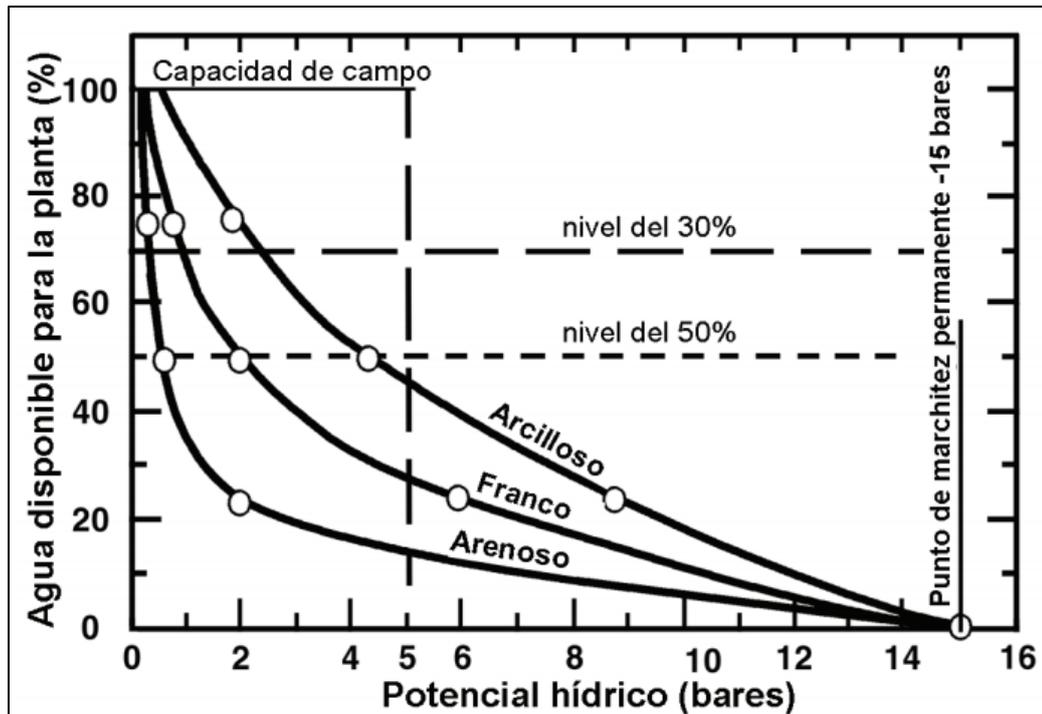


Figura 2. Curvas de retención del agua en el suelo para suelos arenosos, arcillosos y francos.
Fuente: (Martin, 2000)

Según Valarezo et al. (1998), los factores que determinan la forma de la curva de retención de agua en el suelo son: textura, estructura, materia orgánica, saturación del suelo, capacidad de campo, capacidad de aireación o porosidad, punto de marchitez permanente, agua útil o agua aprovechable y volumen físicamente inerte del suelo. Es preciso aludir que para fines de riego la capacidad de campo y punto de marchitez permanente son dos puntos importantes y la diferencia entre estos es la humedad aprovechable total del agua en el suelo.

2.6.1. Aplicaciones de la curva de retención de agua del suelo.

Según Valarezo et al. (1998), la curva de retención de agua del suelo permite:

- ▶ Conocer el volumen total de poros y la distribución de los poros por rangos de tamaño.
- ▶ Determinar la capacidad de aireación del suelo para las raíces y el espacio poroso drenable.
- ▶ Establecer el rango de agua aprovechable para las plantas y el volumen de agua rápidamente aprovechable.
- ▶ Conocer el espacio poroso físicamente inerte.

2.6.2. Contenido de agua en el suelo

El suelo es una matriz sólida, no rígida, compuesta de aproximadamente 50 % de partículas minerales y orgánicas y 50 % de espacio poroso ocupado por aire (25 %) y agua (25 %). Se puede expresar mediante la siguiente ecuación (Silva et al., 2015):

$$Vt = Vs + Va + Vw$$

$$Vt = Vs + Vp \quad \rightarrow \quad Vp = Va + Vw$$

Donde:

Vt = Volumen total (cm^3)

Vs = Volumen de suelo (partículas) (cm^3)

Va = Volumen de aire (cm^3)

Vw = Volumen de agua (cm^3)

Vp = Volumen de poros (cm^3)

Según Silva et al. (2015), la condición hídrica del sistema suelo se describe a través del contenido y energía libre del agua, siendo estos factores los que afectan directamente el comportamiento vegetal. 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; y, agua higroscópica o agua inerte que no puede ser utilizada por los cultivos. Además, el contenido de agua del suelo se expresa en términos gravimétricos (w) y/o volumétricos (θ).

- Contenido gravimétrico (w): es la masa de agua por unidad de masa de suelo seco y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$w = \frac{Mw}{Ms} \quad \rightarrow \quad Mw = Mt - Ms$$

Donde:

Mt = Masa de suelo total (g)

Mw = Masa de agua del suelo (g)

Ms = Masa de suelo seco (g)

- Contenido volumétrico (θ): es el volumen de agua (Vw) por volumen de suelo (Vt), también puede ser calculado a partir del contenido gravimétrico de agua y la densidad aparente del suelo.

$$\theta = \frac{Vw}{Vt} = w * Da$$

En un balance hídrico, las entradas y salidas de agua del suelo se expresan en términos de altura de agua (h) o columna de agua, esto se logra multiplicando el contenido volumétrico de humedad y la profundidad del suelo (Silva et al., 2015):

$$h = \theta * profundidad$$

2.6.2.1. Niveles de humedad del suelo.

Según Alocén (2007), en función de la proporción de agua en los poros del suelo, y su disponibilidad para las plantas, se definen los siguientes:

Saturación: es el contenido de humedad en el que todos los poros del suelo se llenan de agua, por lo que los poros no poseen aire y por ende la mayoría de cultivos no pueden sobrevivir más de entre dos y cinco días por asfixia, siendo el arroz la principal excepción. Para sacar el exceso de agua, que por lo general se da en estaciones lluviosas, se debe realizar mediante el drenaje.

Capacidad de campo (CC): se define como la cantidad de agua retenida en los microporos del suelo después que el excedente de agua se haya drenado y que la tasa de drenaje sea prácticamente nula, esto se obtiene de dos a tres días (48 a 72 horas) posteriores a una lluvia o riego en suelo permeable y textura uniforme, corresponde al contenido de agua a una tensión o potencial mátrico de 0,33 bares; representa el límite máximo de agua utilizable por plantas y el máximo nivel de confort hídrico para los cultivos (Ojeda et al., 2018).

Punto de marchitez permanente (PMP): es el contenido de agua que tiene un suelo cuando el cultivo extrajo toda el agua utilizable; sin embargo, se define como el contenido de humedad en la zona radicular del cultivo al cual la planta se marchita y ya no puede recuperar su turgencia, si ella es colocada en una atmósfera saturada de humedad durante 12 horas. Corresponde al contenido de agua a una tensión o potencial mátrico de 15 bares; el punto de marchitez permanente al igual que la capacidad de campo se expresa en porcentaje en base a la masa (g de agua por g de suelo seco) (Ojeda et al., 2018). A continuación, se presentan los porcentajes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente para las diferentes texturas de suelo (Tabla 3):

Tabla 3

Contenido de agua a CC y PMP en distintas texturas (Martín de Santa Olalla y de Juan Valero, 1992).

Textura	CC (%)	PMP (%)
Arcilla	23 – 46	13 – 29
Franco arcillosa	18 – 23	9 – 10
Franca	12 – 18	4 – 11

Franco arenosa	8 – 13	4 – 6
Arena	5 – 7	1 – 3

Fuente: (Silva et al., 2015)

Agua aprovechable (AA): según García et al. (2012), es el agua retenida entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente; es decir, es la máxima cantidad de agua que la planta puede disponer para su absorción en determinado perfil, se puede expresar en términos de lámina (LAA).

2.6.2.2. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.

Valarezo et al. (1998), señala que la distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo (sólida, líquida y gaseosa) a capacidad de campo, sirve para estimar la condición física del suelo en relación al crecimiento de las plantas; y, para su clasificación se utiliza el diagrama triangular que se presenta en la figura 3, el mismo que relaciona los valores porcentuales del volumen a capacidad de aireación, agua aprovechable y el volumen físicamente inerte del suelo, que es igual al volumen de sólidos más el volumen inútil de poros (corresponde al valor del contenido volumétrico de agua a punto de marchitez permanente).

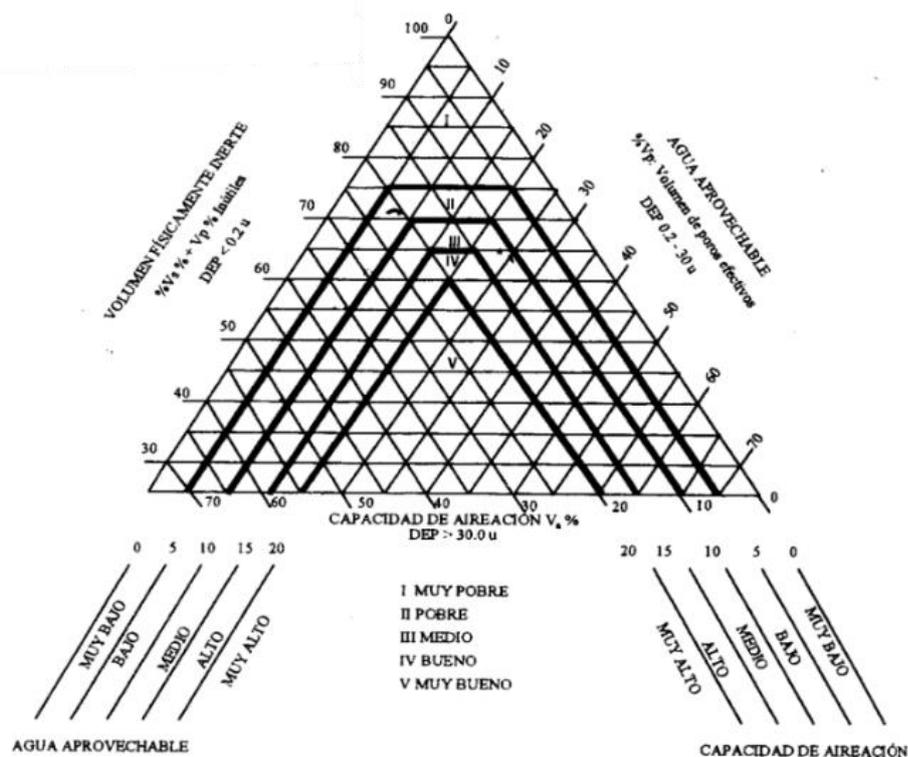


Figura 3. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo. Fuente: ILACO, B.V. (1981); citado en Valarezo et al. (1998)

2.7. Infiltración del agua en el suelo

La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua en el suelo y es el proceso por el cual el agua entra al suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa en cm/h o cm/min. La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él (Cisneros, 2003).

Según Ortiz y Ortiz (1980); citado en Cisneros (2003), menciona que los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son:

- ▶ Textura: en un suelo arenoso es más rápida la infiltración a diferencia de un suelo arcilloso.
- ▶ Estructura: suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.
- ▶ Cantidad de materia orgánica: altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
- ▶ Profundidad del suelo a una capa endurecida, lecho rocoso u otras capas impermeables: los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
- ▶ Cantidad de agua en el suelo: en general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.
- ▶ Temperatura del suelo: los suelos de mayor temperatura permiten mayor infiltración del agua que los de menor temperatura.
- ▶ Cantidad de organismos vivos: a mayor actividad microbiológica en los suelos habrá una mayor infiltración, así como la penetración de las raíces y la aireación.

Dentro de los métodos de campo para determinar la infiltración son: el método del infiltrómetro de doble anillo y el método de entradas y salidas (en surcos).

2.8. Riego aspersión

Es un sistema de riego mediante el cual se aplica agua sobre toda la superficie del suelo en forma de lluvia, por una red de distribución de agua formada por conducciones cerradas que llevan el agua a presión hasta los aspersores; el agua sale de ellos a gran velocidad y cae en forma de lluvia sobre el terreno, donde se infiltrará pasando desde la superficie del suelo hasta capas más profundas, quedando así a disposición del cultivo. Si existe un buen funcionamiento del sistema no debe producirse escorrentía, es decir, cada gota de agua debe infiltrarse en el

mismo punto donde cae. Además, el tamaño de las gotas producidas por los aspersores debe ser tal que no provoque erosión al caer al suelo, cuanto mayor sea el tamaño de la gota, con mayor energía llegará al suelo y en consecuencia la erosión podrá ser mayor (Fernández, Oyonarte, et al., 2010).

Los sistemas de riego por aspersión más antiguos datan del siglo XX, donde se utilizaron para el riego de céspedes ornamentales; sin embargo, se ha desarrollado lentamente para riego de frutales, viveros y hortícolas en cultivo intensivo; en 1930, con el desarrollo de aspersores de impacto y de tuberías en acero ligero con uniones rápidas, el riego por aspersión comenzó a extenderse y ser utilizado en una gama amplia de cultivos por todo el mundo; en 1950, surgieron nuevos aspersores, tuberías de aluminio y sistemas de bombeo más eficientes, lo que favoreció la reducción de costes y aceleró la extensión de este método; y en 1960, surgen los equipos pivote, con costos relativamente bajos, riegos de alta frecuencia, automatización del riego y grandes reducciones de mano de obra (Pereira et al., 2010).

La superficie de riego por aspersión en todo el mundo está cerca del 10 %, siendo más elevado en países desarrollados, con altos costes de mano de obra y bajos costos de energía. Las innovaciones mejoran el funcionamiento del riego y favorecen la adaptación de la aspersión a todos los tipos de suelo, topografía, cultivos y climas. Actualmente, para este sistema de riego se usan tuberías que se mueven manualmente; no obstante, la carencia de la mano de obra ha aumentado cada vez más la automatización del mismo, consiste en el uso de válvulas volumétricas que controlan el volumen de agua deseado y cierran instintivamente después de su suministro. En un nivel más avanzado, estas válvulas se pueden programar mediante el uso de unidades de control, que ordenan automáticamente la apertura y el cierre de las válvulas de acuerdo con el manejo del riego deseado, lo que permite que varias parcelas puedan regarse sin la intervención de la mano de obra uniendo las unidades de control de campo a una unidad principal comandada y ordenada por una computadora o por un teléfono móvil (Pereira et al., 2010).

2.8.1. Ventajas y desventajas

Según Fernández, Oyonarte, et al. (2010), menciona las siguientes ventajas y desventajas:

2.8.1.1. Ventajas.

- Permite regar terrenos ondulados o poco uniformes sin necesidad de una nivelación o preparación previa del mismo.
- Se aprovecha más la superficie de cultivo.

- ▶ Puede ser utilizado en una gran variedad de suelos, incluso en aquellos muy ligeros o de textura arenosa que exigen riegos cortos y frecuentes.
- ▶ Se adapta muy bien a las primeras fases de desarrollo de los cultivos, sobre todo durante la germinación de semillas, donde son necesarios riegos ligeros pero frecuentes.
- ▶ También es un método muy útil para dar riegos de socorro y especialmente eficaz en la lucha contra heladas.
- ▶ Es ideal para realizar un lavado de sales, ya que tienden a desplazarse junto con el agua hasta capas profundas del suelo quedando fuera del alcance de las raíces.
- ▶ Tiene mayor posibilidad de mecanización de los cultivos, ya que se eliminan los obstáculos propios del riego por superficie, solo en caso de sistemas con tuberías en superficie durante la campaña de riegos dificultaría esta mecanización.
- ▶ Permite la aplicación de fertilizantes y tratamientos químicos junto con el agua de riego; además, permite cierto grado de automatización.
- ▶ Se adapta a la rotación de los cultivos, siempre y cuando el diseño de la red de distribución se realice para el cultivo que tenga mayores necesidades de agua.

2.8.1.2. Desventajas.

- ▶ Dependiendo del tipo de sistema que se implante podrá hacer falta una gran inversión inicial y/o de mantenimiento.
- ▶ Alto coste energético, al requerir importantes sistemas de bombeo para dotar a la red la presión adecuada.
- ▶ El aporte de agua en forma de lluvia puede tener efectos negativos sobre algunos cultivos, ya que al humedecerse la parte aérea aumenta el riesgo de desarrollo de enfermedades.
- ▶ El viento dificulta el reparto uniforme del agua haciendo disminuir la uniformidad de aplicación y la eficiencia del sistema de riego.
- ▶ Algunos cultivos pueden sufrir quemaduras en las hojas en mayor o menor grado dependiendo de la sensibilidad del cultivo y de la calidad del agua de riego, puesto que al evaporarse las sales pueden quedar concentradas en exceso.

2.8.2. Tipos de riego por aspersión

2.8.2.1. Estacionarios.

Los aspersores permanecen en una posición fija mientras dura la aplicación del agua, se incluyen los que se desplazan de una posición de riego a otra, ya sea a mano, por tubería flexible o de forma mecanizada, como es el caso de las tuberías con ruedas, que se denominan

sistemas de desplazamiento discontinuo y también involucran las instalaciones fijas, de cobertura total (Pereira et al., 2010). Se clasifican en:

Móviles: Todos los elementos de la instalación son móviles, incluso puede serlo la bomba (Tarjuelo, 2005).

Semifijos: Suelen tener fija la red de tubería principal, que normalmente va enterrada, y las tomas o hidrantes, donde se conectan los ramales de riego, que son móviles. Estos ramales de riego pueden llevar directamente acoplados los aspersores o ir dotados de mangueras, que desplazan los aspersores sobre “patines” a una determinada distancia del lateral (30 a 45 m), pudiéndose realizar varias posturas de riego sin necesidad de cambiar la tubería. Puede existir otra variante en la que todas las tuberías son fijas, desplazándose únicamente los tubos portaaspersores y los aspersores (Tarjuelo, 2005).

Fijos: Los fijos permanentes mantienen todos sus elementos fijos durante la vida útil, lo que implica que todas las tuberías tengan que estar enterradas, mientras que los fijos temporales hay que montarlos al principio de la campaña de riego y retirarlos al final de la misma, lo que implica que los ramales y sus tuberías de alimentación tengan que estar en superficie, pudiendo ser de aluminio o de PVC (Tarjuelo, 2005).

2.8.2.2. Móviles o desplazamiento continuo.

Los aspersores funcionan mientras se mueven, de forma independiente o junto con las tuberías donde van montados, siguiendo una trayectoria lineal o circular. Los principales sistemas móviles, con desplazamiento continuo, son los pivote, laterales de avance frontal y los cañones tirados por una tubería con enrollador o tirados por cable (Pereira et al., 2010). Se clasifican en:

Desplazamiento radial o Pivote Central: Consiste en una tubería montada sobre ruedas, la cual gira en un desplazamiento radial con centro en un punto fijo en el cual recibe el agua por un tubo soterrado o una motobomba. Durante cada sucesivo pase, el equipo aplica una lámina igual de agua a todo lo largo del tubo (EcuRed, 2015).

Desplazamiento frontal: Consiste en un tubo aspersor, conocido como lateral que se desplaza de forma transversal a los surcos. Se aplica en áreas de forma rectangular y la toma de agua es de un canal paralelo al campo (EcuRed, 2015).

Cañón aspersor con su mecanismo enrollador: Constituido generalmente por un equipo que lleva una tubería que puede enrollarse y desenrollarse y que cuenta además con un aspersor gigante final (EcuRed, 2015).

2.8.3. Componentes de un sistema de riego por aspersión

Los principales componentes para un sistema de riego son:

2.8.3.1. *Fuente de agua.*

Permite la provisión del recurso hídrico al sistema de riego y depende de la procedencia (fuente superficial o subterránea), calidad y cantidad del agua (superficie a regar y necesidad de la construcción de un embalse) (Alocén, 2007).

2.8.3.2. *Fuente de energía.*

Según Vallecillo Kühl (1999), se utiliza para llevar con fuerza el agua hacia los cultivos a través de las tuberías, hasta los aspersores, se puede obtener esto, de dos formas:

- **Bombas:** compuesta por un motor que proporciona energía para impulsar el agua, pueden ser bombas activadas por corriente eléctrica, o por combustible, diésel o gasolina.
- **Desnivel del terreno:** se puede aprovechar las diferencias de nivel que se forman entre dos puntos sobre el terreno, así el desnivel o pendiente desde la fuente de agua, nos puede dar suficiente presión para llevar el agua con fuerza hasta los aspersores.

2.8.3.3. *Red de distribución.*

Son tuberías encargadas de llevar el agua hacia los aspersores, se componen de tuberías principales, son las que toman el agua directamente de la fuente de agua hasta la primera derivación de los caudales que se dirigen a las distintas subunidades; tuberías laterales o secundarias, son las que abastecen de agua a las subunidades continuas o a los aspersores, que, a su vez, se encargan de regar el agua en la parcela, se fabrican de aluminio o de plástico PVC; y, también existen las tuberías terciarias, conocidas como múltiples y distribuyen el agua dentro de la unidad de riego (Vallecillo Kühl, 1999).

2.8.3.4. *Aspersores.*

Según Fernández, Oyonarte, et al. (2010), son dispositivos encargados de distribuir el agua en forma de lluvia sobre la superficie del suelo, provistos de una o más boquillas montadas sobre un cuerpo central, por las que sale el agua a presión, tienen un movimiento giratorio que es provocado por la presión del agua, que, al salir, se dispersa en forma de gotas mojando una

superficie más o menos circular, cuyo alcance depende de la presión del agua y del tipo de aspersor. Se clasifican en:

- **Según el mecanismo de giro:** aspersores de impacto o martillo, hélice, giro rápido, giro parcial, turbina o engranaje y rotativos o de reacción.
- **Según el área mojada:** aspersores circulares y sectoriales.
- **Según el número de boquillas:** aspersores de una, dos y tres boquillas.
- **Según la trayectoria o ángulo de salida del chorro:** aspersores de ángulo bajo ($\leq 25^\circ$) y de ángulo normal (25° a 45°).
- **Según la presión de trabajo:** aspersores de baja presión (10 a 25 mca), media presión (25 a 40 mca) y alta presión o cañones (mayor a 40 mca).

2.9. Diseño Agronómico

2.9.1. Necesidades de agua de los cultivos

Es la cantidad de agua requerida por las plantas para reponer el consumo producido por la evapotranspiración y el agua retenida en las plantas. Es importante conocer estas necesidades para diseñar los sistemas de captación, distribución, aplicación de agua y poder así planificar ¿cuánto podemos regar y en qué tiempo lo podemos hacer? (Villafáfila & Wyss, 2009)

2.9.1.1. *Evapotranspiración (ET).*

Es la combinación de dos procesos separados por los que se pierde agua, a través de la superficie del suelo por evaporación y por la transpiración del cultivo, los cuales ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguirlos; es decir, es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante, la cual puede ser un lago, río, camino, suelo o vegetación mojada. Al evaluar la evaporación es importante tener en cuenta algunos parámetros climatológicos como son: la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento (FAO, 2006; citado en Delgado, 2012).

Factores que afectan la evapotranspiración

Según la FAO (2006), los factores que afectan a la evapotranspiración son:

- **Variables climáticas:** los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento.

- ▶ **Factores de cultivo:** el tipo, la variedad y la etapa de desarrollo del cultivo, deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas.
- ▶ **Manejo y condiciones ambientales:** la salinidad o baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos y el mal manejo del suelo pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración. Otros factores que se deben considerar son la cubierta del suelo, la densidad del cultivo y el contenido de agua del suelo.

2.9.1.2. Evapotranspiración de referencia (Eto).

La evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas y se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, denominada Eto.

El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo, esta se expresa en mm/día. Los únicos factores que afectan a la Eto son los parámetros climáticos y, por ende, puede ser calculada a partir de datos meteorológicos (FAO, 2006).

Métodos para determinar la Evapotranspiración de referencia

- ▶ **Métodos Directos:** miden directamente los consumos por evaporación y requieren para su determinación la instalación de aparatos. Se aplican en zonas donde existe una agricultura establecida, ya que proporcionan valores mucho más reales y sirven a la vez para ajustar los parámetros de los métodos empíricos. Entre estos métodos se encuentra el lisímetro, el cual se divide en lisímetro volumétrico o drenaje y lisímetro de pesada, además se considera el método gravimétrico, el tanque evaporímetro y los atmómetros de Livingston (Ureña, 2017).
- ▶ **Métodos indirectos o empíricos:** son modelos matemáticos desarrollados en función de los datos meteorológicos entre los que se encuentran Thornthwaite, (1948), Christiansen (1968), FAO Penman Monteith, Linacre, Turc (1961), Hargreaves (1983), Blaney y Criddle, Racional utilizando la curva de Hansen, entre otros (Gómez & Cadena, 2017).

2.9.1.3. Coeficiente de cultivo (K_c).

Integra las diferencias de evaporación en el suelo y tasa de transpiración del cultivo, el coeficiente único del cultivo es una expresión de los efectos promedios en el tiempo (múltiples días) de la evapotranspiración del cultivo (FAO, 2006; citado por Delgado, 2012).

Se utiliza para una adecuada planificación normal de riego y propósitos de manejo, para definir calendarios básicos de riego y para estudios de balance hídrico; los valores de K_c son diferentes de acuerdo a los ciclos fenológicos de cada cultivo (Delgado, 2012).

