



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO

**Diseño, implementación y evaluación de la red de riego en la Estación
Agropecuaria UTPL**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Requena Vivanco Homar Gilber

DIRECTOR: Dr. Capa Mora Edwin Daniel

LOJA – ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Doctor.

Edwin Daniel Capa Mora

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Diseño, implementación y evaluación de la red de riego en la estación agropecuaria UTPL, realizado por Homar Gilber Requena Vivanco, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, febrero de 2018

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Requena Vivanco Homar Gilber declaro ser autor del presente trabajo de titulación Diseño, implementación y evaluación de la red de riego en la estación agropecuaria UTPL, de la Titulación de Ingeniería Agropecuaria, siendo Edwin Daniel Capa Mora director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f

Autor: Homar Gilber Requena Vivanco

Cédula: 1104334790

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional durante toda mi formación académica y en el transcurso de mi vida. A mis pequeñas Anita, Scarlet y Martina por ser la motivación más grande que tengo en este mundo para luchar por mis objetivos.

A mí querida esposa por ser un pilar fundamental en mi vida y acompañarme en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A Dios por todo lo bueno que me ha dado y que me impulsa a seguir adelante cada uno de mis días. A mis padres por su sacrificio que hicieron conmigo para lograr mi sueño de culminar mi carrera.

Agradezco a la UTP, por el apoyo y la predisposición de cada uno de los docentes y estudiantes de la Titulación Ingeniería Agropecuaria que me ayudaron en este trabajo, de manera especial agradecimiento especial a mi Director Dr. Edwin Daniel Capa Mora, por haber colaborado en la realización de mi tesis de grado, un profesional a carta cabal que me ha enseñado mucho durante la ejecución de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	5
General: 5	
Específicos:	5
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Pastos cultivados en el Ecuador	6
2.1.1 Superficie de siembra	6
2.1.2 Tipos de pastos cultivados	6
2.2 Sistemas de riego.....	7
2.2.1 Necesidades hídricas del pasto.....	7
2.2.2 Sistemas de riego tecnificado para pastos.....	7
2.3 Diseño de riego por aspersión	10
2.3.1 Componentes de un sistema de riego por aspersión	10
2.3.2 Clasificación de los aspersores	10
2.4 Diseño hidráulico.....	13
2.4.1 Caudal	13
2.4.2 Número de Reynolds	13
2.4.3 Rugosidad relativa	14
2.4.4 Viscosidad cinemática.....	14
2.4.5 El factor “ λ ”	14
2.4.6 Pérdidas primarias y secundarias en las tuberías.....	15
2.4.7 Ecuación general de las pérdidas primarias	15
2.4.8 Ecuación general de las pérdidas secundarias	16
2.4.9 Celeridad	16
2.4.10 Golpe de ariete	17
2.5 Coeficiente de uniformidad	18
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Metodología del objetivo 1: Diseñar la red de distribución de riego en la Estación Agropecuaria UTPL	19
3.1.1 Diseño agronómico	19
3.1.2 Diseño hidráulico de la red de riego	20
3.2 Metodología del objetivo 2: Implementar la red de riego en la Estación Agropecuaria UTPL	21
3.2.1 Trazado de la red.....	21
3.2.2 Excavación de la zanja	21
3.2.3 Instalación	22
3.3 Metodología del objetivo 3: Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión preestablecido	22
3.3.1 Determinación del coeficiente de uniformidad (CU)	22
4. RESULTADOS.....	25
4.1 Resultados del objetivo 1: Diseñar la red de distribución de riego en la Estación Agropecuaria UTPL	25
4.1.1 Diseño agronómico	25
4.1.2 Diseño hidráulico.....	30
4.2 Resultados del objetivo 2: Implementar la red de riego en la Estación Agropecuaria UTPL	33

4.3	Resultados del objetivo 3: Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión implementado.	35
	BIBLIOGRAFÍA.....	39
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Riego por aspersión	9
Figura 2: Área de riego existente.....	23
Figura 3: Distribución de los pluviómetros	24
Figura 4: Curva del Kc del pasto	26
Figura 5 Diseño Hidráulico de la red de riego	30
Figura 6 Estructura de la red de riego	31
Figura 7 Trazado de la red.....	33
Figura 8 Excavación de la zanja.....	33
Figura 9 Instalación de la tubería	34
Figura 10 Implementación de los collarines.....	34
Figura 11: coeficiente de uniformidad.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de Aspersores	12
Tabla 2 Valores de k para hallar la celeridad.....	17
Tabla 3. Características del emisor	21
Tabla 4. Diámetros de tubería.....	21
Tabla 5: Datos climatológicos de la estación meteorológica Argelia Loja	25
Tabla 6.Precipitación mensual	27
Tabla 7. Requerimientos de riego para noviembre mes de máxima demanda.....	28
Tabla 8. Cálculo para determinar los requerimientos netos y brutos del cultivo al año	29
Tabla 9. Cálculo de la tubería principal.....	32
Tabla 10: Coeficiente de Uniformidad.....	35

RESUMEN

El objetivo del proyecto de fin de titulación fue diseñar, instalar y evaluar la red de riego en la Estación Agropecuaria de la Universidad Técnica Particular de Loja sector Cajanuma, cantón Loja Provincia de Loja. Para cubrir las demandas de agua de las parcelas que no poseen riego así como la infraestructura de la misma.

Los modelos matemáticos que se emplearon en el cálculo de parámetros de las necesidades de los pastos y conceptos hidráulicos requeridos en el dimensionamiento de la tubería, se los obtuvo en base a revisión de literatura científica que sustenta el trabajo realizado.

Los datos agroclimáticos de la zona donde se realizó el proyecto, fueron obtenidos de la estación meteorológica la Argelia-Loja, siendo esta la más cercana a la Estación Agropecuaria de la UTPL y estos datos son adecuados para el normal desarrollo del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Además se realizó la medición del coeficiente