2.9.1.4. Evapotranspiración del cultivo (ET_c).

La evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando la evapotranspiración de referencia (ET_o) por K_c , el cual es un coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia. Se determina a partir de la siguiente ecuación (FAO, 2006):

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

K_c = Coeficiente del cultivo (adimensional)

2.9.2. Parámetros de riego

2.9.2.1. Lámina de agua aprovechable (LAA).

Es una característica del suelo y corresponde a la cantidad de agua que el suelo puede almacenar por un determinado tiempo. Se puede expresar en lámina de agua por profundidad del suelo, generalmente mm de agua por m de profundidad del suelo o en volumen de agua por unidad de área (m^3 /ha) (Calvache, 2015). Uno de los valores más importantes en el cálculo de la programación del riego es la determinación de LAA o agua disponible en el perfil del suelo para uso consuntivo de las plantas (FAO, s. f.).

2.9.2.2. Umbral de Riego.

Consiste en no dejar descender el contenido de humedad del suelo, por debajo de un valor que afecte el crecimiento de las plantas; es decir, se trata de mantener los niveles de humedad en capacidad de campo, con el objeto de disminuir los gastos de energía, por parte de la planta para absorber agua (Villafáfila & Wyss, 2009).

2.9.2.3. *Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA).*

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 y se obtiene a partir de la siguiente ecuación (Gallegos, 2016):

$$LARA = LAA * UR$$

Donde:

LARA = Lámina de agua rápidamente aprovechable

LAA = Lámina de agua aprovechable

UR = Umbral de riego

2.9.2.4. *Lámina de riego o lámina total (Lr).*

Es la lámina de agua total que necesita el cultivo, de manera que asegure la suficiente entrega de agua, tomando en cuenta la eficiencia de aplicación que cada método de riego. Se determina a partir de la siguiente ecuación (Monge, 2018; citado en Jiménez, 2019):

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

Donde:

Lr = Lámina de riego (mm)

LARA = Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

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

2.9.2.5. *Frecuencia de riego.*

Se define como el número de días que hay entre dos riegos sucesivos, es decir, el número de días que el cultivo a través de la evapotranspiración, demora en consumir el agua del suelo (Delgado, 2012).

Según Huber, (2005); citado en R. Jiménez (2019), menciona que es la relación entre la disponibilidad de la lámina de agua rápidamente aprovechable y la evapotranspiración del cultivo actual y se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$Fr = LARA/ETc$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riego (días)

LARA = Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Frecuencia de riego ajustada: se da cuando existen amplias frecuencias de riego, por lo que se necesita mayor cantidad de agua en aplicar a la superficie a regar, y más cuando no se dispone del caudal suficiente para abastecer el caudal del diseño, debido a esto se reajusta la frecuencia a un intervalo de días menor para un óptimo manejo del agua (Gallegos, 2016).

2.9.2.6. Selección del aspersor.

Para elegir el aspersor adecuado se debe tomar en cuenta los requerimientos del cultivo, el clima, factor económico, intensidad de precipitación, entre otros. Además, se debe considerar los siguientes aspectos para su cálculo (Gaete, 2001):

Intensidad de precipitación (I_p): Es la cantidad de agua provista a una unidad de superficie en mm/h, que puede entregar el aspersor durante el riego sin provocar erosión o encharcamientos en el suelo y considerando la condición de diseño $IP \leq VIB$; la intensidad de precipitación depende del diámetro de boquillas y la presión de trabajo. Para su determinación se aplica la siguiente ecuación:

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

Donde:

I_p = Intensidad de precipitación (mm/h)

qa = Caudal de operación del aspersor (l/h)

Sa = Distancia entre aspersores (m)

Sl = Distancia entre laterales (m)

Número de posiciones: es la relación entre la superficie de riego total y el marco de espaciamiento entre aspersores y laterales de riego.

Tiempo de riego: es el tiempo necesario para aplicar la lámina de riego total, a fin de restituir el agua consumida por el cultivo y los factores ambientales en dicho período y se determina mediante la siguiente ecuación (Chow, 2006):

$$Tr = \frac{Lr}{I_p}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (h)

Lr = Lámina de riego (mm)

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

Marco de los aspersores: es la separación entre los aspersores del mismo ramal de aspersión y entre dos ramales consecutivos, determina el solape entre las zonas regadas por

aspersores contiguos. La superficie del suelo que riega cada aspersor según su marco de riego se determina por la distancia entre aspersores y ramales, mismas que dependen de las características técnicas del aspersor. Cabe señalar que si las distancias del marco de riego son mayores pueden presentarse problemas de aplicación del agua cuando hay vientos, por lo que existe mayor uniformidad si el marco de riego es pequeño. Los marcos más frecuentes son los que se señalan en la figura 4 y se describen a continuación (Fernández, Oyonarte, et al., 2010):

- Marco cuadrado:

$$S = Da * Da$$

Donde:

S = Superficie a regar (m²)

Da = Distancia entre aspersores (m)

Da = Distancia entre ramales (m)

Las distancias entre aspersores y ramales más utilizadas son de (12 x 12) m, (15 x 15) m y (18 x 18) m.

- Marco rectangular:

$$S = Da * Dr$$

Donde:

S = Superficie a regar (m²)

Da = Distancia entre aspersores (m)

Dr = Distancia entre ramales (m)

Las distancias entre aspersores y ramales más utilizadas son de (12 x 15) m, (12 x 18) m y (15 x 18) m.

- Marco triangular:

$$S = Da * Dr$$

Donde:

S = Superficie a regar (m²)

Da = Distancia entre aspersores (m)

Dr = Distancia entre ramales (m)

Las distancias entre aspersores y ramales más utilizadas son de (18 x 15) m y (21 x 18) m y (18 x 18) m.

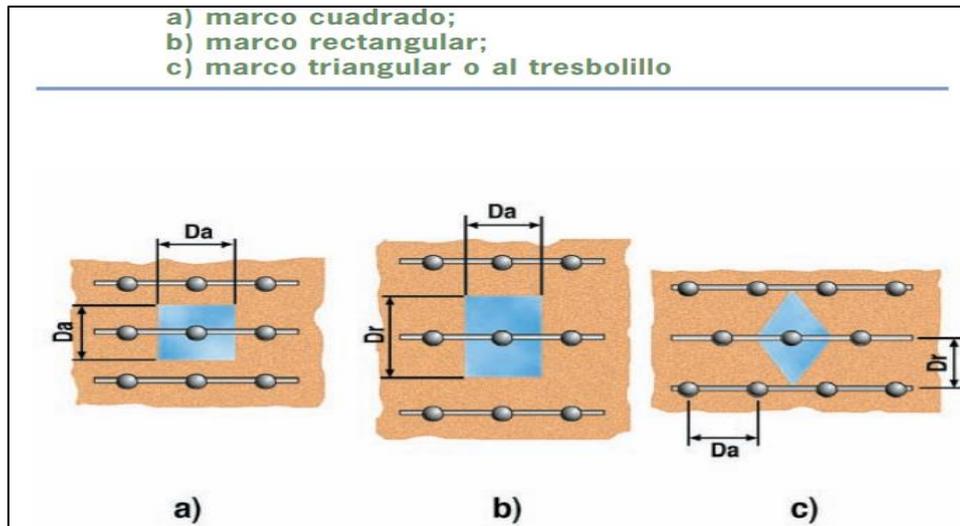


Figura 4. Representación esquemática de la superficie regada por cada tipo de marco.
Fuente: (Fernández, Oyonarte, et al., 2010)

2.10. Diseño hidráulico

Tiene como finalidad definir los diámetros y longitudes de las diferentes tuberías que componen la red hidráulica (regantes, distribuidoras y conducción) y la fuente de energía, bajo un criterio de optimización (S. Jiménez, 2017).

2.10.1. Diseño de la red de tuberías de distribución

El cálculo del diámetro óptimo para el sistema se basa en la ecuación de continuidad para un fluido que pasa por la tubería en estudio, este no debe exceder la velocidad media para un flujo que pasa por una tubería de PVC, el cual es de 1,5 m/s; si la velocidad fuese mayor, se considera como el diámetro de tubería al mayor cuyo diámetro sea comercial, sin embargo, cada sector de riego funcionará uno a la vez en un tiempo de riego determinado y tendrá un caudal máximo de diseño de 2 l/s (Cucho, 2018).

2.10.1.1. Pérdidas de carga por fricción longitudinal.

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; entre los factores que determinan la pérdida de carga son el caudal, diámetro interior de la tubería y coeficiente de fricción o rugosidad. Las tuberías pueden ser de policloruro vinil (PVC), polietileno (PE) y aluminio principalmente. Para el cálculo de la pérdida de carga de una tubería longitudinal se aplica la siguiente ecuación (Jiménez, 2019)

$$hf = J * L$$

Donde:

hf = Pérdida de carga en la tubería (m)

J = Gradiente hidráulico o pérdida de carga en (m/m) o en (m/100m)

L = Longitud de la tubería (m)

▸ **Fórmula de Hazen y William para tuberías**

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

Donde:

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

Q = Caudal (l/s)

C = Coeficiente de fricción, depende de la naturaleza y estado material (Tabla 4)

D = Diámetro interno de la tubería (mm)

Tabla 4

Coeficientes de Hazen – Williams.

Material	Coeficiente
Asbesto-cemento (nuevo)	135
Cobre y Latón	130
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido (nuevo)	130
Hierro fundido (10 años de edad)	107 – 113
Hierro fundido (20 años de edad)	89 – 100
Hierro fundido (30 años de edad)	75 – 90
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125
Acero remachado (nuevo)	110
Acero remachado (usado)	85
PVC	140
PE	150
Plomo	130 – 140
Aluminio	130

Fuente: (lorencholll, 2010)

▸ **Fórmula de Scobey**

$$J = 4,098 \times 10^{-3} * K * D^{-4,9} * Q^{1,9}$$

Donde:

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

Q = Caudal (l/s)

K = Coeficiente de rugosidad de Scobey

D = Diámetro interno de la tubería (mm)

2.10.1.2. Pérdidas de carga locales

Las pérdidas de carga locales o singulares ocurren en determinados puntos de la tubería, se expresan genéricamente en función de la altura de velocidad y diámetros nominales que se ensanchan o reducen en la tubería y se deben a la presencia de algo especial que se denomina singularidad que pueden ser codos, válvulas, uniones, etc. Se determina a partir de la siguiente ecuación (Rocha, 2007):

$$h_l = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_l = Pérdida de carga local (m)

K = Coeficiente que depende de las características de singularidad que generan la pérdida de carga, así como del número de Reynolds y de la rugosidad (adimensional) (Tabla 5).

V^2 = Velocidad aguas un área la zona de alteración del flujo (m/s)

g = Gravedad (9,81 m/s²)

Tabla 5

Coeficientes para pérdidas en accesorios.

Accesorio	K
Válvula de globo abierta	10,0
Válvula de ángulo abierta	5,0
Válvula de registro abierta	2,5
Válvula de compuerta abierta	0,2
Válvula de compuerta, con ¾ de apertura	1,0 – 1,15
Válvula de compuerta, con ½ de apertura	5,6
Válvula de compuerta, con ¼ de apertura	24,0
Codo de radio corto (r/d= ± 1)	0,9
Codo de radio mediano	0,75 – 0,8
Codo de gran radio (r/d= ± 1,5)	0,6
Codo de 45°	0,4 – 0,42
Retorno (curva en U)	2,2
Tee en sentido recto	0,3
Tee a través de la salida vertical	1,8
Unión	0,3
Vee de 45° en sentido recto	0,3
Vee de 45° en salida lateral	0,8
Entrada recta a tope	0,5
Entrada con boca acampanada	0,1
Entrada con tubo reentrado	0,9
Salida brusca	1,0

Fuente: (TIGRE, 2011)

2.10.1.3. *Pérdidas de carga de salidas múltiples o cálculo del lateral.*

Según Jiménez (2019) en los tubos laterales de riego por aspersión, se determinan las pérdidas por fricción considerando que a medida que la longitud se extiende el caudal disminuye, generando una reducción de las pérdidas por efecto de las salidas múltiples, dicho fenómeno fue estudiado por el investigador norteamericano Christiansen, quien propuso un Coeficiente de Reducción por Salidas. Para corregir este suceso existe un coeficiente de reducción (F) en tuberías con salidas múltiples y que según Valarezo (2013) está en función del número de salidas, del material de la tubería y la ubicación del primer aspersor con respecto al origen del lateral. Se presentan tres condiciones y para el cálculo del factor (F) según sea el caso:

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

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

- b) Cuando el primer aspersor está ubicado a la mitad de distancia de espaciamiento del resto de aspersores en un lateral (Ea/2).

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

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

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

Donde:

F = Factor de Christiansen, es un coeficiente reductor que depende de B , n y tienen en cuenta la disminución del caudal a lo largo del ramal.

B = Coeficiente en función del material de la tubería

n = Número de salidas

Criterios para determinar el dimensionamiento de un lateral de aspersores:

Tarjuelo & Benito (2005); citado en Gallegos (2016) señala que, la base principal para la determinación de los diámetros de los ramales portaaspersores se fundamenta en la uniformidad de distribución de caudales en el área de riego, para ello se debe tener presente la siguiente regla; que la diferencia de presión entre el primero y último aspersor en un lateral no deben exceder al 20 % de la presión media o presión nominal del aspersor a lo largo del lateral, lo que produce que el caudal descargado por dos aspersores cualesquiera de un ramal sea

inferior al 10 % del caudal nominal. Este mismo criterio podría aplicarse al conjunto de ramales que constituyen un bloque de riego en los sistemas que llevan una sola válvula por bloque.

Esta variación de caudal es equivalente a una variación de presión del 20 % de la presión promedio nominal del aspersor, de esta manera se tendrá como condición de diseño:

$$\frac{Pm}{\gamma} - \frac{Pn}{\gamma} = h_f \leq 0,2 \frac{Pa}{\gamma}$$

Donde:

$\frac{Pm}{\gamma}$ = Máxima presión en el aspersor o en el origen del ramal (m)

$\frac{Pn}{\gamma}$ = Mínima presión en el aspersor o en el último aspersor (m)

$\frac{Pa}{\gamma}$ = Presión nominal del aspersor, que se hará coincidir con la presión promedio en el ramal (m)

h_f = Pérdida de carga en el lateral (m)

Los sitios de máxima y mínima presión a lo largo de una tubería lateral, pueden variar en función de la pendiente del terreno y del gradiente de pérdida de fricción.

Cálculo de un ramal portaaspersores: se ha comprobado experimentalmente que en un ramal horizontal dicha presión media corresponde a un punto situado a 1/3 de la longitud del origen, y que en ese tramo se produce aproximadamente el 75 % de la pérdida de carga total del ramal. Para el diseño del ramal la presión media en el mismo se hace coincidir con la presión nominal del aspersor (Pa/γ), y en base a la posición del lateral o pendiente del terreno se presentan tres casos (Gallegos, 2016):

- Lateral horizontal: la máxima presión se presenta en el origen del lateral y la mínima en el extremo del lateral.
- Lateral ascendente: la máxima presión se presenta en el origen del lateral y la mínima en el extremo del lateral y se considera positivo el desnivel geométrico entre los extremos del ramal.
- Lateral descendente: la presión mínima ya no se encuentra en los extremos; sino en un punto intermedio, pero el error suele ser pequeño en riego por aspersión si se mantiene la condición de diseño, que la diferencia entre la presión en los extremos (Pu/δ) sea menor al 20 % de la presión nominal y de esta manera se simplifican los cálculos.

2.11. Eficiencia de riego

Es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada por los aspersores. La eficiencia de riego está compuesta por la eficiencia de conducción en el canal principal, eficiencia de distribución en los canales laterales y la

eficiencia de aplicación a nivel de parcela, el producto de estas tres eficiencias nos determina la eficiencia de riego de un sistema (Tabla 6) (Nuñez, 2015).

Tabla 6

Eficiencia de aplicación del agua según el método utilizado.

Método de riego	Eficiencia (%)
Tendido	30
Surcos	45
Californiano	65
Difusor	75
Aspersión	75
Microjet	85
Microaspersión	85
Goteo	90
Goteo enterrado	95

Fuente: (INIA, 2009)

2.11.1. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU)

La uniformidad, es una medida de igualdad con que el agua es aplicada sobre la superficie de riego, considerando que un sistema de riego nunca alcanza una uniformidad de 100 % en la práctica. En riego por aspersión, una forma de medir la uniformidad, es a través del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU), expresado mediante un valor porcentual (Luque, 1969; citado en Durand, 2017).

Según Antunez, Felmer & Mora (2010); citado en R. Jiménez (2019), 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. Se aplica mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

CU = Coeficiente de uniformidad (%)

Z_1 = Lámina o volumen de agua recolectada en el pluviómetro de muestreo (mm o cm^3)

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

N = Número de puntos medidos o pluviómetro

2.11.1.1. Factores que intervienen en el coeficiente de uniformidad.

Según Zapata (1996); citado en R. Jiménez (2019), menciona que intervienen cuatro factores los cuales son:

- Constructivos: dependen del proceso de fabricación y del material.

- ▶ Hidráulicos: los emisores pueden estar en funcionamiento a diferentes presiones debido a las pérdidas de carga.
- ▶ Envejecimiento
- ▶ Obstrucción

2.11.2. Uniformidad de distribución (DU)

Este parámetro señala la uniformidad de la infiltración en el terreno, en riego por aspersión la lámina infiltrada puede reemplazarse por la lámina aplicada y se expresa mediante la siguiente ecuación (Pereira et al., 2010):

$$DU = 100 \left(\frac{Z_{lq}}{Z_{avg}} \right)$$

Donde:

DU = Uniformidad de distribución (%)

Z_{lq} = Es la cantidad media infiltrada en el cuarto menor del área regada (25 %), correspondiendo a la cuarta parte del área regada que recibe menos agua (mm)

Z_{avg} = Es la cantidad media infiltrada en la parcela (mm)

2.12. Criterios para la selección de un grupo de bombeo

Según Fernández, Oyonarte, et al. (2010), para la selección de una bomba se debe tomar en cuenta el ámbito técnico como el económico, para ello es preciso tener las siguientes recomendaciones:

Procedencia del agua de riego: ayuda a decidir qué tipo de bomba se debe instalar, de tal manera que:

- ▶ Si el agua procede de embalses o canales, la bomba que se suele instalar generalmente es de tipo centrífuga de eje horizontal.
- ▶ Si el agua proviene de pozos poco profundos (5–7 m) se aconseja instalar bombas centrífugas de eje horizontal, aunque también es factible instalar una bomba de eje vertical.
- ▶ Cuando la toma de agua se realiza de pozos de profundidades medias, se justifica la elección de una bomba vertical.
- ▶ Para pozos de profundidades mayores se selecciona bombas sumergidas o bombas buzo (incluso para más de 200 m).

Energía: la bomba irá accionada por un motor eléctrico o bien de combustión, según se disponga o no de corriente eléctrica.

Motor: para elegir el tipo de motor se calculará la potencia requerida por la bomba para elevar el agua y el adecuado será aquel que suministre la potencia por exceso

2.12.1. Carga dinámica total

Es la suma 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, carga de velocidad (Luege, 2007; citado en R. Jiménez, 2019).

2.12.2. Potencia de la bomba

El motor es el encargado de suministrar la energía necesaria a la bomba para poder elevar el caudal a una altura manométrica determinada, para esto se requiere una determinada potencia que se puede calcular aplicando la siguiente expresión (Fernández, Oyonarte, et al., 2010):

$$P = \frac{Q * Ht}{\eta * 76}$$

Donde:

P = Potencia de la bomba (Hp)

Q = Caudal de diseño (l/s)

Ht = Altura manométrica total (m)

η = Eficiencia de la bomba (decimal)

2.13. Importancia del riego en el maíz

En Ecuador, el maíz ocupa alrededor de 250.000 ha cultivadas, produciendo 1,2 millones de toneladas, de las cuales 900.000 toneladas adquieren la industria nacional para la elaboración de alimento proteínico, por lo cual representa una importante fuente de ingresos para los agricultores (TecnoRiego, s. f.).

Sin embargo, se debe tener en cuenta que, para obtener una buena producción y rentabilidad, el recurso agua tiene un gran valor, pues es a partir de ella cualquier cultivo puede llegar a desarrollarse y producir los alimentos necesarios por el ser humano (Jiménez, 2019).

La mayoría de agricultores generalmente aprovechan las temporadas de lluvia para sembrar; sin embargo, hoy en día las inclemencias del tiempo no brindan la tranquilidad que se busca, las lluvias irregulares preocupan cada vez más, por ello es recomendable asegurar una excelente producción proporcionándole al cultivo un eficiente sistema de riego ya que el maíz se encuentra entre los cultivos más sensibles al estrés hídrico (TecnoRiego, s. f.).

Según estudios realizados en este cultivo, el rendimiento del maíz bajo riego puede incrementarse entre un 50 % y 70 %, años atrás el sistema más usado era el de inundación, pero

hoy en día el uso del agua juega un papel muy importante y debido al abundante uso y poco aprovechamiento, este método resultó muy ineficiente. En la actualidad, para grandes extensiones de cultivos, se utiliza para el riego pivotes y para pequeñas a medianas extensiones se implementa el riego por aspersión de largo alcance y el riego por goteo, los cuales se puede combinar con el fertirriego que es una excelente opción para incrementar la producción, ya que con el uso de materiales de calidad el sistema le servirá para varias cosechas. Además, optimiza el uso del agua y la aplicación de nutrientes, con ello se logra un riego más uniforme con menos incidencia de malezas logrando aumentar la productividad (TecnoRiego, s. f.).

El uso eficiente del recurso hídrico en el maíz es de gran importancia, porque sin él en las zonas tropicales, en tiempos de estrés hídrico o sequía durante las primeras etapas (15 a 30 días) de establecido el cultivo, puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional o estancar su crecimiento (Deras, 2014; citado en R. Jiménez, 2019).

Según Egüez & Pintado (2011) recomienda que, si se dispone de riego, regar por aspersión o por goteo, ya que no debe faltar agua al cultivo; siendo la época más crítica del cultivo dos semanas antes y dos después de la floración, así se consigue un buen llenado de grano y mejores rendimientos.

2.13.1. Trabajos relacionados con el diseño de riego por aspersión

Macías et al. (2011), en su trabajo de tesis denominado “Adaptación e instalación de un sistema de riego por aspersión, para cultivos comerciales establecidos en la comunidad El Milagro del cantón Portoviejo”, realizado en la Universidad Técnica de Manabí, de la Facultad de Ingeniería Agrícola; concluyo lo siguiente en base a la obtención de sus resultados: para el área de riego por aspersión que es de 11.012 m² se necesita una lámina de 52 mm, con una frecuencia de aplicación de 9 días. El aspersor a utilizar es MEGANET™ 650 l/h, que, de acuerdo al diseño de distribución de riego, funcionará con 4 módulos de riego de manera individual, con un tiempo de 8 h por modulo, es decir 32 h para el riego total del área instalada. El sistema de bombeo es de 3 HP, que entrega un caudal de 18,2 m³/h (5.05 l/s), con una altura de bombeo de 37,77 m y una eficiencia de orden del 85 %, por lo cual el sistema de riego por aspersión instalado es práctico, eficiente y puede ser operado por una sola persona ahorrando mano de obra.

Ipurre (2017), como trabajo de tesis denominado “Mejoramiento del sistema de riego para el sector Llushcapampa Baja, distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, región Cajamarca”, de la Facultad de Ingeniería Agrícola, en la Universidad Nacional Agraria La Molina, realizó el mejoramiento de un sistema de riego por gravedad a un sistema de riego por

aspersión, mediante el planteamiento técnico y la implementación del mismo en un área de 5,49 ha, aumentado la eficiencia de riego de 35 % a 75 %, en el cual se utiliza técnicas de riego en las parcelas dividiendo en 4 turnos de riego, el cual deberá ser regado en un día. Por lo que se concluye que el diseño planteado garantiza la superficie de riego en el periodo más crítico del sector Llushcapampa Baja y logra cubrir la máxima demanda de agua de los cultivos planteados de modo que permitan el sustento de animales menores y a su vez mejorar la calidad alimenticia de los pobladores de la zona.

R. Jiménez (2019), como trabajo de tesis denominado “Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José”, en la Universidad Nacional de Loja, de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, para el cual se contempló el diseño agronómico e hidráulico del sistema, en un terreno de 0,26 ha; en la cual obtuvo las siguientes conclusiones una frecuencia de riego de 7 días, con un tiempo de riego de 7,5 h para suministrar una lámina de riego de 41,1 mm; utilizando un aspersor, modelo Naandanjain 5035 ($SD \frac{3}{4}$), con una intensidad de precipitación de 5,51 mm/h, que es menor a 81 mm/h que corresponde a la velocidad de infiltración básica para un suelo franco arcillo arenoso, esto para el diseño agronómico. Para el diseño hidráulico se determinó una tubería principal y secundaria de PE con un diámetro nominal de 2”, obteniendo una pérdida de carga por fricción en 0,96 m en todas las tuberías y la pérdida por accesorios de 0,55 m, con una carga dinámica total de 33,94 m, lo que permitió seleccionar el equipo motobomba (bomba centrífuga) marca Honda WH20XT.

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del predio “El Almendro”



Figura 5. Ubicación de la zona de estudio.

El sector de estudio, se ubica en el barrio La Vega de la parroquia y cantón Catamayo en la provincia de Loja, a 5 km del centro de la ciudad de Catamayo; de acuerdo a la división política limita al norte con la parroquia Chuquiribamba, al sur con la parroquia El Tambo y cantón Gonzanamá, al este con el cantón Loja y al oeste con la parroquia San Pedro de la Bendita y el cantón Gonzanamá; y, se encuentra ubicada en la zona 17 Sur, en las siguientes coordenadas planas (UTM):

Norte: 9556146 m

Este: 679643 m

Altitud: 1160 m

3.1.1. Información climática

En el cantón Catamayo predominan los climas tropical y subtropical, con temperaturas mínimas de 12 a 14 °C sobre la cúspide de la cordillera de los Andes, en la parte alta del cantón, entre altitudes de 2600 a 2800 msnm; mientras que en la cabecera cantonal las temperaturas son mayores a 22 °C a una altura de 1200 msnm, presentado un clima subtropical. Además, la

temperatura media anual del cantón es de 24,6 °C, la máxima de 34,3 °C, y la media mínima de 14,6 °C (PDYOT, 2014).

Existe una época muy seca entre los meses de mayo a septiembre; y, una temporada lluviosa de octubre hasta abril, con precipitaciones altas en los meses de marzo a abril con variaciones de 60 a 80 mm. En el cantón Catamayo las precipitaciones medias mensuales varían alrededor de 33,9 mm/mes (PDYOT, 2014).

3.1.2. Hidrografía

La principal red hídrica que abastece al cantón, especialmente a la cabecera cantonal es el río Catamayo, el cual ocupa aproximadamente un 76 % del territorio, el caudal medio del río es de aproximadamente 21,55 m³/s, estos varían de acuerdo a las temporadas invernal y de estiaje. Además, el 75,1 % del área de Catamayo pertenece a la cuenca de Catamayo – Chira, específicamente la parroquia El Tambo, cabecera cantonal y la parroquia de San Pedro de la Bendita; mientras que el 24,9 % pertenecen a la cuenca de Puyango – Tumbes particularmente en las parroquias de Zambí y Guayquichuma (PDYOT, 2014).

3.2. Materiales

Materiales de campo: libreta, lápiz, borrador, calculadora y cronómetro.

Materiales de laboratorio y equipos: estación total, nivel topográfico, manómetro, GPS, cámara fotográfica, flexómetro, estacas, cilindros infiltrómetros, cilindros Koppecky de 100 cm³ y muestras de suelo.

Recursos tecnológicos y programas: computador, memoria USB, impresora, AutoCAD Civil 3D 2019, ArcGIS 10.5, IBM SPSS versión 25, CROPWAT 8.0, anuarios meteorológicos del INAMHI y material bibliográfico.

3.3. Metodología

3.3.1. Metodología para el primer objetivo

“Elaborar la línea base de la producción agrícola para los predios del barrio La Vega, de la parroquia y cantón Catamayo”

3.3.1.1. *Elaboración de encuesta.*

Se elaboró una encuesta a aplicar a una muestra aleatoria de la producción agrícola del sector (Anexo 20), cuyo tamaño será estimado con la aplicación de la fórmula de Martínez (1984), que se presenta en los siguientes términos, tomando en consideración un tamaño de la población de 55 predios:

$$n = \frac{NZ^2pq}{(N - 1)e^2 + Z^2pq}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

e= precisión de la estimación (10 %)

N= tamaño de la población

Z= nivel de confianza de la estimación (95 %, $Z = 1.96$)

p= probabilidad de tener respuestas positivas (0.5)

q= probabilidad de tener respuestas negativas (1-0.5)

3.3.1.2. *Elaboración de la línea base.*

Se tabuló la información, mediante el programa IBM SPSS versión 25 (Statistical Package for the Social Sciences) en el cual se ingresan todas las variables y se generaran las tablas y gráficos para el análisis e interpretación de la línea base de la producción agrícola del sector.

3.3.2. Metodología para el segundo objetivo

“Diseñar un sistema de riego por aspersión para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el predio agrícola “El Almendro”.

3.3.2.1. *Superficie a regar.*

Para determinar la superficie a regar se realizó un levantamiento topográfico (Anexo 2), para el cual se siguió el siguiente procedimiento:

- Se utilizó un GPS diferencial para obtener las coordenadas de partida del levantamiento, esto se realizó en un lugar despejado de vegetación o algún otro obstáculo, ya que ahí se instalará la estación total para la toma de puntos.
- A partir de las coordenadas tomadas en el GPS, se configura la estación total y se mide a cada 10 m de distancia entre puntos aproximadamente, para generar las curvas de nivel.
- La información obtenida se la proceso con ayuda de una hoja de cálculo guardada en un formato de “Separación por comas” para el programa AutoCAD Civil 3D 2019 y en “Hoja de cálculo de Microsoft Excel 97-2003” para ArcGIS 10.5, de los cuales se generó el plano topográfico del predio.

3.3.2.2. *Medición del caudal de la fuente de abastecimiento.*

Se realizó un diagnóstico de la fuente de abastecimiento de agua, para determinar el origen del mismo, que puede ser superficial o subterránea. En este caso, se trata de un canal sin nombre, del cual el agua proviene del Río Catamayo; para el aforo del caudal se realizó mediante el método del flotador (velocidad – superficie transversal), en el que se siguió el siguiente procedimiento (Anexo 1):

- ▶ Se seleccionó un tramo de 10 m del canal, en donde se ubicó dos señales visibles; para determinar el tiempo, se utilizó un objeto liviano y un cronómetro para las medidas del tiempo que tarda el objeto en llegar de la primera a la segunda señal, cabe recalcar que para que el objeto adquiriera la velocidad del flujo al momento de pasar por la primera señal, este fue lanzado antes de la misma. Para mayor exactitud de los datos se realizó siete veces el proceso, y por ende se obtuvo la velocidad media del flujo.
- ▶ El área transversal mojada se obtuvo midiendo el ancho de la solera y el calado del canal, se realizó una medida en tres puntos del tramo estimado, para determinar un área transversal promedio.
- ▶ Para calcular el caudal, se utilizó un factor de corrección (K) relacionado con la velocidad, el cual depende del tipo de río o canal y de la profundidad del mismo. A partir de estos datos se determinó el caudal mediante la siguiente ecuación:

$$Q = A * V * K$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

A = Área transversal mojada (m²)

V = Velocidad del flujo (m/s)

K = Factor de corrección (decimal)

3.3.2.3. *Propiedades hidrofísicas del suelo.*

Se tomaron muestras de suelos de dos maneras en el área de riego, que se describen a continuación:

- ▶ Se recolectaron 15 submuestras alteradas del suelo a lo largo y ancho del terreno, a una profundidad de 40 cm en función del sistema radicular del maíz, recorriendo el terreo en zig-zag y libre de cobertura vegetal; estas se mezclaron en un balde hasta obtener una muestra homogénea, de la cual se identificó 1 kg para realizar los análisis de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua aprovechable.
- ▶ Con los cilindros Koppecky de 100 cm³, se tomó muestras inalteradas a una profundidad de 40 cm para determinar la densidad aparente y la saturación del suelo.

Las muestras recolectadas se analizaron en laboratorio, para el análisis textural se aplicó el método de Bouyoucos en el Laboratorio de suelos, aguas y bromatología de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

a) Curva de retención de humedad del suelo

A partir de los resultados de las constantes hidrofísicas, se graficó la curva de retención de humedad del suelo (figura 8), en la que se relacionó la energía con que el agua es retenida en el suelo o potencial hídrico (eje Y) y el contenido de humedad en base a volumen (eje X).

b) Evaluación de las condiciones físicas del suelo

Se utilizó el diagrama triangular de la evaluación de las condiciones físicas del suelo; el mismo que relaciona los valores porcentuales del volumen físicamente inerte (VFI), agua aprovechable (AA) y capacidad de aireación (CA), ecuaciones que se detallan en el anexo 4, obteniendo todos estos parámetros, se clasificó la zona de condición física del suelo, para el desarrollo de la planta.

c) Velocidad de infiltración del agua en el suelo

La velocidad de infiltración del agua en el suelo, se realizó mediante el método de los anillos infiltrómetros, que consiste en la utilización de dos anillos estandarizados de material de acero; para el cual se siguió los siguientes pasos:

- Se procedió a limpiar el terreno, y se instaló primero el anillo de mayor diámetro y luego el de menor diámetro, respectivamente nivelados y a una profundidad en la que se evite la salida del agua (10 cm) (Anexo 3).
- Ya instalados, se llenó de agua el anillo externo y luego el interno, cabe señalar que al momento de colocar agua en el anillo interno se debe comenzar a tomar las lecturas de la variación del nivel de agua y su relación con el tiempo.
- Se tomaron lecturas a cada 5, 10, 15 y 30 min, cada intervalo por una hora respectivamente, cabe señalar que el descenso del nivel de agua se debe estabilizar; es decir, cuando se tienen por lo menos tres lecturas de tiempo iguales o parecidas de la columna de agua (infiltración básica), para luego esta información ser procesada mediante un modelo matemático que es la ecuación de Kostiakov.

Infiltración acumulada

Mediante la ecuación de Kostiakov; se graficó la curva de infiltración acumulada en una hoja de cálculo de Excel, a partir del tiempo acumulado (eje X) y lamina acumulada (eje Y), misma que determino la siguiente ecuación:

$$I_{cum} = A * t^B$$

Donde:

I_{cum} = Infiltración acumulada (cm)

A y B= Parámetros de la ecuación (adimensional)

t = Tiempo (min)

Infiltración instantánea

A partir de la ecuación potencial positiva de la infiltración acumulada se determina ecuación potencial negativa o infiltración instantánea detallada a continuación:

$$I_{inst} = a * t^b$$

Donde:

I_{inst} = Infiltración instantánea (cm)

t = Tiempo (min)

a y b = Constantes negativas (adimensional), que se determina despejando las siguientes ecuaciones:

$$A = a/(b + 1) \quad \rightarrow \quad a = A(b + 1)$$

$$B = (b + 1) \quad \rightarrow \quad b = B - 1$$

Velocidad de infiltración básica

Se obtuvo derivando la ecuación anterior de infiltración instantánea y se multiplica por un factor de conversión para expresarlo en horas, la ecuación de infiltración básica se detalla a continuación:

$$I_{bas} \text{ (mm/h)} = a [(-600 b)] ^b$$

3.3.2.4. Diseño agronómico.

Para el diseño agronómico de un sistema de riego por aspersión es necesario conocer las características del suelo y del cultivo, para determinar las necesidades de agua del cultivo, así como los parámetros de riego.

Necesidades de agua del cultivo o requerimientos hídricos

▸ Evapotranspiración del cultivo:

Se determino mediante la ecuación que recomienda la FAO (2006), para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

K_c = Coeficiente del cultivo (adimensional)

Para esto fue necesario determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia y el coeficiente del cultivo.

▸ **Evapotranspiración del cultivo de referencia (*ET_o*)**

Se determinó mediante el programa de la FAO, CROPWAT 8.0, el cual aplica la ecuación de Penman – Monteith, en base a datos climáticos, en este caso para la zona de estudio, existe la estación meteorológica Catamayo, de la que se obtuvo los datos de altitud, latitud, longitud, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y heliofanía (Anexo 6). Estos datos se recuperaron de los anuarios meteorológico del INAMHI (Instituto nacional de meteorología e hidrología) en un periodo de 24 años (1980-2003).

▸ **Coefficiente del cultivo (*K_c*)**

Se graficó la curva del *k_c* del cultivo del maíz, tomando como referencia las etapas fenológicas y los *k_c* obtenidos por Ureña (2017) (Anexo 7). Con la fecha de siembra y el ciclo del cultivo, se gráfica ingresando en el eje “X” el periodo de cada fase, correspondiente al número de días de cada mes, representando la fase fenológica del cultivo; y, en el eje “Y” los valores del coeficiente de cultivo, en base a este resultado se obtuvo un *k_c* para el día 15 de cada mes.

▸ **Índice de humedad**

Se determinó los meses con déficit y exceso de agua, para lo cual se utiliza el índice de humedad, en el que se utiliza la precipitación del lugar y la evapotranspiración de referencia. Estos datos de precipitación se recuperaron de los anuarios meteorológico del INAMHI (Instituto nacional de meteorología e hidrología) en un periodo de 24 años (1980-2003) de la estación meteorológica Catamayo.

Según Gallegos (2016), se usa como estimador de la humedad disponible, indicando la escasez de agua, si es menor a 1, o exceso de agua si es mayor que 1; y, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$I_h = \frac{P_m}{ET_o}$$

Donde:

I_h = índice de humedad

P_m = Precipitación media mensual (mm)

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm)

▸ **Requerimientos hídricos del cultivo**

Se determina en función de la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva, la cual se estima según la FAO (1993) mediante dos condiciones, las cuales se muestran a continuación:

$$Pe = 0,8 * Pm - 25; \text{ si } Pm > 75 \text{ mm/mes}$$

$$Pe = 0,6 * Pm - 10; \text{ si } Pm < 75 \text{ mm/mes}$$

Donde:

Pe = Precipitación efectiva (mm)

Pm = Precipitación media mensual (mm)

Parámetros de riego

En este parámetro se determina las láminas de riego y el tiempo de riego, a partir de los resultados obtenidos de las propiedades hidrofísicas del suelo; además, se selecciona el aspersor más óptimo a las condiciones del área de riego.

▸ **Lámina de agua aprovechable (LAA)**

Se determina a partir de los parámetros hidrofísicos del suelo obtenidos y con la profundidad efectiva del cultivo (maíz), por medio de la siguiente ecuación:

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

Donde:

LAA = Lámina de agua aprovechable (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/cm^3)

Dw = Densidad del agua (g/cm^3)

P = Profundidad efectiva radicular (mm)

▸ **Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)**

Se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$LARA = LAA * UR$$

Donde:

$LARA$ = Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

LAA = Lámina de agua aprovechable (mm)

UR = Umbral de riego o porcentaje de agotamiento (decimal), según INIA (2000) es de 50 % para el maíz.

▸ **Frecuencia de riego (Fr)**

Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{LARA}{ET_{C_{max}}}$$

Donde:

F_r = Frecuencia de riego (días)

$LARA$ = Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

ETc = Evapotranspiración máxima del cultivo (mm/día)

▸ **Frecuencia de riego ajustado (F_{rj})**

Se aplicó la siguiente ecuación para su estimación:

$$F_{rj} = ETc * \# \text{ días}$$

Donde:

F_{rj} = Frecuencia de riego ajustada (días)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

$\# \text{ días}$ = Número de días (días)

▸ **Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada ($LARA_{ajust}$)**

Se determinó según la siguiente ecuación:

$$LARA_{ajust} = ETc_{max} * F_{rj}$$

Donde:

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

ETc = Evapotranspiración máxima del cultivo (mm/día)

F_{rj} = Frecuencia de riego ajustada (días)

▸ **Lámina de riego (Lr)**

Se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde:

Lr = Lámina de riego (mm)

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

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

Selección del Aspersor

Utilizando un catálogo de aspersores, se seleccionó el aspersor con las características adecuadas en función de la presión de funcionamiento, caudal de emisión, diámetro húmedo y la velocidad de infiltración del suelo. Además, de seleccionar el aspersor, se debe definir la línea de riego.

▸ **Marco de riego**

En función de las condiciones del terreno, se considera el 60 % del diámetro húmedo que proporciona el aspersor seleccionado; pero para mayor uniformidad de distribución se adopta el espaciamiento que recomienda el fabricante del aspersor.

▸ **Intensidad de precipitación del aspersor (I_p)**

Se determinó a partir de las características del aspersor seleccionado; y, se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$I_p = \frac{Qa}{Sa * Sl} ; \quad \text{condición } I_p \leq VIB$$

Donde:

I_p = Intensidad de precipitación (mm/h)

Qa = Caudal del aspersor (l/h)

Sa = Espacio entre aspersores (m)

Sl = Espacio entre laterales (m)

▸ **Tiempo de riego (T_r)**

Para el tiempo de posición del lateral, se determina en base a la lámina de riego y la intensidad de precipitación, mediante la siguiente ecuación:

$$T_r = Lr/Ip$$

Donde:

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

Lr = Lámina de riego (mm)

I_p = Intensidad de precipitación (mm/h)

▸ **Número de aspersores por lateral (N_{AL})**

Se calculó según la siguiente ecuación:

$$N_{AL} = \frac{L_{TL}}{Sa}$$

Donde:

N_{AL} = Número de aspersores por lateral (Unidad)

L_{TL} = Longitud del terreno en dirección del lateral (m)

Sa = Espacio entre aspersores (m)

▸ **Longitud del lateral (L_L)**

Si el primer aspersor se ubica a la mitad de la separación entre aspersores ($Sa/2$), se aplica la siguiente ecuación:

$$L_L = Sa * (N_{AL} - 0,5)$$

Donde:

L_L = Longitud del lateral (m)

Sa = Espacio entre aspersores (m)

N_{AL} = Número de aspersores por lateral (Unidad)

▸ **Caudal del lateral (Q_L)**

Se determinó según la siguiente expresión matemática:

$$Q_L = Qa * N_{AL}$$

Donde:

Q_L = Caudal del lateral (l/h)

Qa = Caudal del aspersor (l/h)

N_{AL} = Número de aspersores por lateral (Unidad)

▸ **Número de laterales en el área (N_L)**

Se empleó la siguiente ecuación:

$$N_L = L_S / Sl$$

Donde:

N_L = Número de laterales en el área (Unidad)

L_S = Longitud del terreno, en dirección del secundario (m)

Sl = Espacio entre laterales (m)

▸ **Caudal de la línea secundaria**

Se determinó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q_S = Ql * N_L$$

Donde:

Q_S = Caudal de la línea secundaria (l/h)

Ql = Caudal del lateral (l/h)

N_L = Número de laterales (Unidad)

3.3.2.5. *Diseño hidráulico.*

Consiste en la determinación de los diámetros de la red hidráulica del sistema de riego, dimensiones de la red principal, secundaria, laterales, pérdidas de carga en las tuberías y accesorios. Para la elección del diámetro adecuado se determinó por tanteos sucesivos, el cual está en función de la velocidad, el caudal y la longitud de la tubería.

En función del diámetro seleccionado, se estima las pérdidas de carga por fricción de las tuberías, en la que se emplea la ecuación de Hazen – William. Para tuberías de multisalidas,

como es la tubería múltiple y lateral se utiliza el factor de corrección de Christiansen, para corregir la pérdida de carga por fricción por longitud.

▸ **Pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías**

Para determinar las pérdidas por fricción de las tuberías, se utilizó la fórmula de Hazen – William, para tuberías de PVC.

$$hf = J * L$$

Donde:

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

J = Gradiente hidráulico (m/m)

L = Longitud de la tubería (m)

En cuanto al gradiente hidráulico se comprende por la siguiente ecuación:

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

Q = Caudal transportado en la tubería (l/s)

C = Coeficiente de fricción, materiales plásticos para riego es de 150 (adimensional)

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

▸ **Pérdidas de carga por fricción en la múltiple y lateral**

Para su determinación, se empleó el gradiente hidráulico de las tuberías múltiple y lateral (J); y, se lo multiplico por la longitud de cada tubería, respectivamente. Además, como se trata de tuberías con multisalidas se utilizó el coeficiente de reducción de pérdidas de Christiansen (F). A continuación, se detalla la ecuación utilizada para su estimación:

$$hf = J * L * F$$

Donde:

hf = Pérdida de carga en el lateral (m)

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

L = Longitud de la tubería (m)

F = Coeficiente de Christiansen (adimensional)

Coeficiente de Christiansen (F): es un factor que depende del número de aspersores y de la distancia del primer aspersor al origen del lateral; en este caso, se ubica el primer aspersor a la mitad de distancia de espaciamiento del resto de aspersores en el lateral ($Ea/2$), por lo que se aplica la siguiente ecuación:

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

En el caso de la tubería múltiple, se determina el coeficiente debido a que es una tubería de multisalidas, y la ubicación del lateral está al inicio múltiple, por lo que se determina mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

n = Número de derivaciones en el lateral.

B = Factor que depende del material de la tubería.

▸ **Pérdidas de carga locales o de accesorios**

Las pérdidas locales o de accesorios se determinó en función de la velocidad media del flujo en la tubería y los coeficientes de pérdidas en accesorios (tabla 5), a partir de la siguiente ecuación:

$$h_l = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_l = Pérdida de carga local o de accesorios (m)

K = Coeficiente de perdidas menores en accesorios (adimensional)

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

g = Gravedad (9,81 m/s²)

Velocidad media del flujo: las velocidades medias del flujo para cada tubería se determinaron tomando en cuenta que no deben ser mayores a 2,5 m/s y menores a 0,5 m/s, mediante la siguiente ecuación:

$$V = Q/A$$

Donde:

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

Q = Caudal transportado en la tubería (m³/s)

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

El área se determinó en función del diámetro interno de la tubería, en base a la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

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

D = Diámetro interno de la tubería (m)

▸ **Presiones en el lateral**

Se determinó la presión en el origen y al final del lateral dentro del sistema de riego, la diferencia entre estas dos debe ser menor al 20 % de la presión nominal, lo que producirá una diferencia del 10% en el caudal de descarga, esta condición de diseño se representa en la siguiente ecuación:

$$\frac{P_o}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} = h_f \leq 0,2 \frac{P_a}{\gamma}$$

Donde:

$\frac{P_o}{\gamma}$ = Máxima presión en el aspersor o en el origen del lateral (m)

$\frac{P_n}{\gamma}$ = Mínima presión en el aspersor o en el último aspersor (m)

$\frac{P_a}{\gamma}$ = Presión nominal del aspersor, que se hará coincidir con la presión promedio en el ramal (m)

h_f = Pérdida de carga en el lateral (m)

Para la estimación de las presiones se eligió los aspersores en el lateral más crítico el cual está de forma ascendente y descendente; y, en estos se calcularon las presiones con las siguientes ecuaciones:

Presión al origen del lateral

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

Donde:

$\frac{P_o}{\gamma}$ = Máxima presión en el aspersor o en el origen del lateral (m)

$\frac{P_a}{\gamma}$ = Presión de trabajo del aspersor (m)

$\frac{H_g}{2}$ = Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)

h_f = Pérdida de carga en el lateral (m)

H_a = Altura del elevador (m)

Presión al final del lateral

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

Donde:

$$\frac{P_n}{\gamma} = \text{Mínima presión en el aspersor o al final del lateral (m)}$$

$$\frac{P_a}{\gamma} = \text{Presión de trabajo del aspersor (m)}$$

$$\frac{H_g}{2} = \text{Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)}$$

$$h_f = \text{Pérdida de carga en el lateral (m)}$$

3.3.2.6. Selección de la motobomba.

En función de la carga dinámica total o altura manométrica, caudal de diseño y potencia, se seleccionó el tipo de motobomba a utilizar.

▸ Carga dinámica total (CDT)

Para su cálculo, se aplicó la siguiente ecuación:

$$CDT = H_g + H_{asp} + P_a + H_{elev} + hf + hf_{succ} + hf_{acs} + hv$$

Donde:

$$H_g = \text{Altura geométrica de impulsión (m)}$$

$$H_{asp} = \text{Altura de aspiración (m)}$$

$$P_a = \text{Presión del aspersor (m)}$$

$$H_{elev} = \text{Altura del elevador (m)}$$

$$hf = \text{Pérdidas por fricción en las tuberías (m)}$$

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

$$hf_{acs} = \text{Pérdidas por fricción en accesorios (m)}$$

$$hv = \text{Pérdidas por velocidad (m)}$$

Es importante señalar que la altura geométrica es la suma de la altura de impulsión (H_i) y la altura de aspiración (H_a); esta puede ser negativa o positiva, dependiendo la ubicación de succión.

▸ Máxima ubicación de la motobomba sobre el espejo de agua (UB)

La altura máxima a la que se debe ubicar la motobomba, se determina mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

$$UB = \text{Ubicación de la motobomba (mca)}$$

$$NPSH_{disp} = \text{Carga neta positiva de succión disponible (mca)}$$

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

Carga neta positiva de succión disponible: para evitar problemas de cavitación en la motobomba, la carga neta positiva de succión disponible se determina a partir de la siguiente expresión matemática:

$$NPSH_{disp} = P_{atm} - P_{vapor} - hf_{succ} - hf_{acs\ suc}$$

Donde:

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

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

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

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

Además, para evitar la cavitación es necesario que el NPSH disponible de la instalación sea mayor que el NPSH requerido en todo el rango de funcionamiento de la motobomba. Si se incluye un margen de seguridad de 0,5 metros al NPSH requerido, la condición de no cavitación sería la siguiente:

$$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req} + 0,5m$$

La presión atmosférica del lugar de estudio, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$P_{atm} = 10,3 - \frac{Altitud}{900}$$

Donde:

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

Además, la presión de vapor (P_{vapor}) se estima en función de la temperatura del agua, a partir de tablas establecidas.

Carga neta positiva de succión requerida: el $NPSH_{req}$, se calculó según la tabla de selección rápida de bombas en función del caudal de diseño y la carga dinámica total (Anexo 9), a partir de ello se determinó la serie de motobomba a utilizar y se estimó el NPSH requerido en función del caudal y la carga dinámica total (Anexo 10).

▸ **Potencia requerida de la motobomba**

Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q * CDT}{\eta * 76}$$

Donde:

P = Potencia de la bomba (Hp)

Q = Caudal de diseño (l/s)

CDT = Carga dinámica total (m)

η = Eficiencia de la bomba (decimal)

Para corregir la cantidad de oxígeno en la atmósfera, se utiliza la siguiente ecuación para realizar una corrección a la potencia obtenida:

$$P = P * F$$

F= Factor de corrección en función de la altitud.

Con el resultado obtenido de la potencia que requiere la motobomba, se seleccionó el tipo de motobomba a utilizar, de acuerdo a las existentes en el mercado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados y discusión para el primer objetivo

“Elaborar la línea base de la producción agrícola para los predios del barrio La Vega, de la parroquia y cantón Catamayo”

4.1.1. Elaboración de encuesta

Para la obtención del primer objetivo se tomó una muestra de población, para aplicar la encuesta, en base al tamaño de población que son los 55 predios, se determinó un tamaño de muestra de 35 encuestas, las cuales se aplicaron en el sector “El Salado” del barrio La Vega a fin de realizar un diagnóstico de la situación actual con respecto al tipo de cultivos y la forma de producción del sector.

4.1.2. Elaboración de la línea base

Mediante la tabulación en el programa IBM SPSS versión 25 (Statistical Package for the Social Sciences), se analizó la línea base de los cultivos predominantes del sector y los insumos que utilizan para su producción; a continuación, se detallan los resultados obtenidos:

Tabla 7

Superficies de los predios del sector “El Salado”.

Superficie (ha)	Predios	(%)
≤ 0,5	27	73
[0,5;1,0]	6	16
[1,0;1,5]	2	5
[1,5;2,0]	1	3
[2,5;3,0]	1	3
Total	37	100

En el sector “El Salado”, el 73 % de los propietarios tienen predios con superficie menor o igual a 0,5 ha, esto se debe a que estos predios pertenecían a la Cooperativa de producción agropecuaria “Catamayo”, los cuales fueron divididos en superficies pequeñas de 0,5 ha y se adjudicaron a estos propietarios con la finalidad de realizar una agricultura familiar campesina; y, el 27 % son predios mayores a 0,5 ha, debido a que se adjudicaron más de dos predios a un mismo propietario (Tabla 7). La falta de planificación en los predios es evidente, ya que no cuentan con una organización al momento de realizar la siembra de cultivos; además, de no contar con viviendas que les permita vivir en el sector y cuidar de sus cultivos, por esta razón se pretende realizar una planificación para predios con superficies pequeñas destinados a la agricultura familiar campesina.

Según FAO (2019) en América se encuentran casi 16,5 millones de explotaciones agrícolas familiares que dan trabajo a unos 60 millones de personas. Ocho de cada diez explotaciones en América Latina son de tipo familiar: el 56% de ellas (más de 9,2 millones) están situadas en América del Sur, el 35 % (5,8 millones) en América Central y México, y el 9 % (1,5 millones) en el Caribe.

La agricultura familiar campesina también se define en relación al tamaño de la explotación en fincas con superficies de pequeño tamaño (Maletta, 2011; De la O y Garner, 2012; citados en FAO, 2014). En el área andina se considera fincas de hasta 5 ha; en Centroamérica y el Caribe, las superficies máximas utilizadas en la agricultura familiar son aproximadamente de 2 ha, siendo a veces, inferiores a 1 ha (Graham, 2012; De la O y Garner, 2012; citados en FAO, 2014).

Tabla 8

Uso actual del predio y tipos de cultivos con más demanda de siembra.

Uso del predio		Predios	(%)	
Monocultivo	Caña	12	32,4	
	Maíz		32,4	
Rotación de cultivos	Yuca	23	18,9	62,1
	Cebolla		10,8	
Combinados	Frutales	2	5,4	
Total		37	100,0	

La principal actividad económica a la que se dedican es a la agricultura, por consiguiente, los predios del sector se encuentran en uso constante, de los cuales el 68 % mantienen cultivos en rotación (maíz, yuca, cebolla) y combinados (frutales) durante todo el año, de los cuales la mayor demanda de siembra es del maíz con 32 %; y, el monocultivo representa el 32 % de la producción del sector, que es la caña, debido a que venden su producción a la empresa MALCA (Monterrey Azucarera Lojana C.A) (Tabla 8).

El tipo de agricultura que se emplea es mecanizada y tradicional o convencional, debido a que para la preparación del suelo se emplea un tractor, que tarda 4 horas/ha, si realiza el trabajo de arado, rastrillado y abertura de surcos; en cambio, si solo realiza el rastrillado, tarda 2 horas/ha; su remuneración es de USD 25 la hora y tiene más demanda de uso cada tres meses al año, dependiendo del cultivo que se quiera sembrar.

Sin embargo, para la siembra y cosecha, no utilizan una agricultura mecanizada; es decir, el empleo de sembradoras o cosechadoras, más bien lo realizan de manera tradicional o convencional, en el que emplean herramientas como lampas y machetes. Además, para la siembra en una hectárea, se necesitan 10 jornales para el maíz; 13 jornales para la yuca; 24

jornales para la cebolla y 8 jornales para la caña. Y, en la cosecha se emplean 60 jornales para el maíz; 150 jornales para la yuca y 32 jornales para la cebolla; los cuales son remunerados con USD 15 el jornal.

Tabla 9

Ciclos, producción y fechas del cultivo de maíz.

Maíz										
Ciclos	Cantidad de semilla		Producción		Precio		Fecha de siembra		Fecha de cosecha	
	(kg/ha)	(%)	(t/ha)	(%)	(t)	(%)	Meses	(%)	Meses	(%)
	≤ 22	8,3	≤ 1,1	8,3	298,2	42,0	Octubre	50,0	Enero	50,0
2 – 3	[23;44]	75,0	[1,2;5,4]	58,3	350,9	42,0	Noviembre	42,0	Noviembre	8,0
	[45;65]	8,3	[5,5;6,7]	25,0	421,1	16,0	Agosto	8,0	Febrero	42,0
	> 65	8,3	> 6,7	8,3						
Total		100		100		100		100		100

Uno de los cultivos con más demanda en el sector es el maíz (*Zea mays*), este cultivo requiere una temperatura de 25 a 30 °C, con alta incidencia de luz solar (Quishpe, 2010).

En la tabla 9, se muestra que el cultivo de maíz tiene de 2 a 3 ciclos de siembra por año los cuales varían de entre 3 a 4 meses, el 75 % de los propietarios siembran de 23 a 44 kg/ha, con una variedad predominante que es maíz criollo de grano blanco (choclo), según Aguirre (2010) y Ávila (2018) menciona que con el maíz criollo los agricultores ahorran recursos económicos, debido a que se evita la compra de semilla y por su adaptación es un cultivo rústico que requiere de bajo nivel de insumos como fertilizantes y pesticidas. En cuanto a la producción se obtiene que un 58,3 % de los predios tienen de entre 1,2 a 5,4 t/ha al año (Tabla 9); según Ávila (2018) a nivel del cantón Loja se registra un promedio de 0,9 t/ha, inferior al promedio a nivel nacional, que según el MAGAP (2013) alcanzó 1,1 t/ha y significativamente por debajo de la productividad registrada en el Perú, la cual es de 8,3 t/ha; lo que obedece que a nivel nacional se mantiene entre los rangos permisibles, mientras que a nivel internacional se muestra una baja producción, que obedece a la casi nula tecnificación del cultivo.

El maíz se vende a un precio de USD 298,2 y USD 350,9 por tonelada; es decir, a USD 0,20 y USD 0,17 por planta directamente desde el predio, lo que quiere decir que la mazorca se vende a intermediarios a USD 0,10 aproximadamente, esto evidencia un problema para el productor, debido a que las ganancias de producción benefician a los intermediarios (Tabla 9).

Además, la tabla 9 señala que los meses de siembra son de octubre y noviembre, la época de siembra no se ve afectada debido a que en el sector cuentan con riego durante todo el año, lo cual recalca Ávila (2018) que en el cantón Loja, la siembra la realizan en dos épocas;

la primera con el inicio de las lluvias (agosto - septiembre), y la segunda bajo riego (noviembre-diciembre), generalmente los productores que cuentan con sistema de riego pueden sembrar durante todo el año mientras que la mayoría de los productores deben hacerlo cuando se presentan las primeras lluvias. En cuanto a los meses de cosecha en el sector “El Salado” se realizan en los meses de enero y febrero, la cosecha se la realiza en etapa fenológica (choclo) debido a que venden toda la superficie de maíz a los intermediarios, los cuales son los que cosechan la producción del agricultor, lo que hace que los precios especialmente a nivel del productor bajen sustancialmente.

Tabla 10
Ciclos, producción y fechas del cultivo de la yuca.

Yuca										
Ciclos	Cantidad de semilla		Producción		Precio		Fecha de siembra		Fecha de cosecha	
	(t/ha)	(%)	(t/ha)	(%)	(t)	(%)	Meses	(%)	Meses	(%)
1	0,22	14,3	20,0	57,1	170,0	14,0	Abril	14,0	Diciembre	14,0
	0,42	57,1	30,1	28,6	200,0	43,0	Julio	29,0	Marzo	14,0
	[0,63;0,70]	28,6	60,1	14,3	250,0	43,0	Agosto	43,0	Abril	43,0
							Septiembre	14,0	Mayo	29,0
Total		100		100		100		100		100

La tabla 10, indica que la producción de yuca (*Manihot esculenta*) se da una vez al año, con una duración aproximada de 8 meses del cultivo, la variedad de yuca que se siembran en el sector es la “Negra”, según INIAP (2011) e INIAP (2014) señala que de acuerdo a investigaciones preliminares realizadas para el sub trópico la variedad Escancela-morada y la variedad Valenciana corresponden al grupo de “Las Negras”, alcanzando rendimientos mayores de 30 t/ha en condiciones del agricultor.

De acuerdo a lo expuesto en la tabla 10, el 57,1 % de los productores obtienen una producción de 20 t/ha, que deduce a una baja producción, esto según PROEXANT (2006) y Carrión (2013) se debe a que el mayor porcentaje de los productores está constituido por pequeños agricultores de escasos recursos, que siembran generalmente como cultivo de subsistencia en superficies de 0,25 a 5,0 ha, sin utilizar tecnologías mejoradas, que para optimizar los rendimientos, se realizan mediante técnicas sencillas, baratas y de fácil aplicación, considerando además que la siembra se la hace en áreas de baja fertilidad y poca precipitación. Según INIAP (2014), en el clima trópico seco la variedad INIAP Portoviejo-650, presenta un rendimiento promedio de 17 t/ha pudiendo llegar a 35 t/ha y la INIAP Portoviejo-651, con rendimientos promedio de 29 t/ha a nivel de campo de agricultores, puede alcanzar 40 t/ha.

El precio de venta de la yuca se la realiza de entre USD 200,00 a USD 250,00 por tonelada en tiempos de baja oferta del cultivo y puede llegar a venderse a USD 170,00 en épocas de una elevada oferta, vendiendo directamente desde el predio a comerciantes, esto se debe a que los productores del sector no cuentan con un calendario establecido para la siembra del tubérculo y lo realizan en cualquier mes del año, esto hace que la mayoría de los productores siembren en las mismas épocas este cultivo y exista una elevada oferta del mismo, por lo que baja su demanda; como se mencionó antes la siembra se la realiza en cualquier mes, entre los cuales son de julio y agosto, generalmente a 1,0 m entre hileras y 1,0 m entre plantas; y, se cosecha entre los meses de abril y mayo, se la realiza manualmente y se clasifica el tubérculo dependiendo su grosor y tamaño en niveles que va del 1 al 4, en el cual el último nivel corresponde a tubérculos pequeños y delgados, por lo que se destina para consumo de animales (cerdos) (Tabla 10).

Según INIAP (2014), en zonas de poca precipitación se recomienda para monocultivo sembrar variedades INIAP Portoviejo 650 e INIAP Portoviejo 651 a 1,0 m entre hileras y 1,2 m entre planta (8.333 plantas/ha) y para variedades locales a una distancia de 1,0 m entre hilera y 1,4 entre plantas; se puede reducir la densidad de siembra a 1,0 x 1,0 m en lugares donde se deja la yuca en el campo para cosechar después de un año. Además, menciona que en la Sierra y en zonas donde se presentan condiciones de pluviometría permanente la siembra se la puede realizar en cualquier época del año y la cosecha se debe realizar en época seca, a partir de los 7 meses hasta los 16 meses o más, dependiendo de la variedad y las condiciones del medio.

Tabla 11

Ciclos, producción y fechas del cultivo de la cebolla.

Cebolla										
Ciclos	Cantidad de semilla		Producción		Precio		Fecha de siembra		Fecha de cosecha	
	(kg/ha)	(%)	(t/ha)	(%)	(t)	(%)	Meses	(%)	Meses	(%)
1	2,72	75,0	60,0	75,0	90,0	25,0	Septiembre	100,0	Enero	25,0
	3,64	25,0	80,0	25,0	100,0	75,0			Febrero	75,0
Total		100		100		100		100		100

El cultivo de cebolla (*Allium cepa*) presenta un ciclo de siembra por año, el 75 % de los productores siembran 2,72 kg/ha de semilla de variedad “Peruana” (Tabla 11). Según CRÓNICA (2019), un productor de cebolla, explicó que de 1,0 ha cultivada tiene una producción de 120 t, por lo que en el sector “El Salado” se puede decir que existe una baja producción debido a que presentan de 60 a 80 t/ha, vendiendo a 100 USD/t o 10 USD/qg siendo un precio bajo, ya que se vende directamente desde el predio, esto afecta al productor ya que la mayor parte de las ganancias las obtiene el intermediario. Además, el BCE (2018) señala

que el descenso de los precios, según los agricultores obedecería al contrabando, especialmente desde Perú.

Según la tabla 11, el mes de siembra en el sector es en septiembre con una duración aproximada de entre 4 a 5 meses, por lo que la cosecha se la realiza entre los meses de enero y febrero.

Tabla 12

Ciclos, producción y fechas del cultivo de caña.

Caña										
Ciclos	Cantidad de semilla		Producción		Precio		Fecha de siembra		Fecha de cosecha	
	(t/ha)	(%)	(t/ha)	(%)	(t)	(%)	Meses	(%)	Meses	(%)
1	3.2	8.3	5,0	16,7	37,8	83,3	Agosto	100,0	Agosto	100,0
	[3,26;3,36]	91,7	6,0	83,3	44,5	8,3				
					45,3	8,3				
Total		100		100		100		100		100

El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el sector, está asociado a la empresa privada MALCA (Monterrey Azucarera Lojana C.A), por motivo que le venden toda la producción y esta les proporciona el kit de insumos para su obtención.

En la tabla 12, se muestra que el 83,3 % tiene una producción de 6 t/ha al sembrar aproximadamente de 3,26 a 3,36 t/ha; siendo una producción muy baja, esto se debe a que de los 216 cañicultores que existen en el cantón Catamayo, el 90 % mantienen convenios con MALCA y estos mencionan que desde aproximadamente 4 años la empresa no brinda capacitaciones, uso de insumos o control de plagas y de los pocos que reciben capacitación estas son mal orientadas (Quezada, 2017). Además, de no utilizar la variedad correcta, ya que según MALCA (2013) y Bravo (2014), actualmente producen dos variedades de caña: PR 61-632 (Puerto Rico) sembrada en un 89 % y con el 11 % la variedad RD 75-11 (República Dominicana); obteniendo producciones de entre 140 a 180 t/ha, lo que corrobora Quezada (2017) que las variedades germinadas y producidas por MALCA son Puerto Rico y Venezuela, obteniendo una producción de entre 150 a 200 t/ha.

Según PDOT (2015), la producción de caña de azúcar en el valle de Catamayo se caracteriza por sus extensas ha de sembrío de este cultivo, y es la materia prima más importante de la industria azucarera del cantón. La producción cosechada en 2013 fue de 137.265 t y su rendimiento fue de 16,72 t/ha. El aporte de la producción de Loja hacia la región Sierra es de 39,5 % y a nivel nacional es de 7,96 %.

El 83,3 % de los cañicultores del sector venden a USD 37,8 la tonelada de caña a MALCA, solo el 8,3 % vende su producción a USD 45,3 (Tabla 12).

Según Bravo (2014) el precio comercial de la tonelada de caña fue incrementando, siendo en el 2011, USD 24.75; 2012, USD 27.75 y 2013, USD 29.75. Este último se encuentra en vigencia debido al Registro Oficial N°59 del jueves 15 de agosto de 2013 en el cual se fija el precio de la tonelada métrica de Caña de Azúcar en USD 29.75. El precio de la tonelada de caña del sector, se aproxima a la definición de Quezada (2017) el cual señala que MALCA calcula el valor a pagar en función al tonelaje y a la calidad en ° BRIX o sacarosa, que bajo normativa estatal una tonelada con 13 ° BRIX tiene un costo de USD 32.75.

La siembra de caña se da en el mes de agosto, y según versiones de los productores del sector se cosecha a los 12 meses aproximado, aunque cabe recalcar que el cultivo de caña muestra una duración de entre 9 a 14 meses, de acuerdo al lugar (Tabla 12).

Tabla 13
Ciclos, producción y fechas del cultivo de frutales.

Frutales						
Ciclos	Cantidad de semilla		Producción		Precio	
	(t/ha)	(%)	(t/ha)	(%)	(saquillo)	(%)
1	0,005	50,0	0,3	50,0	7,5	50,0
	0,11	50,0	0,2	50,0	9,0	50,0
Total		100		100		100

En la tabla 13, se recalca la producción de frutales de los cuales el 50 % de los productores siembra una baja cantidad de cítricos (0,005 t/ha) en los predios que se encuentran con otro tipo de cultivo, obteniendo una producción de 2 saquillos o 0,3 t/ha; esto lo hacen para su consumo y en ciertos casos para la venta, vendiendo a USD 7,5 el saquillo o a USD 384,6 la tonelada, este tipo de cultivo se siembra en cualquier época y mantiene una producción por muchos años.

La densidad de siembra es de 6 a 7 m entre filas, colocando los árboles dentro de cada fila a distancias que oscilen entre 3,5 y 5 m. La planta puede llegar a producir un máximo de 1998 frutos y un mínimo de 760 frutos por planta al año (AGROTENDENCIA, 2018).

Del 50 % de los productores restantes, se dedican al cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*), el cual siembran un aproximado de 0.11 t/ha y obtienen una producción de 10 saquillos o 0,2 t/ha. Esta producción la venden a comerciantes a USD 9,0 el saquillo o a USD 494,5 la tonelada, lo que concuerda con EMA (2018) el cual señala un precio por saquillo de USD 9,0.

La siembra hasta la floración es de 6 a 8 meses (180 a 240 días) y el período de producción o cosecha es de 14 meses (420 días), con una distancia de 3,0 m entre plantas y 4,0 m entre filas (Sinche, 2016).

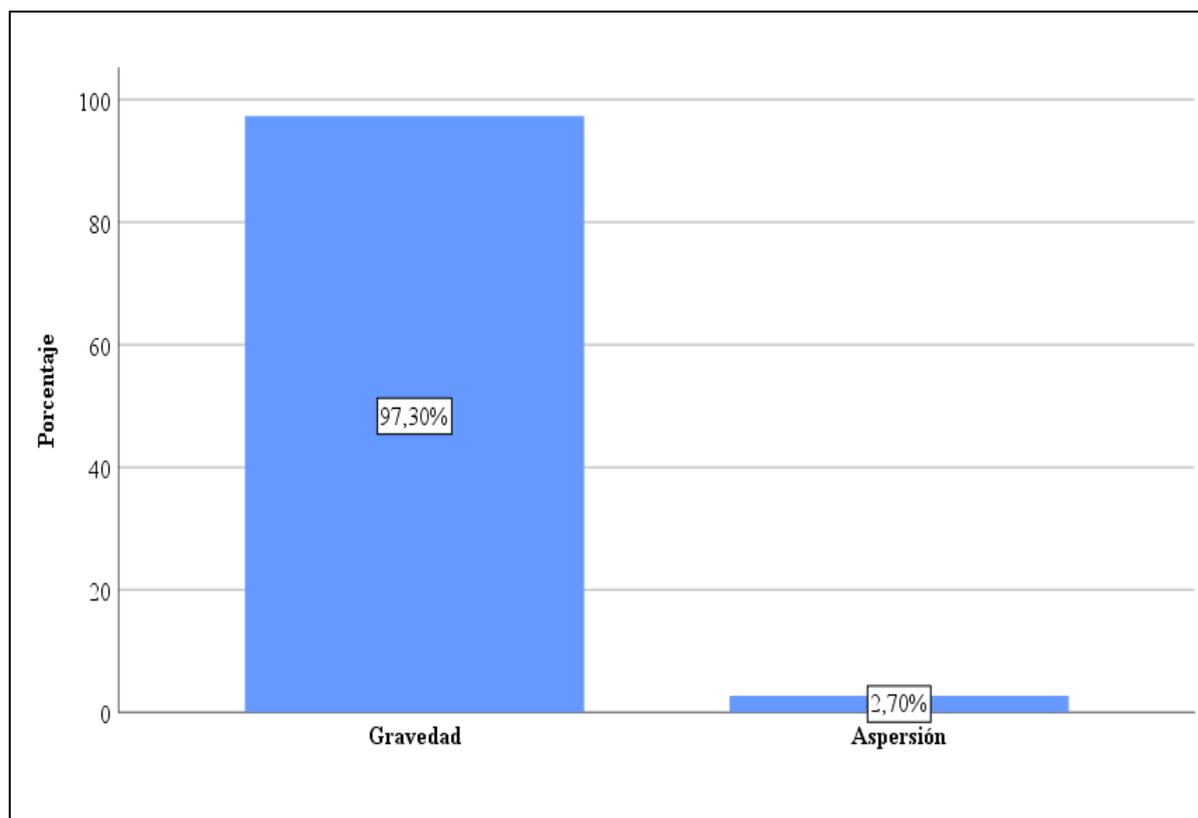


Figura 6. Métodos de riego para los diferentes cultivos del sector.

La figura 6, señala que el 97,3 % de los predios riegan sus cultivos como maíz, yuca, cebolla, caña y frutales a gravedad; 2,7 % a aspersión, y no existen predios bajo un riego por goteo debido a la falta de conocimiento y a la poca experiencia con respecto al método.

Según AGROSÍNTESIS (2016), el riego por goteo es uno de los sistema más eficientes en el uso de agua, debido a que se traen beneficios como un riego uniforme, menor incidencia de malezas, menores costos de mano de obra, menor impacto al ambiente y un uso eficiente de insumos como fertilizantes, plaguicidas, entre otros, los cuales se pueden aplicar en el lugar que la planta lo necesita . Además, en comparación con el riego por gravedad, el riego por goteo requiere poca mano de obra y en comparación con los pivotes, consume muy poca energía, también se puede realizar la producción sin labranzas o usando labranzas mínimas. Sin desperdiciar el agua ya sea por evaporación, escurrimientos, filtración profunda o prácticas de cultivo, y la uniformidad del riego es generalmente mayor al 90 %.

En el cultivo de maíz, con riego a gravedad más de la mitad de agua se pierde por evaporación, percolación y escorrentía; y, los rendimientos van de medio a bajo y con el riego por aspersión o goteo se ha alcanzado un ahorro medio superior de agua en un 35 % frente a los otros métodos de riego, una mejor calidad del grano, se reduce mano de obra y una mejora en la producción de maíz de un 15 %, sin embargo este método se ha usado muy poco en

cultivos de grano, por temas de rentabilidad y falta de experiencia. Esto recalca Egüez & Pintado (2011) el cual menciona que la mayor parte de productores siembran el maíz bajo condiciones de temporal, y que se práctica a mayor escala el riego por gravedad lo que causa una gran cantidad de erosión de suelo y el cultivo puede llegar a un punto de marchitez permanente, y por ende se obtiene bajos rendimientos, por lo que recomienda regar por aspersión o goteo.

Con respecto al cultivo de yuca se reiteran los mismos beneficios en riego por goteo como proporcionar un ahorro de agua y tiempo, reduce los costos de mano de obra, brindando beneficios al agricultor en su economía y seguridad alimentaria. En Manabí el riego se utiliza como complemento a las precipitaciones; los agricultores implementan infraestructura para riego por goteo que es utilizada para la producción de cultivos hortícolas y/o perennes, en rotación con yuca. Para la aplicación de sistemas de riego por gravedad y aspersión se deben realizar estudios, específicamente para controlar el contenido de humedad en el suelo favorable para el desarrollo excesivo de malezas y del cultivo (INIAP, 2014).

El riego por goteo en el cultivo de cebolla permite la dosificación precisa de los volúmenes de agua y nutrientes en función de las necesidades de cada estado fenológico, por lo que se obtiene una mayor producción con incrementos superiores a un 35 % frente a otros sistemas de riego. Por otra parte, la densidad de plantación no está condicionada por las características del sistema, es una práctica que permite seleccionar la densidad de plantación más adecuada para establecer el compromiso entre cantidad de cosecha y tamaño medio del bulbo. Además, admite mantener estable el contenido de humedad para su absorción por parte del cultivo, ya que la cebolla es sensible a valores medios y altos de CE del agua, y a fluctuaciones de los niveles de humedad del suelo, y a la reducción significativa de enfermedades fúngicas postcosecha, al lograr una maduración más rápida y uniforme entre los bulbos (INTEREMPRESAS, 2017).

Lo que corrobora Sánchez & Pezzola (2013), el cual aplicó un sistema de riego por goteo y observó un ahorro significativo de agua de riego, sin desarrollo de enfermedades y salinidad, mejor calidad del bulbo y un incremento en el rendimiento, por lo que el riego por goteo en cebolla representa una alternativa interesante ante un cultivo que hasta ahora es regado por surcos, obteniendo pérdidas en la calidad y una disminución en la producción.

En los predios del sector “El Salado” la caña de azúcar se riega a gravedad, según Córdova (2013), esto ha causado que los canteros se encuentren con un nivel bajo de materia orgánica por efecto de la erosión, según lo demuestran los análisis de suelo que el Ingenio Monterrey viene realizando desde años atrás, a lo que se suma que la inversión que se realiza

en la fertilización tanto de productos químicos y orgánicos se convierte en gasto o mejor dicho en pérdida, debido a los procesos de lixiviación, filtración y percolación. Por lo que el Ingenio Monterrey viene trabajando con un método de riego por gravedad con un sistema de surcos adecuado a la realidad del valle de Catamayo.

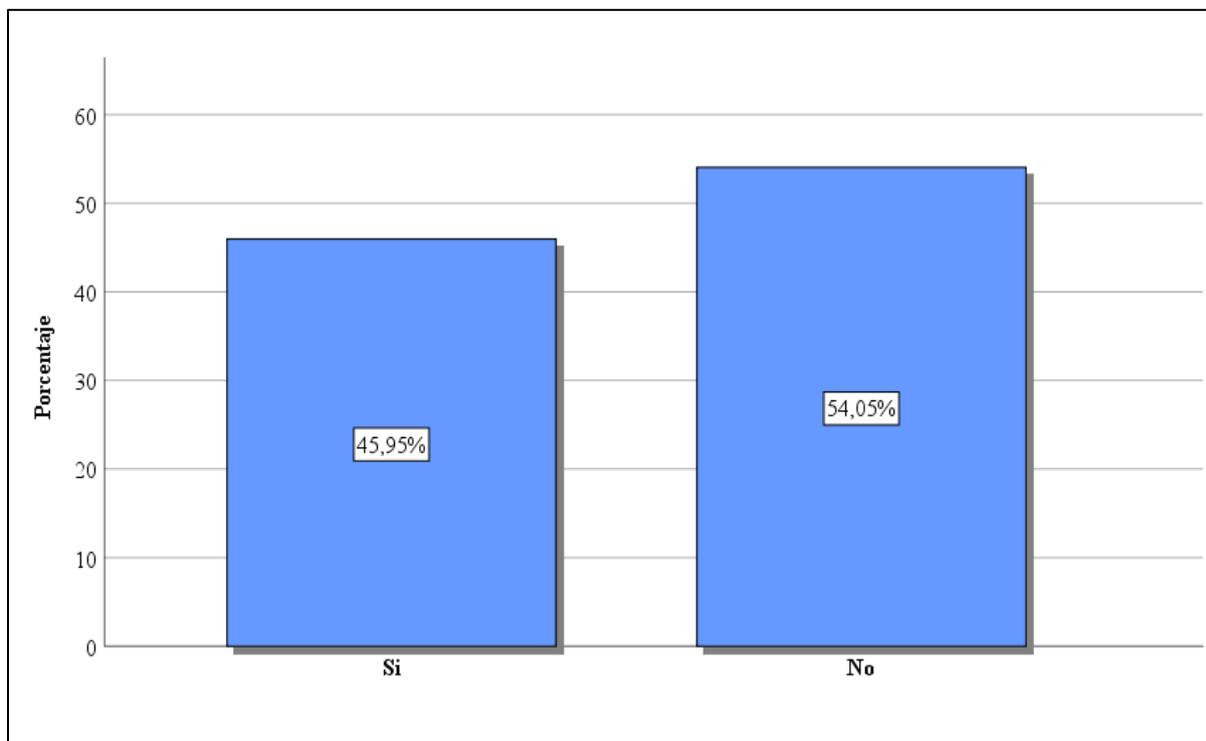


Figura 7. Dificultades con respecto al uso de riego en el predio.

De acuerdo a la figura 7, el 54,05 % de predios no cuentan con dificultades con respecto al riego, mientras que el 45,95 % si presentan dificultades. El agua que abastece al canal del sector proviene del Río Boquerón, entre las principales dificultades se deben a la escasez o ausencia de agua debido a que, en tiempos de invierno que son en el mes de febrero y abril, en las partes altas del canal se desborda, lo que obstruye el paso del agua a las partes bajas, esto tiene una duración de 15 días a un mes por motivos de mantenimiento. Además, estas épocas de lluvias causan la crecida del río y esto hace que se lleve la bocatoma, causando problemas para los agricultores del sector.

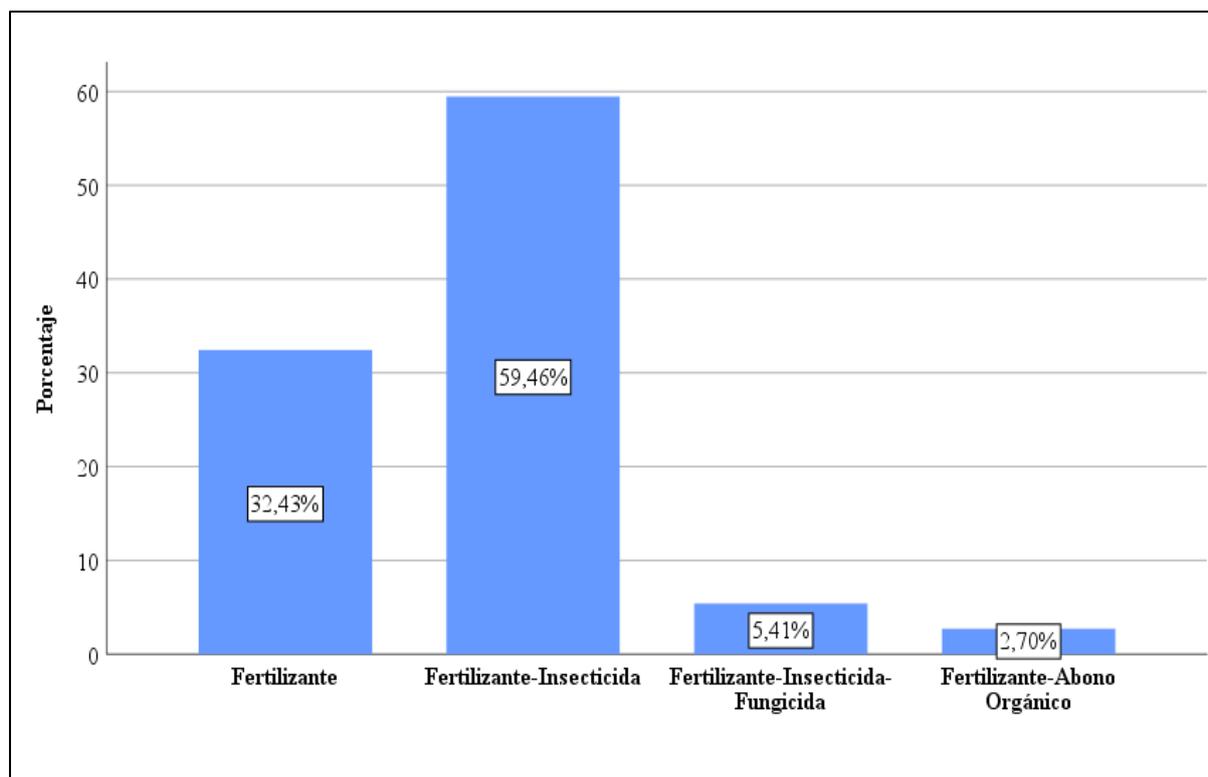


Figura 8. Uso de insumos agrícolas en los diferentes cultivos de los predios.

En la figura 8, muestra que en la mayoría de los predios utilizan en sus cultivos fertilizantes e insecticidas en un 59,46 %, como es en el maíz; es decir, las etapas de fertilización las realizan al momento de la siembra con urea (CH_4N_2O) o abrogan, a los 15 días y luego cada 2 meses utilizando los mismos fertilizantes, cabe recalcar que agregan otro tipo de fertilizantes de acuerdo al estado del maíz, los cuales son nitrato de amonio (NH_4NO_3), fosfato diamónico (18 Nitrogeno-46 fósforo-0 potasio) y fuerza verde, que es un abono foliar. En cuanto a la fumigación, se realiza con el insecticida curacron ($C_{11}H_{15}BrClO_3PS$) para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), esto lo recalca (AGRIZON, 2019), quien menciona que es un insecticida con acción de contacto e ingestión, actúa sobre ácaros, belloteros, comedores de follaje, insectos presentes en el envés de la hoja y en el maíz ayuda al control del gusano cogollero, se lo aplica a los primeros daños con una dosis de 0,6 l/ha.

Según Basantes (2015), es recomendable para una buena fertilización hacer un análisis de suelo; sin embargo, se puede recomendar N120-P100-K80 kg/ha más 20 kg de Mg/ha. El N y K debe fraccionarse: 40 % siembra y 60 % a los 30-40 días, también se debe aplicar micronutrientes al suelo (4-5 kg/ha), y para el control de plagas como cogollero (*Spodoptera frugiperda*), gusano de la mazorca (*Heliothis zea*), gusano de la mosca del choclo (*Euzesta eluta*) es necesario de 1,5 a 2 kg de Sevin 85%, polvo mojable en aproximadamente 800 l de agua, cuando se vean las oviposiciones sobre el pelo del choclo una vez emergido.

Al igual que el maíz para la yuca en su mayoría se utiliza, para la fertilización urea o abrogan al momento de la siembra y a los dos meses. La fumigación se realiza con insecticidas como curacron, depredador y bala, esta se realiza al mes y posteriormente cada 15 días para el control de plagas como el gusano cachón (*Erinnyis ello*) y trips. Según Cadavid (2011) y Aguilar (2017), en suelos pobres se recomienda aplicar fertilizantes químicos u orgánicos, evitar siembras sucesivas del mismo cultivo y dejar el terreno en barbecho o hacer una rotación de cultivos. En la yuca la tasa de absorción y acumulación de nutrientes es lenta durante los dos primeros meses y se incrementa a partir del segundo mes hasta los 4 o 5 meses; luego la absorción decrece o se mantiene constante hasta el final del ciclo del cultivo. Para el control de plagas como trips se recomienda rotar los cultivos, mantener sus alrededores libres de hospederos y desechos del cultivo, realizar un manejo adecuado de los niveles hídricos, principalmente durante la estación seca, y como control biológico se utilizan depredadores como chinches de la familia Lygeidae y cotorritas de la familia Coccinellidae, en cuanto a la plaga del gusano cachón se pueden utilizar parasitoides como *Trichogramma sp.*, braconidos como cotesia americana, depredadores como *Chrysopa sp.*, chinches como *Pidissus sp.*, algunas especies de arañas, microorganismos como *Bacillus thuringiensis*, y se pueden realizar labores de deshierba o mover el terreno, ya que los estados inmaduros de este insecto mueren al exponerse a la radiación solar.

Además, según la figura 8, el 5,41 % corresponde a predios que utilizan para sus cultivos fertilizantes, insecticidas y fungicidas, como es el caso de la cebolla, en el que emplean para la fertilización, urea, nitrato de amonio y fosfato diamónico. Con respecto a la fumigación para el control de la plaga de trips y la pudrición del cultivo, se emplean insecticidas como curacron, depredador y frontal que es un fungicida sistémico y de contacto. Según Alvarado (2013), la fertilización se realizará previo a la siembra, conforme a los resultados de un análisis de suelo, en caso de no disponer de un análisis se recomienda aplicar fosfato diamónico 18-46-0 (18 % de Nitrógeno Amoniacal y 46 % de Pentóxido de Fósforo, 150 kg), sulfato de magnesio “Sulpomag”, 100 kg y materia orgánica descompuesta (2 t).

El trips de la cebolla (*thripstabaci*), chupa la savia provocando manchas plateadas y puntos negros, este se puede combatir destruyendo las malezas hospederas y en la enfermedad de pudrición blanca (*Sclerotiumceviporum*), se muestran como hojas amarillentas progresivas, para ello es bueno una solarización inicial al suelo con el arado y en la pudrición basal (*Fusarium oxisporum*), las hojas y tallo mueren rápido y las raíces se pudren, para ello se debe cambiar áreas afectadas a otros cultivos (Meca, 2012).

El 32.43 % utilizan fertilizantes en el cultivo de caña, como urea, nitrato de amonio y nitrato de potasio (KNO_3), esto realizan al mes y cada dos meses. Y el 2,70 %, utilizan fertilizante conjunto con abono orgánico como es el abrojan, urea, gallinaza y abono de cuy (*Cavia porcellus*), lo emplean a los 4 meses y lo fumigan cada medio año (figura 3). Es importante fertilizar en época, aún con suelos secos, cuando se dispone de riego, este período puede adelantarse entre 15 y 20 días. En la fertilización nitrogenada, los atrasos en ella, derivan en menores beneficios en la producción de caña y también de azúcar, y en dosis mayores a las óptimas implican un gasto que no se recuperará. Se recomienda fertilizar en la planta de caña una media dosis de N equivalente a 45 a 60 Kg de N/ha (1,5 a 2 Kg de urea/surco), lo que permitirá, al menos, mejorar la calidad de la nueva cepa, cabe señalar que las dosis recomendadas son entre 72 y 115 Kg de N/ha. El fertilizante más usado es urea (46 % de N), en condiciones hídricas adecuadas, estará disponible a partir de los 5 a 10 días de la aplicación y alcanza su máxima disponibilidad a los 15 días; es importante señalar que la fertilización potásica no es una práctica tradicional en suelos con predominancia de arcilla, ya que posee cantidades suficientes y en suelos con texturas gruesas los contenidos de potasio intercambiables pueden resultar críticos (Meca, 2012).

Para las plagas en el cultivo de caña salta hojas (*Perkinsiella saccharicida*) se recomienda Malathión 57 CE, a razón de 1 l/ha; en el barrenador del tallo (*diatreasaccharalis*) es necesario realizar un control oportuno de las malezas o eliminación de residuos de cosecha, el control químico no es recomendable, pues no es efectivo ni económico; en la babosa (*Manhanarvasp*) los insecticidas que han mostrado mejor desempeño son el Sevín 80 PM en dosis de 1 a 1,5 kg/ha y en las termitas o comején (*Isóptera termitidae*) se recomienda efectuar las buenas prácticas culturales, buen control de malezas, cortar los tallos a nivel del suelo y no dejar pedazos de tallos en el cantero (Palma, 2015).

En cuanto a los frutales, la aplicación de fertilizantes granulados y formulados debe fraccionarse de 3 o 4 dosis anuales, aplicándose directamente en el suelo, en la mitad del radio de la circunferencia que proyecta la sombra del árbol, siempre con el suelo húmedo o antes de un riego abundante, y debe cubrirse para evitar pérdidas por volatilización. Si se quiere calcular un aproximado del consumo de macroelementos, se puede afirmar que para 1 tonelada de fruta se consumen aproximadamente 5 kg de N, 2 a 2,65 kg de P y 88 kg de K. Una vez establecido el cultivo se recomienda el uso de controles mecánicos para el desmalezado, también se pueden usar herbicidas de contacto y en menor grado los de tipo sistémico. Los métodos de control de malezas mecanizados (rastreo) pueden hacerse en intervalos de 2 meses, mientras que el deshierbe se recomienda cada 30 o 40 días (AGROTENDENCIA, 2018).

4.2. Resultados y discusión para el segundo objetivo

“Diseñar un sistema de riego por aspersión para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el predio agrícola “El Almendro”.

4.2.1. Superficie a regar

A partir del levantamiento topográfico, se obtuvo una superficie a regar de 0,58 ha, con curvas de nivel a cada 0,4 m y una pendiente de 2,4 %, cuya información se visualiza en el (Anexo 13).

4.2.2. Caudal de la fuente de abastecimiento

Para el predio “El Almendro”, la fuente de agua que abastece es un canal sin nombre de material impermeable (revestido en concreto), cuya agua proviene del Río Boquerón; y, se realizó el aforo por el método del flotador (velocidad – superficie transversal) en época de estiaje, que se comprende entre los meses de mayo a septiembre; obteniendo un caudal de 30 l/s, el cual sirve como referencia para el diseño del sistema de riego. A continuación, se presenta el cálculo realizado:

$$Q = A * V * K \quad \rightarrow \quad V = \frac{e}{t} = \frac{10 \text{ m}}{133.3 \text{ s}} = 0,075 \text{ m/s}$$

$$\rightarrow \quad A = b * h = 1,17 * 0,43 = 0,50 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,50 \text{ m}^2 * 0,075 \text{ m/s} * 0,8 = 0,030 \text{ m}^3/\text{s} = 30 \text{ l/s}$$

4.2.3. Estudio del suelo

En base a los estudios de suelo realizados se obtuvo el contenido de agua en el suelo y la clase textural.

4.2.3.1. Curva de retención de humedad del suelo y evaluación de las condiciones físicas del suelo.

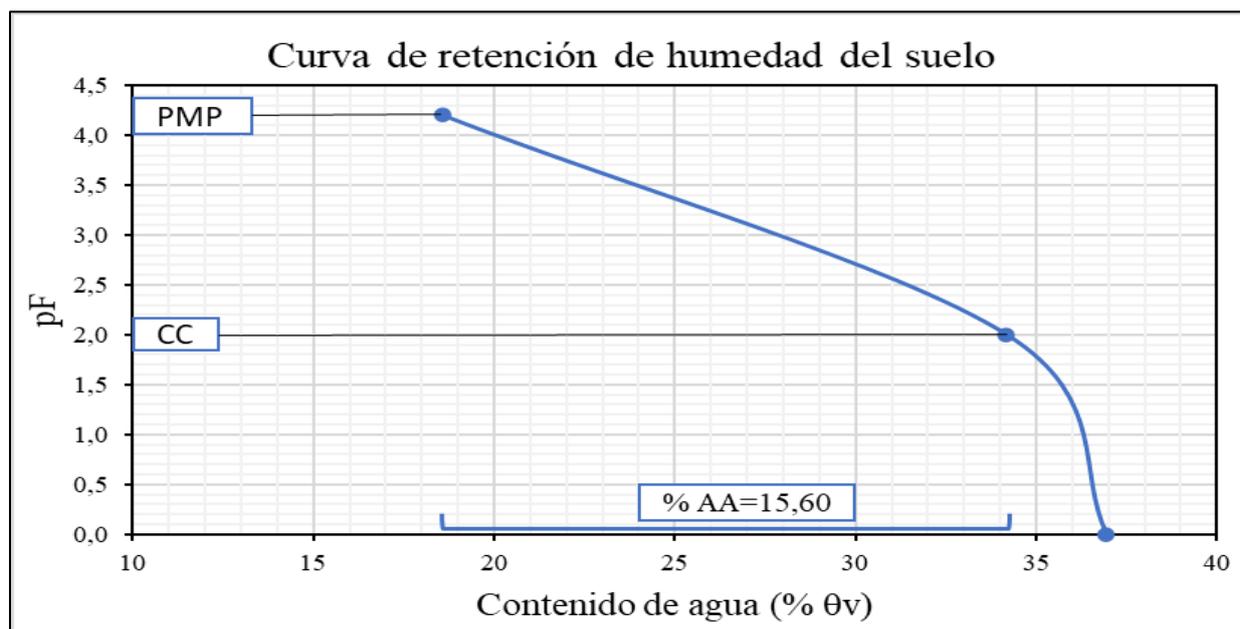


Figura 9. Curva de retención de humedad del suelo.

En la figura 9, se presenta la curva de retención de humedad del suelo, semejante a la de un suelo con textura franco arcilloso; esta se obtuvo en base a los resultados de las constantes hidrofísicas de capacidad de campo (CC) de 34,18 % a pF 2,0 (1/10 atm), punto de marchitez permanente (PMP) de 18,58 % a pF 4,2 (15 atm) y al estado poroso del suelo o saturación de 36,94 %.

A partir de estos parámetros se determina un 15,60 % de agua aprovechable (AA) que representa la cantidad de agua fácilmente disponible para el desarrollo de la planta y se clasifica como alta.

La capacidad de aireación (CA) se clasifica como muy baja con un valor de 2,76 %, lo que representa una mala aireación del suelo.

En función de la capacidad de aireación; agua aprovechable; y, el volumen de poros físicamente inerte (VFI 81,64 %), el cual considero el volumen total de los sólidos (VTS 63,06 %), más el volumen inútil de los poros, que es el valor de punto de marchitez permanente (PMP 18,58 %); se clasifica dentro de la ZONA I, de acuerdo al diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo, esta zona se denomina como muy pobre; al no permitir condiciones favorables para el desarrollo de las plantas y un lento movimiento del agua y aire del suelo (Anexo 4).

4.2.3.2. *Velocidad de infiltración del agua en el suelo.*

La velocidad de infiltración básica del agua en el suelo es de 16,7 mm/h (Anexo 5), que según Cisneros (2003), corresponde a una velocidad de infiltración lenta, debido a que el suelo contiene altos contenidos de arcilla y es bajo en materia orgánica, propio de suelos de textura franco arcillosa, esto lo corrobora la USDA (2006); citado en Amancha (2015), quien menciona que para infiltraciones de 5 – 20 mm/h, la velocidad de infiltración se considera moderadamente lenta.

4.2.4. **Diseño agronómico**

Para el diseño agronómico se presentan los requerimientos hídricos en época de máxima demanda de agua por el cultivo. Para el cual, se determina primero las necesidades de agua del cultivo y finalmente los parámetros de riego.

4.2.4.1. *Necesidades de agua del cultivo.*

▸ **Evapotranspiración de referencia (Eto)**

Tabla 14

Evapotranspiración de referencia.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Eto (mm/mes)	175,5	157,4	171,7	161,1	154,7	144,9	157,2	172,7	180,9	189,1	183,0	180,4
Eto (mm/día)	5,7	5,6	5,5	5,4	5,0	4,8	5,1	5,6	6,0	6,1	6,1	5,8

En la tabla 14, se presentan valores de la evapotranspiración similares durante todo el año, con un valor máximo de 189,1 mm/mes en octubre y una mínima de 144,9 mm/mes en junio.

Se puede deducir que los datos obtenidos son confiables debido al método utilizado, lo que corrobora la FAO (2006), que el método de la FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de Eto con parámetros climáticos, el cual ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana el valor de cualquier localidad evaluada con bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos.

▸ **Curva del coeficiente del cultivo (kc)**

Para graficar la curva del kc se utilizó los resultados obtenidos por Ureña (2017) de la etapa fenológica y kc:

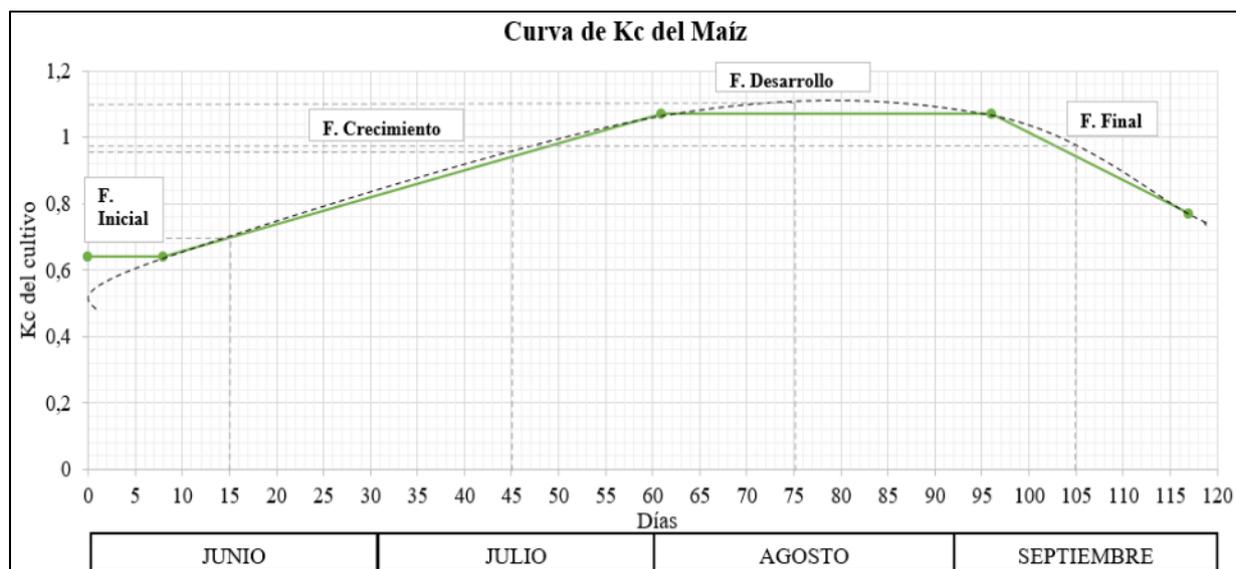


Figura 10. Coeficientes del cultivo de maíz (kc).

En la figura 10, según los datos obtenidos por Ureña (2017) se estiman los coeficientes del maíz, para sus diferentes etapas fenológicas. Para el mes de junio se determina un kc de 0,70, para julio de 0,96, para agosto de 1,1 y para el mes de septiembre de 0,98; estos valores son importantes ya que influyen en la evapotranspiración de cultivo (ETc).

▸ Evapotranspiración del cultivo (ETc)

Tabla 15

Evapotranspiración del cultivo.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETc (mm/mes)	-	-	-	-	-	101,43	150,88	189,94	177,28	-	-	-
ETc (mm/día)	-	-	-	-	-	3,38	4,87	6,13	5,91	-	-	-

En la tabla 15, se muestran los valores de ETc para los meses de la etapa fenológica, los cuales varían de 3,38 a 6,13 mm/día. El mes que presenta un máximo valor es agosto con 6,13 mm/día, el cual sirve como base para el diseño del sistema de riego.

▸ Índice de humedad

Tabla 16

Índice de humedad.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Pm (mm/mes)	45,2	64,4	82,4	54,8	26,6	5,6	2,5	3,5	9,2	36,5	26,8	42,9
ETo (mm/mes)	175,5	157,4	171,7	161,1	154,7	144,9	157,2	172,7	180,9	189,1	183,0	180,4
I _h	0,26	0,41	0,48	0,34	0,17	0,04	0,02	0,02	0,05	0,19	0,15	0,24

Con base a la tabla 16, la zona de estudio presenta precipitaciones máximas de octubre a mayo con valores que oscilan entre 26,6 a 82,4 mm/mes, y con precipitaciones mínimas de 2,5 a 9,2 mm/mes, presentes entre los meses de junio a septiembre; lo cual coincide con el

índice de humedad que presenta valores menores a 1 durante todo el año, esto quiere decir que existe un déficit de agua, pero para definir un temporal de riego se toma los valores menores o con escasez de agua, los cuales están entre los meses de junio a septiembre.

► **Requerimientos hídricos del cultivo**

Tabla 17

Requerimientos hídricos del cultivo

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETc (mm/mes)	-	-	-	-	-	101,4	150,9	189,9	177,3	-	-	-
ETc (mm/día)	-	-	-	-	-	3,38	4,87	6,13	5,91	-	-	-
Pm (mm/mes)	45,24	64,45	82,41	54,84	26,56	5,56	2,49	3,48	9,22	36,53	26,79	42,92
Pe (mm/mes)	17,15	28,67	40,93	22,91	5,93	-6,66	-8,51	-7,91	-4,47	11,92	6,07	15,75
RReq (mm /mes)	-	-	-	-	-	108,1	159,4	197,8	181,8	-	-	-
RReq (mm /día)	-	-	-	-	-	3,6	5,1	6,4	6,1	-	-	-
RReq (m ³ /mes/ha)	-	-	-	-	-	1080,9	1593,9	1978,5	1817,5	-	-	-
Superficie (ha)	-	-	-	-	-	0,58	0,58	0,58	0,58	-	-	-
RReq (m ³ /mes)	-	-	-	-	-	626,95	924,46	1147,53	1054,15	-	-	-
Eficiencia	-	-	-	-	-	0,75	0,75	0,75	0,75	-	-	-
RReq (m ³ /mes)	-	-	-	-	-	835,9327	1232,6085	1530,0371	1405,5391	-	-	-
RReq (l/s)	-	-	-	-	-	0,32	0,48	0,59	0,54	-	-	-

Para las 0,58 ha, se requiere un volumen de agua máximo en el mes de agosto y un mínimo en el mes de junio (Tabla 17).

4.2.4.2. Parámetros de riego.

En este parámetro se determina las láminas de riego y el tiempo de riego, a partir de los resultados obtenidos de las propiedades hidrofísicas del suelo; además, se selecciona el aspersor más óptimo a las condiciones del área de riego.

► **Lámina de agua aprovechable (LAA)**

Se determinó mediante la siguiente ecuación, considerando 400 mm de profundidad radicular efectiva del maíz, por medio de la siguiente ecuación:

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

$$LAA = \frac{(34,18 - 18,58) \%}{100} * \frac{1,40g/cm^3}{1,00g/cm^3} * 400 mm$$

$$LAA = 87,36 mm$$

► **Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)**

Se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$LARA = LAA * UR$$

$$LARA = 87,36 mm * 0,5$$

$$LARA = 43,68 \text{ mm}$$

Es de 43,68 mm, que expresa la cantidad de agua que puede absorber la planta sin hacer un esfuerzo excesivo, o el agua que debe quedar en la zona radicular del cultivo, para llevar el suelo a capacidad de campo luego de un riego y; por lo tanto, genera un rendimiento óptimo.

▸ **Frecuencia de riego (F_r)**

Se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$F_r = \frac{LARA}{ETc_{max}}$$

$$F_r = \frac{43,68 \text{ mm}}{6,13 \text{ mm/día}}$$

$$F_r = 7,13 \text{ días}$$

En función de la evapotranspiración máxima del cultivo que pertenece al mes de julio con 6,13 mm/día, se obtuvo una frecuencia de riego de 7,13 días.

▸ **Frecuencia de riego ajustada (F_{rj})**

Se reacompló regar una vez por semana, considerando la jornada de trabajo del agricultor, por lo que la frecuencia de riego ajustada es de **7 días**, haciendo que el sistema de riego sea práctico.

▸ **Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada ($LARA_{ajust}$)**

Se determinó según la siguiente ecuación:

$$LARA_{ajust} = ETc_{max} * F_{rj}$$

$$LARA_{ajust} = 6,13 \text{ mm/día} * 7 \text{ días}$$

$$LARA_{ajust} = 42,91 \text{ mm}$$

▸ **Lámina de riego (L_r)**

Para obtener la lámina de riego es necesario conocer la eficiencia del método de riego, para mantener la humedad óptima del cultivo y evitar el estrés hídrico y que según el INIA (2009) es de 75 %; para lo cual se aplicó la siguiente ecuación:

$$L_r = \frac{LARA_{ajust}}{Ea}$$

$$L_r = \frac{42,91 \text{ mm}}{0.75}$$

$$L_r = 53,64 \text{ mm}$$

Los 53,64 mm, garantizan la humedad necesaria para el maíz; además, evita que la reserva de agua aprovechable se agote totalmente hasta llegar a PMP, causando problemas en el desarrollo de la planta.

4.2.4.3. Selección del aspersor.

Características del aspersor (Anexo 12)

Mini cañón (Naandanjain 5022 SD ½" o ¾")

Número de Boquilla: 4,0 mm x 1,8 mm (código negro)

Caudal del aspersor: 1,1 m³/h – 0,31 l/s

Presión del aspersor: 2,5 bar – 25,5 m.c.a

Altura del elevador: 0,7 m

Diámetro de húmedo: 24 m

▸ Marco de riego

Para velocidades del viento menores a 2 m/s, como es el caso de la zona de estudio (Anexo 13), se considera el 60 % del diámetro húmedo que proporciona el aspersor seleccionado, para obtener el espaciamiento entre aspersores y laterales, quedando de 14,2 m entre aspersores y laterales. Con el objeto de obtener una mayor uniformidad se consideró una distribución en cuadrado de (12 x 12) m, que proporciona el fabricante (Anexo 17).

▸ Intensidad de precipitación del aspersor (Ip)

Se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$Ip = \frac{Qa}{Sa * Sl} ; \quad \text{condición } Ip \leq VIB$$

$$Ip = \frac{1,1m^3/h}{12m * 12m}$$

$$Ip = \frac{0,007639m}{h} * \frac{1000mm}{1m}$$

$$Ip = 7,64 \text{ mm/h}$$

La intensidad de precipitación del aspersor es de 7,64 mm/h, siendo menor a la velocidad de infiltración básica, por lo que cumple con la condición de $Ip \leq VIB$, a partir de esto se deduce que dicha precipitación no causa encharcamiento de agua en el suelo. Además, señala que se ha seleccionado bien el aspersor y el marco de riego está bien definido.

▸ Tiempo de riego (Tr)

Para el tiempo de riego por posición del lateral, se determina en base a la lámina de riego y la intensidad de precipitación, mediante la siguiente ecuación:

$$Tr = Lr/Ip$$

$$T_r = \frac{53,64mm}{7,64mm/h}$$

$$T_r = 7,0 h$$

▸ **Número de aspersores por lateral (N_{AL})**

Se calculó según la siguiente ecuación, en función de la longitud del terreno en dirección al lateral y el espaciamiento entre aspersores:

$$N_{AL} = \frac{L_{TL}}{Sa}$$

$$N_{AL} = \frac{114 m}{12 m}$$

$$N_{AL} = 8,33 \approx 8 \text{ aspersores}$$

Debido a las condiciones del terreno se diseñaron dos tipos de laterales, en el primero entran 8 aspersores y en el segundo se obtienen 9 aspersores, con una longitud del terreno de 114 m (Anexo 16).

▸ **Longitud del lateral (L_L)**

Se considera la ubicación del primer aspersor, en este caso la ubicación es a la mitad de la separación entre aspersores ($Sa/2$), por lo que se aplica la siguiente ecuación:

$$L_L = Sa * (N_{AL} - 0,5)$$

$$L_L = 12m * (8 - 0,5)$$

$$L_L = 90 m$$

De igual manera, con las mismas consideraciones, se realizó el cálculo para el segundo lateral dando como resultado 106 m.

▸ **Caudal del lateral (Q_L)**

Se determino según la siguiente expresión matemática:

$$Q_L = Qa * N_{AL}$$

$$Q_L = 1,1 m^3/h * 8 \text{ aspersores}$$

$$Q_L = 8,8 m^3/h \text{ ó } 2,44 l/s$$

Para el segundo lateral se obtuvo 2,75 l/s.

▸ **Numero de laterales en el área (N_L)**

En función de la longitud del terreno, en dirección del secundario y el espaciamiento entre laterales, se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$N_L = L_S/S_l$$

$$N_L = 46 m/12 m$$

$$N_L = 3,8 \text{ laterales}$$

Las condiciones del terreno permitieron ajustar a 3 laterales.

▸ **Caudal de la línea secundaria**

Se determinó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q_l * N_{LS}$$

$$Q_s = (2,44 \text{ l/s} * 1) + (2,75 \text{ l/s} *)$$

$$Q_s = 7,94 \text{ l/s}$$

Por motivo de las condiciones que presenta el terreno existe un lateral con un caudal de 2,44 l/s y dos laterales con un caudal de 2,75 l/s.

4.2.5. Diseño hidráulico

▸ **Pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías**

Se determinaron en función del caudal respectivo, diámetros internos de las tuberías seleccionados y el coeficiente de fricción, que para plásticos es 150, que coincide para la tubería PVC, la cual por motivos prácticos se debe enterrar como mínimo a 25 cm de profundidad. Además, en función del diámetro interno se mantuvo velocidades menores a 2,5 m/s para tuberías principales y menores a 2 m/s, pero mayores a 0,5 m/s para las laterales, lo cual se resume en la tabla 18.

Tabla 18

Pérdida de carga en la red de tubería, con el método de Hazen – Williams.

Tubería	Caudal (l/s)	Longitud (m)	Ø nominal (pulgadas)	Ø externo (mm)	Ø interno (mm)	Velocidad (m/s)	J (m/100)	hf (m)	F	Hf (m)
Principal	7,94	5,50	3	75	71,40	1,98	4,92	0,27		0,27
Múltiple	7,94	30	3	75	71,40	1,98	4,92	1,48	0,54	0,80
Lateral ₁	2,44	92	1 ½	50	47,00	1,41	4,25	3,91	0,39	1,53
Lateral ₂	2,75	106	1 ½	50	47,00	1,59	5,29	5,60	0,39	2,17
Succión	7,94	2	3	75	71,40	1,98	4,92	0,10		0,10
Accesorios										0,95
Hf _{Total}										5,81

Para las pérdidas de carga en los accesorios, se utilizó los coeficientes de pérdida en accesorios (Tabla 5), y se fue determinando para cada tubería.

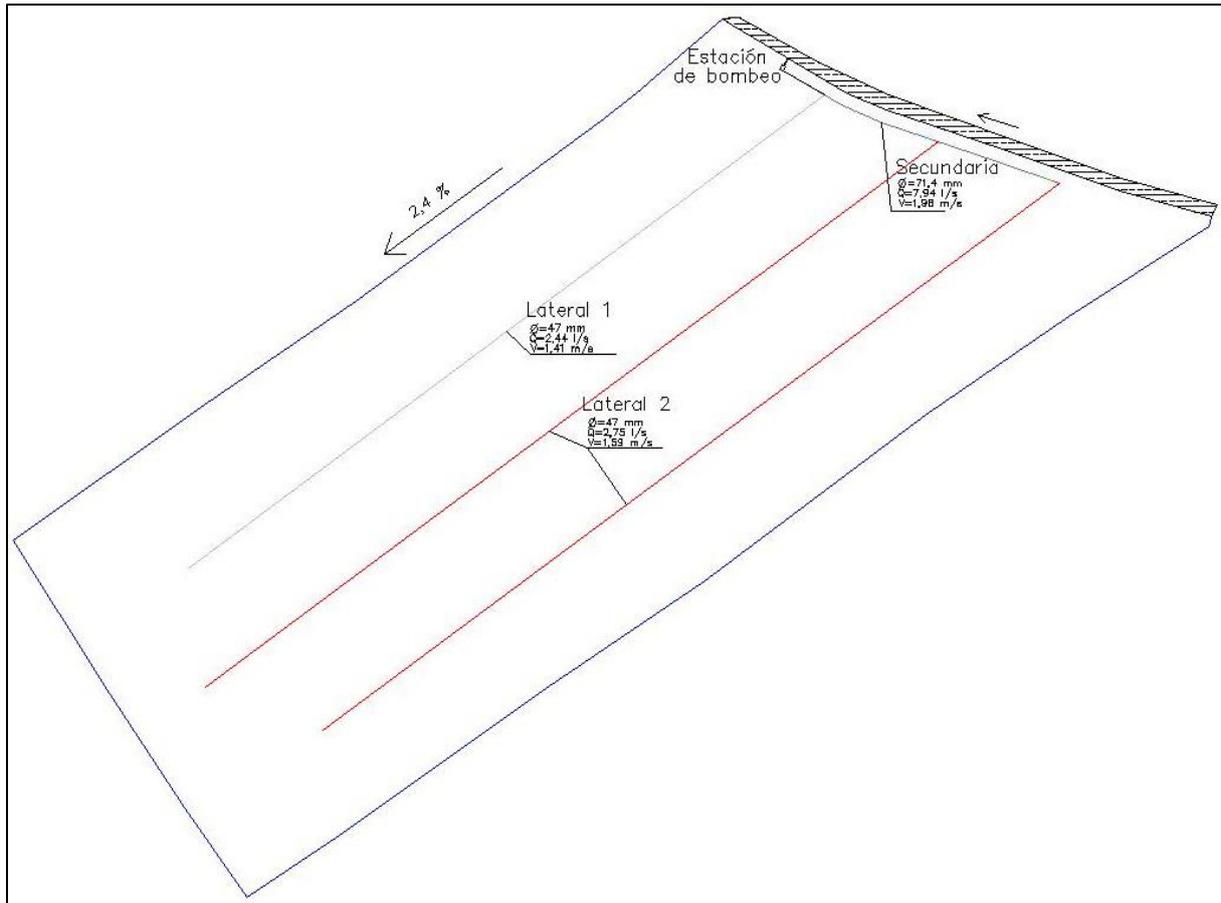


Figura 11. Laterales críticos.

En la figura 11, se muestran los laterales más críticos (lateral 2), debido a que presentan una longitud mayor y por ende necesitan mayor caudal y presión para suministrar de agua a los aspersores. Además, por estar ubicados al final de la tubería secundaria o múltiple, muestran una leve altitud, aludiendo que el agua necesita mayor energía.

► **Condición de diseño**

La diferencia de presiones entre los aspersores con máxima y mínima presión, no deben de superar el 20% de la presión nominal.

Presión al origen del lateral

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

$$\frac{P_o}{\gamma} = 25,5 \text{ m} + \left(\frac{3}{4} * 2,17 \text{ m}\right) - \frac{2 \text{ m}}{2} + 0,7 \text{ m}$$

$$\frac{P_o}{\gamma} = 26,83 \text{ m}$$

Presión al final del lateral

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

$$\frac{P_n}{\gamma} = 25,5 \text{ m} - \left(\frac{1}{4} * 2,17 \text{ m}\right) + \frac{2 \text{ m}}{2}$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = 25,96 \text{ m}$$

Las presiones en el lateral deben coincidir con la siguiente condición:

$$\frac{P_o}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} = h_f \leq 0,2 \frac{P_a}{\gamma}$$

$$26,93 \text{ m} - 25,86 \text{ m} = h_f \leq 0,2 * 25,5 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} \leq 5 \text{ m}$$

La diferencia de presiones en el lateral más crítico cumple con la condición de diseño, señalando que la pérdida en el lateral de 2,17 m, es menor que el rango permisible de 5,0 m.

4.2.5.1. Selección de la motobomba

En función de la carga dinámica total o altura manométrica, caudal de diseño y potencia, se seleccionó el tipo de motobomba a utilizar a partir de una tabla de selección rápida (Anexo 9).

▸ Carga dinámica total (CDT)

$$CDT = H_g + H_{asp} + P_a + H_{elev} + hf + hf_{succ} + hf_{acs} + hv$$

$$CDT = 0,1 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 25,5 \text{ m} + 0,7 \text{ m} + 1,17 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,95 \text{ m} + 0,1 \text{ m}$$

$$CDT = 29,11 \text{ m}$$

La carga dinámica total con la que funciona el sistema de riego es de 29,11 m, misma que se utiliza para la selección de la motobomba.

▸ Máxima ubicación de la motobomba sobre el espejo de agua (UB)

La altura máxima a la que se debe ubicar la motobomba, se determina mediante la siguiente ecuación:

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

$$UB = 8 \text{ m} - 3 \text{ m}$$

$$UB = 5 \text{ m}$$

Carga neta positiva de succión disponible

$$NPSH_{disp} = P_{atm} - P_{vapor} - hf_{succ} - hf_{acs \ suc}$$

$$NPSH_{disp} = 9,01 \text{ m} - 0,29 \text{ m} - 0,10 \text{ m} - 0,62 \text{ m} = 8 \text{ mca}$$

Estimación de la presión atmosférica y presión del agua.

$$P_{atm} = 10,3 - \frac{\text{Altitud}}{900} = 10,3 - \left(\frac{1160}{900}\right) = 9,01 \text{ mca}$$

$$P_{vapor} = 0,29 \text{ m, para una temperatura de agua de } 23 \text{ }^\circ\text{C (Anexo 14)}$$

Carga neta positiva de succión requerida

El $NPSH_{req}$ es de 3 m, según la curva característica de la motobomba que funciona a 3600 rpm (Anexo 10).

Por lo tanto, cumple con la condición, lo que garantiza que en la motobomba a seleccionar no se va a presentar el fenómeno de cavitación:

$$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req} + 0,5m$$

$$8 m \geq 2,5 m + 0,5m$$

► **Potencia requerida de la motobomba**

Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q * CDT}{\eta * 76}$$

$$P = \frac{7,94 \text{ l/s} * 29,11 \text{ m}}{0,65 * 76}$$

$$P = 4,68 \text{ HP}$$

La eficiencia de bombeo de 65 %, se determinó en función de la carga dinámica total y el caudal a partir de la curva característica de la motobomba (Anexo 10).

Se debe realizar una corrección, por motivo de que el motor de combustible de la bomba, va a funcionar a una altitud de 1160 msnm, por lo que se requiere una mayor potencia del motor.

$$P = 4,68HP * 1,18$$

$$P = 5,5 \text{ HP}$$

El 1,18 es el factor de corrección en función de la altitud (Anexo 11).

Según los resultados obtenidos se requiere una potencia de la motobomba de 5,5 HP, por lo que se seleccionó la motobomba Honda WH20X, que cuenta con una potencia comercial de 5,5 HP, que es la que se requiere. Se puede deducir que el sistema de riego funciona en óptimas condiciones, debido a que la motobomba seleccionada proporciona una presión de 42,84 mca que es mayor a la presión que necesita el sistema de riego de 29,11 mca (Anexo 19).

5. CONCLUSIONES

- ▶ En los predios del sector “El Salado”, caracterizados por suelos planos y con superficie, en su mayoría de 0,5 ha, se práctica una agricultura de subsistencia, donde predominan los cultivos de maíz, yuca, cebolla, caña y frutales. La producción mayoritariamente se destina al autoconsumo y el excedente se comercializa directamente del predio a los intermediarios. Los rendimientos son bajos, debido a varios factores, entre los que destacan, débil o casi nula capacitación en aspectos de planificación, mal manejo de las actividades agrícolas y fundamentos de comercialización, además de mantener el riego tradicional (gravedad), que por falta de tecnificación no ayuda a mejorar la producción.
- ▶ El predio, para el que se diseña el sistema de riego presenta un suelo con textura franco arcilloso (*FoAc*), con las siguientes propiedades hidrofísicas de CC de 34,18 %; PMP de 18,58 %; AA de 15,60 %; CA de 2,76 %; densidad aparente de $1,40\text{g/cm}^3$; y, estado poroso o de saturación de 36,94 %. La evaluación de la condición física del suelo, se clasifica dentro de la ZONA I, que se denomina como muy pobre, al no permitir las condiciones favorables para el desarrollo de las plantas.
- ▶ La demanda máxima del cultivo (*ETc*) es de 6,13 mm/día para el mes de agosto, para el cual se asumió una eficiencia de riego de 75 %, que es la óptima para un sistema de riego por aspersión.
- ▶ En el diseño agronómico, se estima una frecuencia de riego de 7 días, con un tiempo de riego de 7,0 h, para proveer una lámina de riego de 53,64 mm. Se seleccionó un aspersor modelo Naandanjain (5022 SD $\frac{1}{2}$ ” o $\frac{3}{4}$ ”), para el cual se eligió un marco de riego cuadrado, de (12 x 12) m; mismo que suministra una intensidad de precipitación de 7,6 mm/h, que es menor a la velocidad de infiltración básica de 16,7 mm/h y por ende cumple con la condición $I_p \leq V_{Ib}$, deduciendo una buena elección del aspersor.
- ▶ Para la superficie de riego de 0,58 ha se estimó 3 laterales, de los cuales por las condiciones del terreno se determinó un lateral con 8 aspersores y dos laterales con 9 aspersores.
- ▶ Para el diseño hidráulico se determinó la red de tubería principal, secundaria, lateral y elevador de PVC, con diámetros nominales de 3”, 3” y $1\frac{1}{2}$ ” y $\frac{3}{4}$ ”; respectivamente. Las pérdidas de carga por fricción en la red de tuberías son de 4,86 m y las pérdidas locales o por accesorios es de 0,95 m. El sistema de riego necesita una carga dinámica total de 29,11 m; lo cual permitió seleccionar el equipo motobomba (bomba centrífuga) marca Honda WH20X con una potencia de 5,5 HP.

6. RECOMENDACIONES

- ▶ Es importante que los agricultores del sector mantengan una planificación para la siembra de sus cultivos, con el fin de evitar que la demanda de un solo producto sea mayor en una cierta época; ya que esto ocasiona que la oferta del mismo baje y no se obtengan ganancias.
- ▶ Si la tubería de la red hidráulica es de PVC, se recomienda que queden enterradas a un mínimo de 0.3 m, para evitar daños por acción de tipo de maquinaria agrícola.
- ▶ Ejecutar un estudio de rentabilidad para la producción de maíz, utilizando un sistema de riego por aspersión y extracción de agua con una motobomba.
- ▶ Para la selección de la motobomba, es necesario conocer la altura del lugar de estudio para evitar cavitación.
- ▶ Si el suelo tiene problemas de compactación, es necesario desarrollar acciones correctivas como el cultivo de plantas que cubran la mayoría de superficie con un coste reducido, el cultivo de plantas que se ajusten al pH del suelo, labranza cero, entre otros.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AGRIZON. (2019). *Insecticidas—Curacron*. <https://www.e-agrizon.com/producto/curacron-200-lts/>
- AGROSÍNTESIS. (2016). Riego por goteo en el cultivo de maíz. *Revista AgroSíntesis*.
<https://www.agrosintesis.com/riego-goteo-cultivo-maiz/>
- AGROTENDENCIA. (2018). *Agrotendencia.tv: El Cultivo de Limón - Producción y Cultivo, Estadísticas, Historia y Más*. Agrotendencia.tv. <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-limon/>
- Aguilar, E. (2017). *Manual del cultivo de Yuca* (p. 96).
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf>
- Alocén, J. C. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. *Honduras*, 218.
- Alvarado, J. (2013). *Estudio de factibilidad para producción de cebolla (Allium cepa. L) variedad “Paiteña” en Penipe-Chimborazo* [Tesis, Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2027/1/106195.pdf>
- Amancha, E. (2015). *Determinación de la permeabilidad de los suelos basados en la metodología del infiltrómetro en mini disco en la zona de Yanahurco, Napo*. Universidad Central del Ecuador.
- Arroyo, M. M. (2017, septiembre 11). *El Riego Inteligente en la agricultura* [Text]. iAgua.
<https://www.iagua.es/blogs/manuel-martin-arroyo/riego-inteligente-agricultura>
- Ávila, M. (2018). *Estrategias de mercadeo y comercialización de maíz blanco (Zea mays L.) en el cantón Loja, provincia de Loja* [Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/20571/1/Mercy%20Cecilia%20C3%81vila%20Andrade.pdf>
- Basantés, E. R. (2015). *Manejo de cultivos andinos del Ecuador*.
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>
- BCE. (2018). *Reporte de coyuntura sector agropecuario*.
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc201801.pdf>
- Bravo, N. (2014). *Análisis de costos en la labor de fertilización en el sostenimiento del cultivo de caña de azúcar en el Ingenio Monterrey*. [Universidad Nacional de Loja].

- http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/13935/1/TFG_FBS%20FINAL.pdf
- Cadena, V. H. (2016). *Hablemos de Riego*. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Calvache, M. (2015). *Manejo del Agua: Principios Fundamentales*. 28.
- Carrión, J. C. (2013). *Evaluación de la cuarta rotación del sistema de cultivo en callejones de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. En la estación experimental el Padmi* [Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5223/1/EVALUACI%C3%93N%20DE%20LA%20CUARTA%20ROTACI%C3%93N%20DEL%20SISTEMA%20DE%20CULTIVO.pdf>
- Carvajal, R. R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*. 24.
- Chow, J. (2006). *Método fácil de diseño de riego por goteo*.
https://www.academia.edu/35689307/M%C3%A9todo_F%C3%A1cil_de_Dise%C3%B1o_de_Riego_por_Goteo_MEFADERG_%C3%8Dndice_Contenido
- Cisneros, R. (2003). *Apuntes de Riego y Drenaje* (p. 164). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
<http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>
- Córdova, F. (2013). *Principios fundamentales del riego por gravedad en el cultivo de caña de azúcar*. Ecuador. <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/hIucocdHmOXgSBKiKrovMaaAxFGkVeHJ>
- CRÓNICA. (2019). *Cebolla, sobreproducción no beneficia precio al consumidor*.
<https://www.cronica.com.ec/entretenimiento/repo/item/24664-cebolla-sobreproduccion-no-beneficia-precio-al-consumidor>
- Cucho, E. (2018). *Diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado en las áreas verdes del condominio el nuevo rancho, distrito de Miraflores, Lima- Lima* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/8861/Cucho_re.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Delgado, G. (2012). *Determinación de la lámina de riego para el cultivo de la Albahaca Genovesa (*Ocimum basilicum* "Genovese".) a partir de la variación del coeficiente multiplicador de la evaporación*.
<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9017/1/CB-0478859.pdf>

- Demin, P. E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf
- Durand Rojas, G. (2017). *Evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen en riego por aspersión con línea lateral unitaria en el distrito Huambo, provincia Caylloma, región Arequipa* [Tesis]. Universidad Católica de Santa María.
- EcuRed. (s. f.). *Sistema de Riego*. Recuperado 19 de julio de 2019, de
https://www.ecured.cu/Sistema_de_Riego
- EcuRed. (2015, diciembre 11). *Riego por aspersión*.
https://www.ecured.cu/Riego_por_aspersi%C3%B3n
- Egüez, J., & Pintado, P. (2011). *Guía para la producción de maíz en la Sierra sur del Ecuador*. Cuenca. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2317/1/BD406.pdf>
- ELMUNDO. (2017, marzo 27). *Tecnología israelí para cultivar hasta en el desierto*. ELMUNDO. <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2017/03/27/58d80f4c268e3e53178b45dd.html>
- EMA. (2018). *Registro de predios*. <http://ambato-ema.gob.ec/wp-content/uploads/2018/06/viernes15.pdf>
- Eurosur. (s.f.). *El riego en América Latina*.
http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif60.htm
- FAO. (s. f.). *Manual de Riego Parcelario*. Recuperado 6 de agosto de 2019, de
http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reccat/pdf/MR_cap1.PDF
- FAO. (2003, marzo). *Mejorar la tecnología de riego*.
<http://www.fao.org/ag/esp/revista/0303sp3.htm>
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- FAO. (2014). *Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política* (S. Salcedo & L. Guzmán, Eds.). <http://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>
- FAO. (2019a). *El trabajo de la FAO en la agricultura familiar*.
<http://www.fao.org/3/ca1465es/CA1465ES.pdf>
- FAO. (2019b). *Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/?fbclid=IwAR2_7zA0avoMrFY8_oT8L4Zo7c78n4ZZWoiFGhndxfxt8V8wKqaOZOImvFk

- Fernández, R., Milla, M., Ávila, R., Berengena, J., Gavilán, P., & Oyonarte, N. (2010). *Manual de riego para agricultores Módulo 2*. Junta de Andalucía, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_baja.pdf
- Fernández, R., Oyonarte, N., García, J., & Milla, M. (2010). *Riego por aspersión*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca.
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersion.pdf
- Flores, J. (2016). Avances en la tecnificación del riego por gravedad. *HORTALIZAS*.
<https://www.hortalizas.com/irrigacion/avances-en-la-tecnificacion-del-riego-por-gravedad/>
- Gaceta. (2015). *La importancia de proteger los recursos hídricos*.
<https://www.lagaceta.com.ar/nota/631212/opinion/importancia-proteger-recursos-hidricos.html>
- Gaete, L. (2001). *Manual de diseño de sistema de riego tecnificado*.
- Gallegos, C. P. (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* [Tesis, Universidad Nacional de Loja].
https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12733/1/CRISTIAN_PEDRO_GALLEGOS_D%c3%8dAZ.pdf
- García, M. (2011). Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15(2).
http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2301-15482011000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- García, P., Puppo, L., Hayashi, R., & Morales, P. (2012). *Agua en el suelo*.
<http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/AGUA%20EN%20EL%20SUELO.pdf>
- Gómez, J. A. G., & Cadena, M. C. (2017). Validación de las fórmulas de evapotranspiración de referencia (ET_o) para Colombia. *Colombia*, 47.
- IMPORTANCIA. (s. f.). *Importancia de los Recursos Hídricos*. Importancia. Recuperado 18 de julio de 2019, de <https://www.importancia.org/recursos-hidricos.php>
- IMTA. (2010). *Riego por gravedad*. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Riego-por-gravedad.pdf>

- INEC. (2016). *Módulo Ambiental de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2016*. 12.
- INIA. (2000). *Inserción del riego en rotaciones de cultivos y pasturas*.
- INIA. (2009). *Eficiencia de riego en sistemas localizados*.
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36474.pdf>
- INIAP. (2014). *CULTIVO DE YUCA EN EL ECUADOR*. 28.
- INTEREMPRESAS. (2017). *La práctica de riego por goteo en el cultivo de cebolla*.
<https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/184662-La-practica-de-riego-por-goteo-en-el-cultivo-de-cebolla.html>
- INTEREMPRESAS. (2019). *Nuevas tecnologías para un riego más eficiente*. Interempresas.
<https://www.interempresas.net/Vitivinicola/Articulos/232386-Nuevas-tecnologias-para-un-riego-mas-eficiente.html>
- Ipurre, G. E. (2017). *Mejoramiento del sistema de riego para el sector Llushcapampa Baja, distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, región Cajamarca* [Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://core.ac.uk/reader/162862418>
- Jiménez, R. (2019). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José* [Tesis]. Universidad Nacional de Loja.
- Larrea, D., Villegas, H., Toscano, E., & Duque, S. (2014). *La tecnificación de la agricultura familiar bajo riego en Ecuador*. <http://www.camaren.org/documents/archivo2.pdf>
- lorencholll. (2010). *Hidráulica*. <https://es.slideshare.net/lorencholll/hidraulica>
- Macías, M., Vergara, M., Macías, V., & Bazurto, M. (2011). *Adaptación e instalación de un sistema de riego por aspersión, para cultivos comerciales establecidos en la comunidad El Milagro del cantón Portoviejo* [Tesis, Universidad Técnica de Manabí].
https://www.academia.edu/9255273/UNIVERSIDAD_T%C3%89CNICA_DE_MANAB%C3%8D_FACULTAD_DE_INGENIER%C3%8DA_AGR%C3%8DCOLA
- Martin, E. C. (2000). *Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del Riego ¿Cuándo?* 9.
- Martínez, S. (2015). *Implementación de un Sistema de Riego por Goteo en la Granja Experimental de Agroempresas de la Universidad San Francisco de Quito en Puenbo- Pichincha* [Universidad San Francisco de Quito USFQ].
<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6396/1/130564.pdf>
- Meca, J. (2012). *Análisis financiero de los costos de producción y comercialización de cebolla paiteña en la finca Sandy, de la parroquia Limones, cantón Zapotillo* [Tesis,

- Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5511/1/Meca%20Brice%C3%B1o%20Jos%C3%A9.pdf>
- Mendoza, J., & Bermúdez, J. (2015). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por microaspersión en café (Coffea arábica L.) en la ESPAM MFL*. [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López].
<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/456/1/TA50.pdf>
- Núñez, A. (2015). *Cuadernillo de cálculo de eficiencia para sistemas de riego* (DGIAR).
https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/cuadernillo_eficiencia_dgiar.pdf
- Ojeda, A., Leod, C. M., Águila, K., & Pino, M. T. (2018). *Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico*. 6.
- Oviedo, A., & Liotta, M. (2013). *Riego por goteo en Olivo. Argentina*.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_hoja_informativa_riego_por_goteo_olivo-_julio_.pdf
- Palma, D. (2015). *Análisis productivo y económico de panela en bloque, miel y alcohol en la asociación de cañicultores orgánicos amazpnas del recinto Tres Palmas, provincia de Sucumbios* [Tesis, Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/14017/1/BIBLIOTECA%20-%20copia.pdf>
- PDOT. (2012, 2022). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Catamayo*. 654. <https://es.slideshare.net/gobiernodecatamayo/pdyot-catamayo-20122014>
- PDOT. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Loja, 2014*, 416.
- PDOT. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja*.
<https://prefectura.loja.gob.ec/documentos/lotaip/2019/PDOT-2019.pdf>
- PDYOT. (2014, 2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de Catamayo*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160000400001_GADM%20Catamayo%20PDyOT%202014-2019_13-03-2015_21-07-42.pdf
- Pereira, L., D Juan Valero, J., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). *El riego y sus tecnologías*.
http://crea.uclm.es/crea/descargas/_files/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf?fbclid=IwAR2Gmw5Cu4TfCzHqZdmGmPvvIYH0rGYbCqCXZ1Knf151oj13nxjCQBE5t0w

- Pérez, J., & Merino, M. (2016). *Definición de recursos hídricos*. Definición.de.
<https://definicion.de/recursos-hidricos/>
- Quezada, M. (2017). *Estudio de la cadena de valor de la caña de azúcar. Caso Ingenio Monterrey, cantón Catamayo*. [Universidad Técnica Particular de Loja].
<http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/20815/1/Quezada%20Rios%2C%20Michelle%20Stephanie.pdf>
- Quishpe, B. (2010). *Evaluación de la producción de 2 variedades experimentales en etapa fenológica (choclo) y seco, de maíz (Zea mays) de grano blanco harinoso, y un híbrido simple, frente al testigo local, en Loja—Ecuador* [Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4740/1/UPS-CT001979.pdf>
- Rivera, S. (2016). *La sostenibilidad del recurso hídrico en el Ecuador análisis multicriterial de la gestión del agua* [Facultad latinoamericana de ciencias sociales sede Ecuador].
<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/10469/9108/TFLACSO-2016SIRP.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*.
<https://luisalderonf.files.wordpress.com/2012/01/hidraulica-de-tuberias-y-canales.pdf>
- Román, F., Bleuze, S., Juan, G., Doornbos, B., Mosquera, T., & Rivera, H. (2011). *Plan Nacional de Riego y Drenaje (PNRD)*.
<http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002>
- Salvatiera, J. (2018). *Medición de caudal*.
https://www.slideshare.net/jhonsversalvatiera/95004915-informemediciondecaudal?fbclid=IwAR1ujDptJu0CNwKGB2NgUtmd7E9F5058fnVGeuKs90uz7z7gAaI0HTBN_0A
- Sánchez, R. M., & Pezzola, N. A. (2013). *Riego por goteo en el cultivo de cebolla*. 9.
- SENPLADES. (2014). *Territorio y Descentralización: Competencia de Riego y Drenaje*.
<https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/01/Territorio-y-Descentralizaci%C3%B3n-Riego-Drenaje.pdf>
- Silva, P., Silva, H., Garrido, M., & Acevedo, E. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. Santiago de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

- Sinche, K. N. (2016). *Evaluación productiva y económica en la producción de la Maracuya (Passiflora edulis), en el sector La Capilla, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja*. [Universidad Nacional de Loja].
<http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/9201/1/KARLA%20NARCISA%20SINCHE%20ORD%C3%93%C3%91EZ.pdf>
- Tarjuelo, J. (2005). *El riego por aspersión*.
https://ruralcat.gencat.cat/migracio_resources/633281_tarjuelo.pdf
- TecnoRiego. (s. f.). *Cultivo de Maíz*. TecnoRiego. Recuperado 12 de agosto de 2020, de
<http://www.tecnoriego.com.ec/maiz>
- TIGRE. (2011). *Polietileno*. 32.
- Ureña, G. del C. (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* [Tesis, Universidad Nacional de Loja].
https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19355/1/Gabriela%20del%20Cisne%20Ure%c3%b1a%20Ordo%c3%b1ez.pdf?fbclid=IwAR1Ds2SZR_Zm_-TNV6-CMFMAUJpWDpWrYfgG3OmmbDx8K6TN5Ik3TMfg0d8
- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., & Guaya, P. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador*.
- Vallecillo Kühl, H. E. (1999). *El riego por aspersión*.
https://www.academia.edu/31503904/El_Riego_por_Aspersi%C3%B3n
- Villafáfila, E., & Wyss, V. (2009). *Riego en Horticultura*.
<https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-riego-en-horticultura.pdf>

8. ANEXOS

Anexo 1. Aforo del caudal del canal de riego.



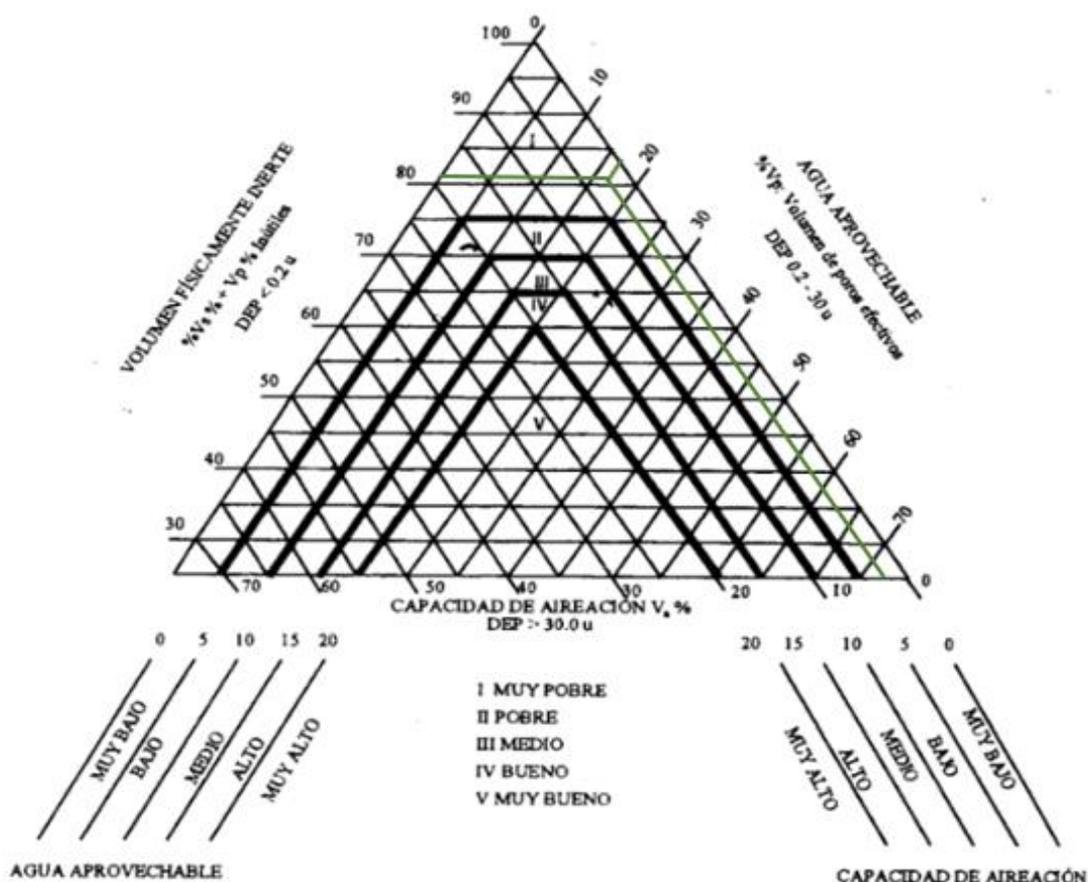
Anexo 2. Levantamiento topográfico.



Anexo 3. Medición de la velocidad de infiltración.



Anexo 4. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.



Volumen total de poros (VTP)

VTP = pF 0 (saturación = porosidad)

VTP = 36,94 %

Volumen total de sólidos (VTS)

VTS = 100 % – Saturación (macroporos + microporos)

VTS = 100 % – VTP

VTS = (100 – 36,94) %

VTS = 63,06 %, volumen ocupado por las partículas del suelo.

Capacidad de aireación (CA)

CA = Saturación – CC (Capacidad de campo)

CA = (36,94 – 34,18) %

CA = 2,76 %

Volumen físicamente inerte (VFI)

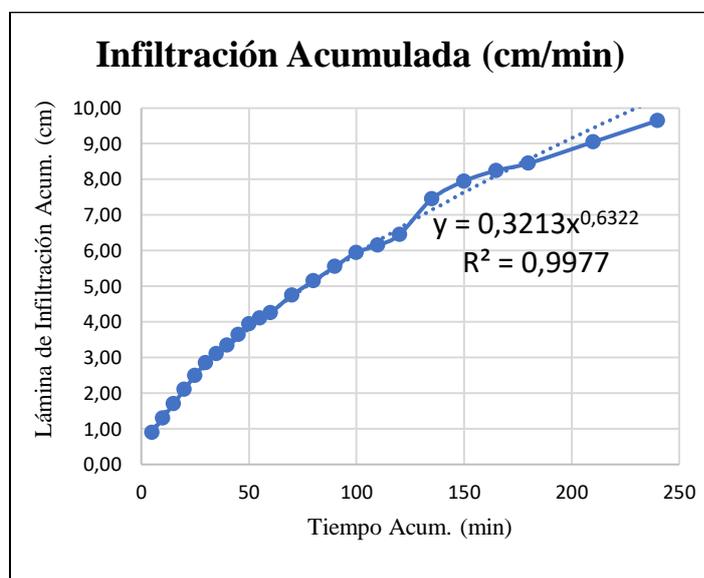
VFI = [100 – (VTP – PMP)]; PMP = Punto de marchitez permanente

VFI = [100 – (36,94 – 18,58)] %

VFI = 81,64 %

Anexo 5. Velocidad de infiltración de la zona de estudio.

Nro. Datos	Tiempo (min)	T. Acum (min)	Lámina de Infiltración (cm)	I. Acum (cm)	Velocidad Inf. Inst. (cm/min)
1	5	5	0,90	0,90	0,18
2	5	10	0,40	1,30	0,08
3	5	15	0,40	1,70	0,08
4	5	20	0,40	2,10	0,08
5	5	25	0,40	2,50	0,08
6	5	30	0,35	2,85	0,07
7	5	35	0,25	3,10	0,05
8	5	40	0,25	3,35	0,05
9	5	45	0,30	3,65	0,06
10	5	50	0,30	3,95	0,06
11	5	55	0,15	4,10	0,03
12	5	60	0,15	4,25	0,03
13	10	70	0,50	4,75	0,05
14	10	80	0,40	5,15	0,04
15	10	90	0,40	5,55	0,04
16	10	100	0,40	5,95	0,04
17	10	110	0,20	6,15	0,02
18	10	120	0,30	6,45	0,03
19	15	135	1,00	7,45	0,07
20	15	150	0,50	7,95	0,03
21	15	165	0,30	8,25	0,02
22	15	180	0,20	8,45	0,01
23	30	210	0,60	9,05	0,02
24	30	240	0,60	9,65	0,02



$$I_{cum} = A * t^B \quad \text{Ecuación potencial positiva}$$

$$A = 0,3213$$

$$B = 0,6322$$

$$I_{inst} = a * t^b \quad \text{Ecuación potencial negativa}$$

$$a = 0,2031259 \text{ cm/min}$$

$$b = -0,3678$$

$$a = A * (b + 1)$$

$$b = B - 1$$

$$I_{bas} = a(-600 b)^b$$

$$\text{Para } I_{bas} = \frac{dI}{dt} = -0,1I$$

$$t_{bas}(h) = -10b$$

$$t_{bas}(h) = 3,678$$

$$t_{bas}(\text{min}) = 220,68$$

$$\nabla 0,02790803 \text{ cm/min}$$

$$1,7 \text{ cm/h}$$

$$16,7 \text{ mm/h}$$

Anexo 6. Evapotranspiración de referencia, según el programa Cropwat.

The screenshot shows the 'ETo Penman-Monteith Mensual' software interface. The input fields are: País: ECUADOR, Estación: CATAMAYO, Altitud: 1230 m., Latitud: 3.99 °S, Longitud: 79.37 °W. Below the input fields is a table with 8 columns: Mes, Temp Min (°C), Temp Max (°C), Humedad (%), Viento (km/día), Insolación (horas), Rad (MJ/m²/día), and ETo (mm/día). The table lists data for each month from Enero to Diciembre, with a final row for the 'Promedio' (Average).

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	15.3	33.3	61	94	11.5	27.2	5.66
Febrero	15.5	33.0	65	88	11.2	27.3	5.62
Marzo	15.9	33.1	64	85	11.0	26.8	5.54
Abril	15.1	33.1	65	96	11.3	26.0	5.37
Mayo	14.6	32.8	62	102	11.3	24.3	4.99
Junio	14.1	32.4	56	112	11.2	23.2	4.83
Julio	13.3	32.4	52	123	11.6	24.1	5.07
Agosto	13.6	33.3	50	123	11.9	26.1	5.57
Septiembre	14.4	34.2	53	123	12.1	27.9	6.03
Octubre	14.9	34.4	57	112	12.1	28.4	6.10
Noviembre	13.4	34.4	59	104	12.9	29.2	6.09
Diciembre	15.0	34.3	61	96	12.1	27.8	5.82
Promedio	14.6	33.4	59	105	11.7	26.5	5.56

Anexo 7. Datos de las fases fenológicas y Kc, según Ureña (2017).

Etapas fenológicas	Días	Días Acum	Kc
		0	0,64
Fase Inicial	8	8	0,64
Fase de crecimiento	53	61	1,07
Fase de desarrollo	35	96	1,07
Fase final	21	117	0,77

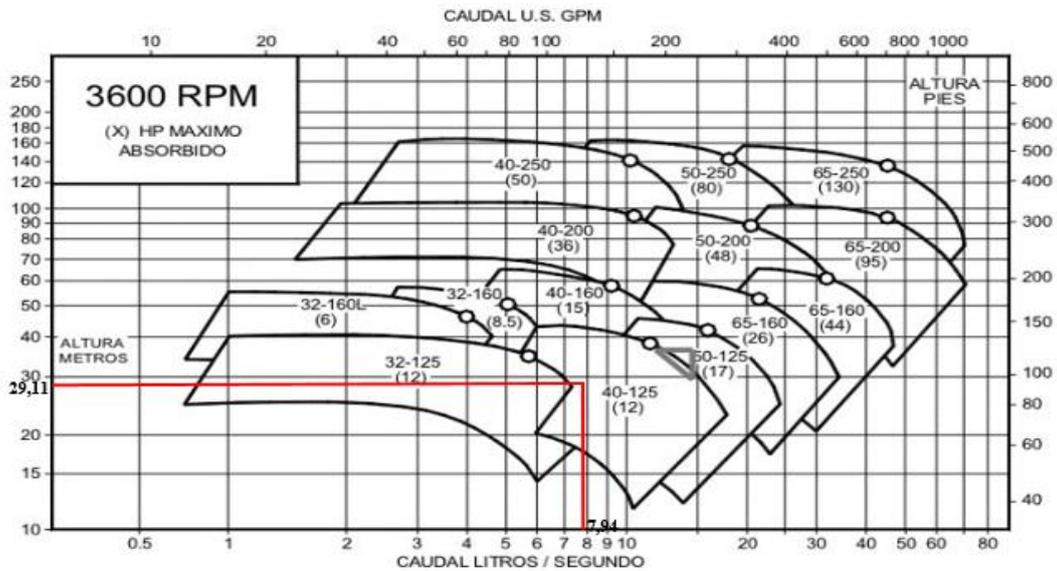
Anexo 8. Factor de corrección del caudal.

Tipo de canal o río	Factor de corrección (K)
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15 cm.	0,8
Canal de tierra, profundidad del agua > 15 cm.	0,7
Río o riachuelo, profundidad del agua > 15 cm.	0,5
Ríos o canales de tierra, profundidad del agua < 15 cm.	0,25 - 0,5

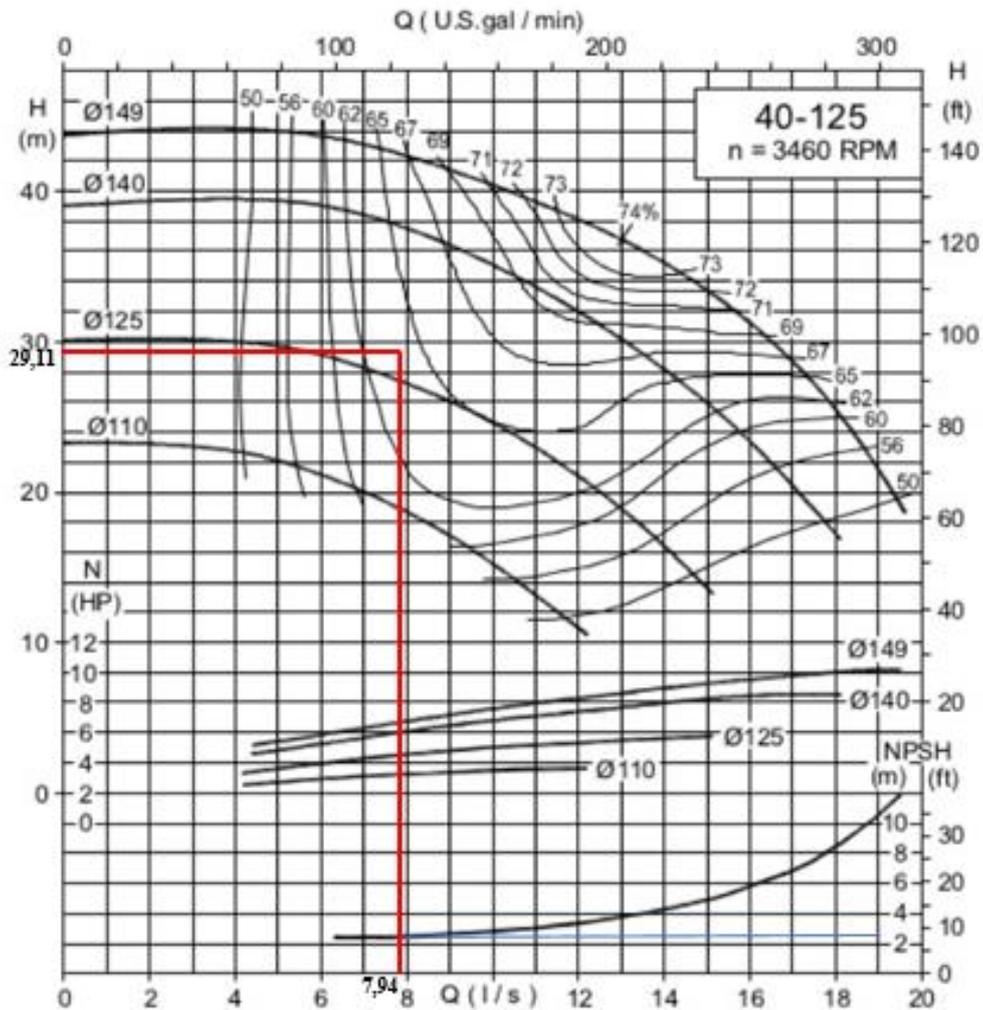
Fuente: (Salvatiera, 2018)

Anexo 9. Tabla de selección rápida de la motobomba.

ABACO DE SELECCION A 3600 RPM:



Anexo 10. Estimación de la eficiencia de la motobomba y el NPSH requerido.



Anexo 11. Coeficiente 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); citado en R. Jiménez (2019)

Anexo 12. Características del aspersor seleccionado.

5022 SD



Sistemas IrriStand
Aspersor plástico de impacto,
1/2" macho o 3/4" hembra en
elevador



Aplicaciones: riego y germinación de vegetales, flores y cultivos de viveros.

- Diseño único de aspersor-martillo SD (super difusor) para un rango extra de cobertura
- SD - Diseñado para lograr un rendimiento óptimo y para disponer de una forma de corriente adecuada para bajas presiones. Una respuesta única al último tornillo difusor
- Gran uniformidad de distribución, hasta 14 metros
- Mayor resistencia al viento
- Diseñado para ciclos cortos de riego para germinación
- Boquillas a bayonetas codificadas por color para un sencillo servicio
- Materiales plásticos de alto impacto y alta carga de trabajo, resistentes a la corrosión, a los productos químicos y a la radiación

Amirit

PVC elevador 3/4" x 70cm
LPO 1/2" disco en la pág. 18

5022SD Tabla de Performance - Boquilla Doble, Largo SD (negro)

Color de boquilla (mm)	P (bar)	Q (m ³ /h)	D (m)	Espaciamento (m)				
				10x10	10x12	12x12	12x14	14x14
3.0x1.8 Rojo	2.5	0.760	21.0	7.6	6.3	5.3		
	3.0	0.840	22.0	8.4	7.0	5.8		
	3.5	0.900	23.0	9.0	7.5	6.3		
	4.0	0.970	22.0	9.7	8.1	6.7		
3.2x1.8 Verde	2.5	0.820	21.0	8.2	6.8	5.7		
	3.0	0.900	22.0	9.0	7.5	6.3		
	3.5	0.980	23.0	9.8	8.2	6.8		
	4.0	1.040	23.0	10.4	8.7	7.2		
3.5x1.8 Azul	2.5	0.890	23.0	8.9	7.4	6.2	5.3	
	3.0	0.990	23.0	9.9	8.3	6.9	5.9	
	3.5	1.060	24.0	10.6	8.8	7.4	6.3	
	4.0	1.150	24.0	11.5	9.6	8.0	6.8	
4.0x1.8 Negro	2.5	1.100	24.0	11.0	9.2	7.6	6.5	5.6
	3.0	1.220	25.0	12.2	10.2	8.5	7.3	6.2
	3.5	1.330	25.0	13.3	11.1	9.2	7.9	6.8
	4.0	1.430	26.0	14.3	11.9	9.9	8.5	7.3

Boquilla trasero: 1.8 - Verde brillante

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

* Tabla de rendimiento preparada bajo condiciones de laboratorio

* En condiciones de viento, utilice un espaciamento más estrecho

Anexo 13. Velocidad del viento del lugar de estudio.

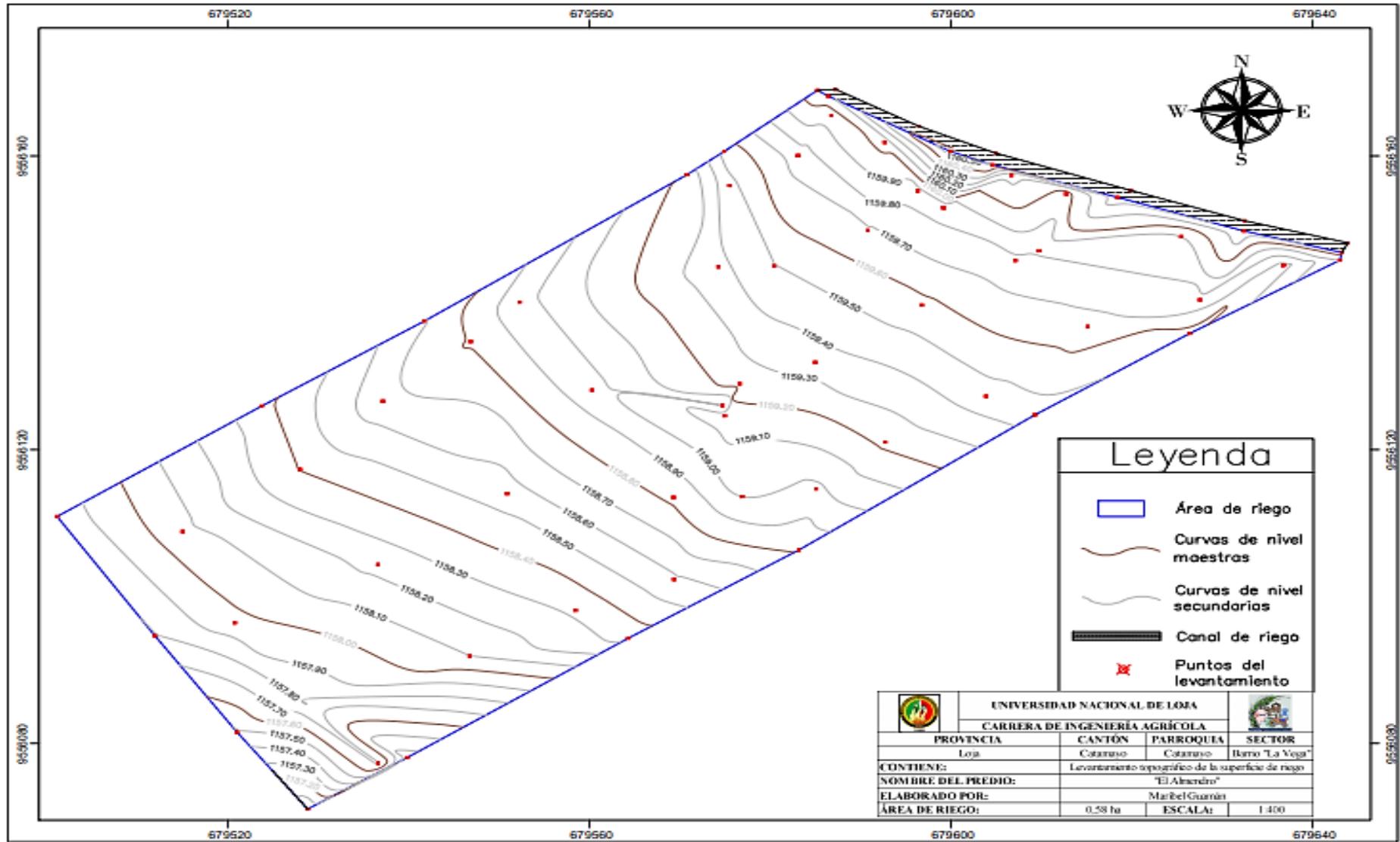
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
Velocidad del viento (m/s)	1,1	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2

Anexo 14. Presión de vapor del agua en función de su temperatura.

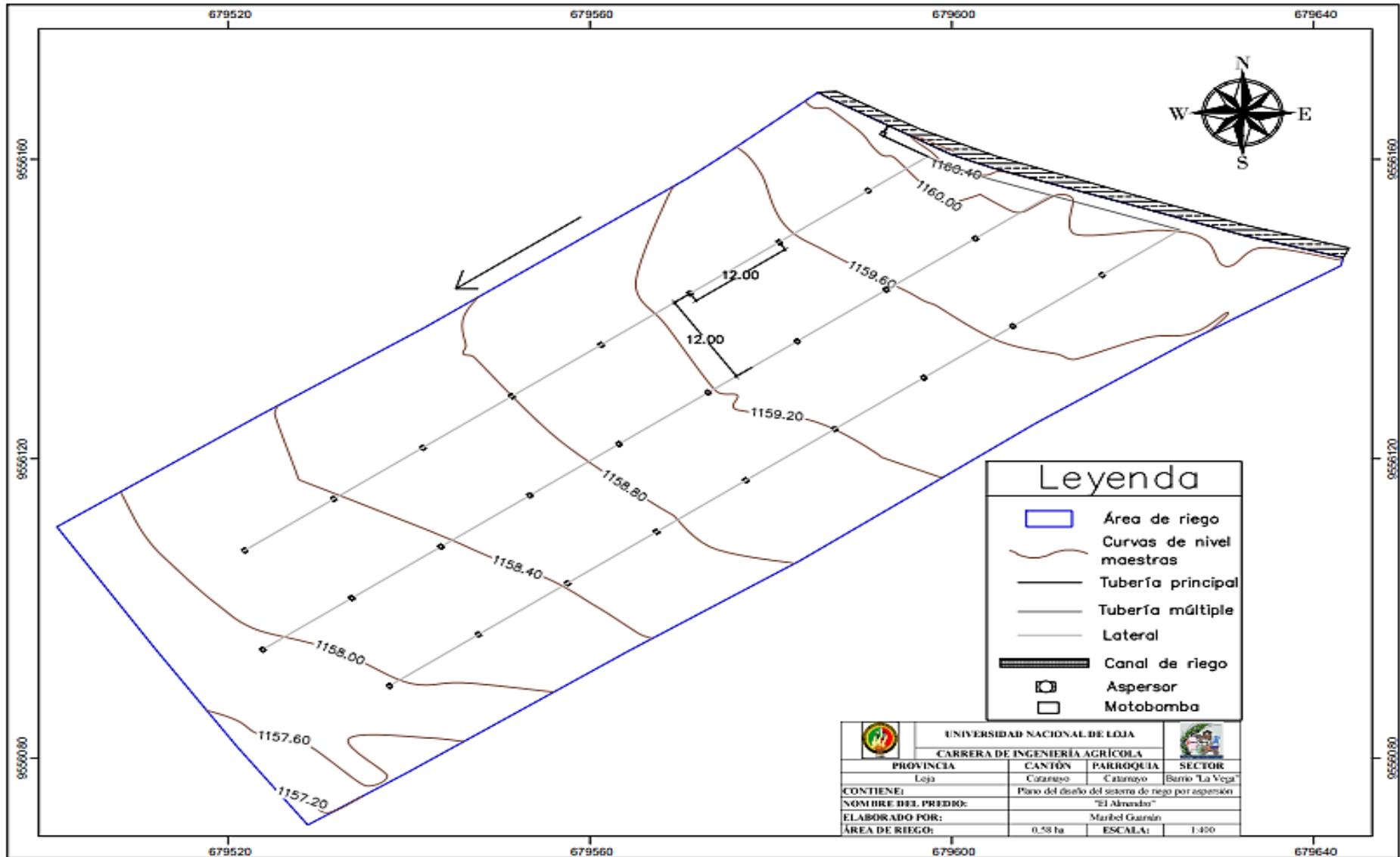
<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Presión de vapor (torr)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Presión de vapor (torr)</i>
0	4.6	23	21.1
1	4.9	24	22.4
2	5.3	25	23.8
3	5.7	26	25.2
4	6.1	27	26.7
5	6.5	28	28.3
6	7.0	29	30.0
7	7.5	30	31.8
8	8.0	35	42.2
9	8.6	40	55.3
10	9.2	45	71.9
11	9.8	50	92.5
12	10.5	55	118.0
13	11.2	60	149.4
14	12.0	65	187.5
15	12.8	70	233.7
16	13.6	75	289.1
17	14.5	80	355.1
18	15.5	85	433.6
19	16.5	90	525.8
20	17.5	95	633.9
21	18.7	100	760.0
22	19.8	105	906.1

Fuente: Sienko, M.J.; Plane, R.A. Química. Editorial Aguilar, Barcelona, 1967.

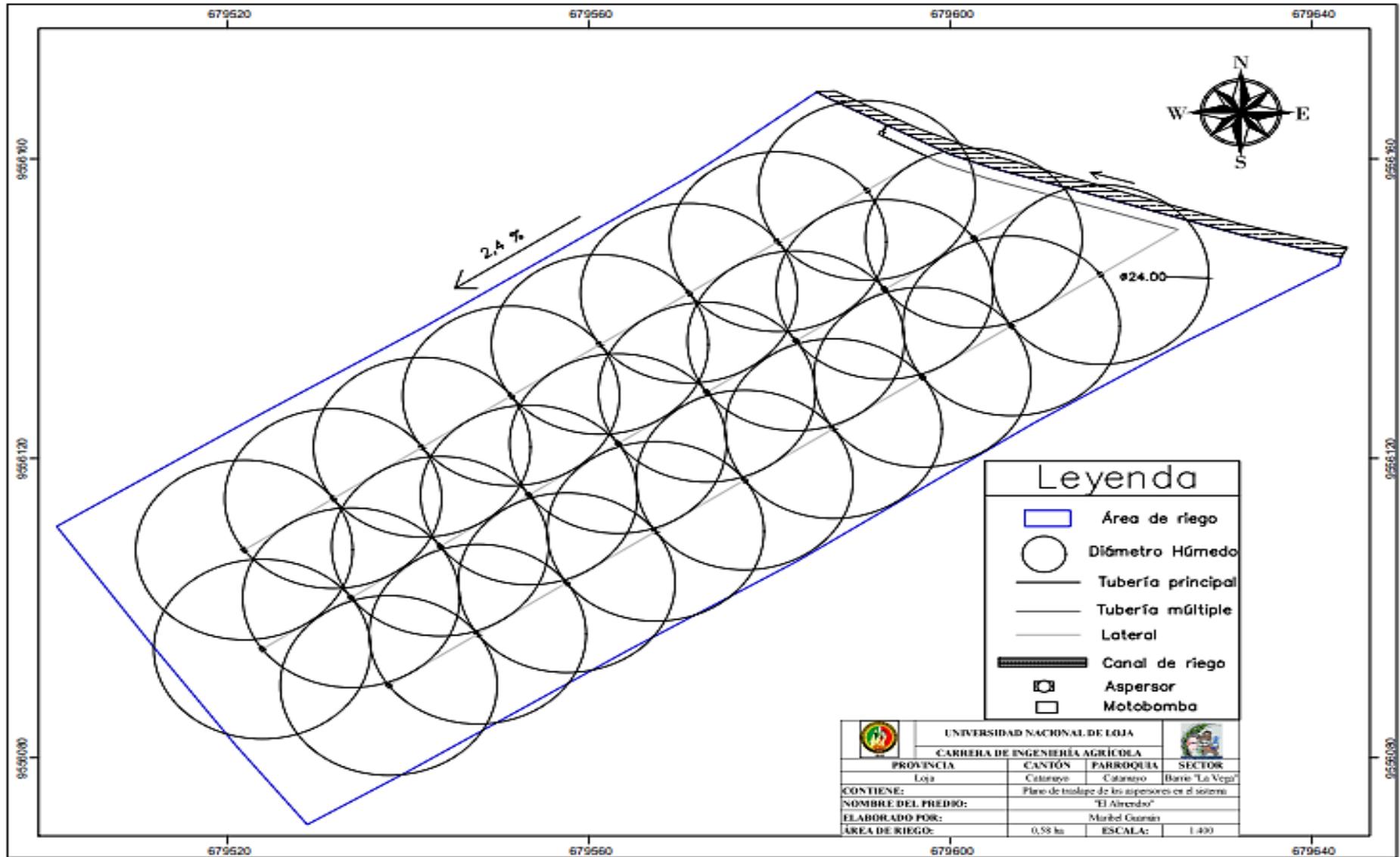
Anexo 15. Plano del levantamiento topográfico.



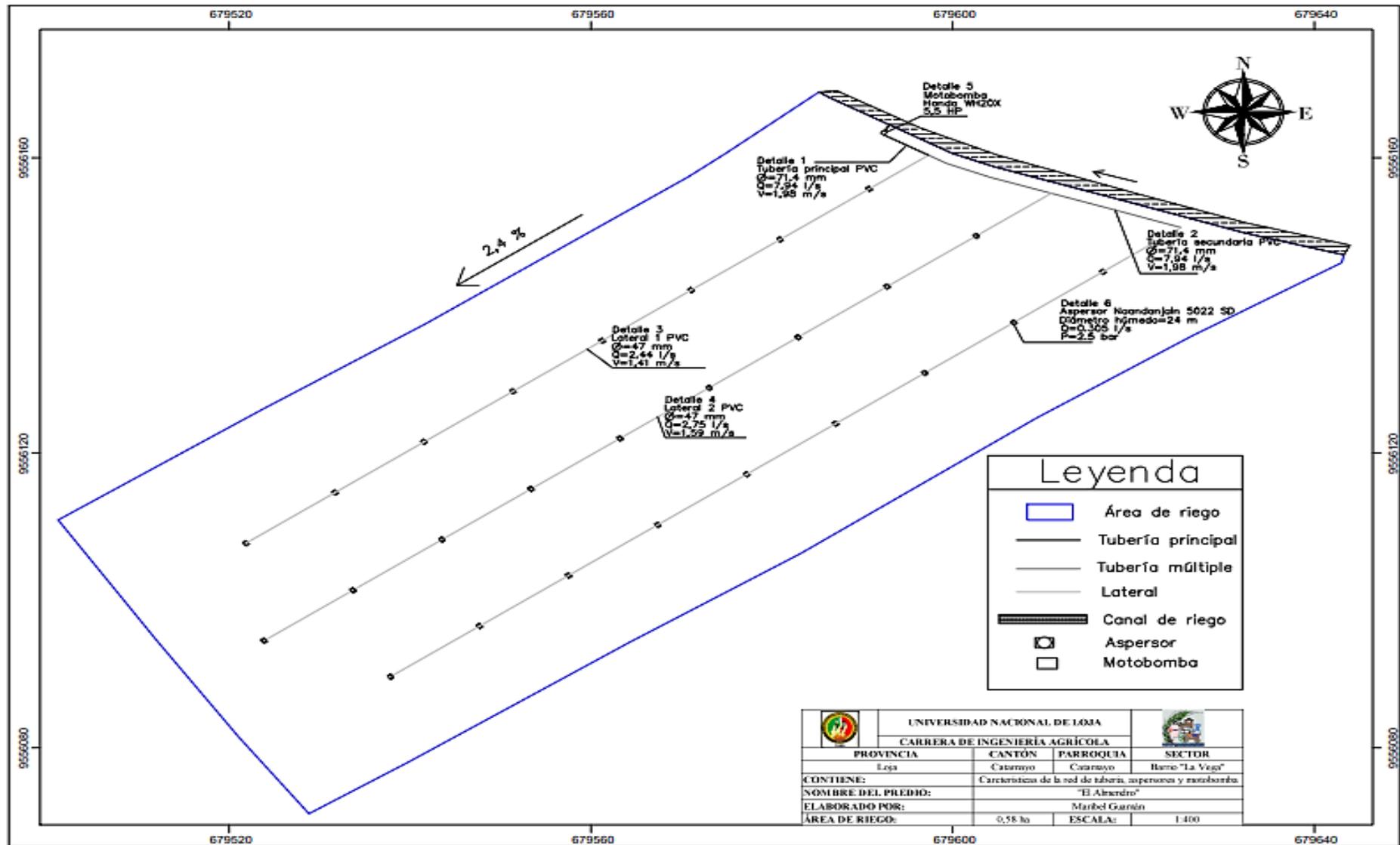
Anexo 16. Plano del diseño del sistema por aspersión.



Anexo 17. Plano de traslape de los aspersores.



Anexo 18. Detalles de la red de tuberías, aspersores y motobomba.



Anexo 19. Características técnicas de la motobomba.

Motobomba WH20X Alta Presion

Bomba centrífuga de 1.5" de alta presión, equipada con motor de 5.5 HP. Esta bomba de elevada performance brinda alta presión en aplicaciones tales como sistemas de riego.



Ficha Técnica

Motor

Tipo de Motor	GX160 - OHV 4 Tiempos - Refrigerado por aire
Cilindrada	163 cm ³
Potencia Neta	4,8 HP (3,6 Kw) a 3600 rpm
Encendido	Transistorizado
Arranque	Manual

Bombas de Agua

Tipo de Bomba	Centrifuga auto cebante
Voluta	Hierro Fundido
Carcaza	Hierro Fundido
Tipo de sello	Carbono / Cerámica
Tiempo de cebado	60 seg. a 5 mts
Caudal de descarga	500 lts./min.
Diámetro de succión	2" NPT
Diámetro de descarga	2" NPT
Altura máxima de bombeo	50 mts.
Altura máxima de succión	7,9 mts.
Presión máxima	4,2 bar

Dimensiones

Ancho	400 mm
Largo	520 mm
Alto	450 mm
Peso en seco	27 Kg.

Otras Especificaciones

Capacidad de combustible	3,1 lts.
Consumo Especifico de Combustible	1,4 lts /hs. a 3600 rpm
Capacidad de aceite	0,6 lts.
Alerta de Aceite	Si

Anexo 20. Encuesta aplicada.

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**ENCUESTA: CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCION DEL BARRIO
LA VEGA, CANTÓN Y PARROQUIA CATAMAYO**

NOMBRE DEL INFORMANTE	
NÚMERO DEL PREDIO	
SISTEMA DE RIEGO	
FECHA	

1. ¿Cuál es la superficie total del predio?

2. Usted a que actividad se dedica:

Agricultura	
Crianza de animales menores	
Crianza de animales mayores	
Profesional	
Otros	

3. Uso actual de la tierra del predio.

Estado	Superficie (ha, m², otros)					Total (ha, m², otros)
	Cultivos	Pastos	Bosques	Descanso	No aptas	
Bajo el canal						
Fuera del canal						
Total						

8. Presenta algunas dificultades con respecto al uso de riego en su predio.

9. Uso de insumos en los cultivos.

Cultivo	Uso de Insumos			
	Fertilizante	Abono Orgánico	Herbicida	Pesticida
Maíz				
Fréjol				
Maní				
Pastos				
Yuca				
Guineo				
Hortalizas				
Tomate				
Cebolla				
Pimiento				
Pepino				
Papa				
Caña				
Frutales				
Otros:				

10. Destino de la producción de animales mayores y menores.

Especie	Número	Consumo / año	Lugar de venta			Precio Usd	Peso Kg o U	A quién vende	
			Finca	Parroquia	Cantón			Comerciante	Consumidor
Bovinos 0 - 1 año									
Bovinos 1 - 2 año									
Bovinos > 2 años									
Caprinos									
Ovinos									
Cerdos									
Caballos									
Equinos									
Mulas									
Asnos									
Otros:									
Gallinas/Gallos									
Patos									
Cuyes									
Otros:									

GRACIAS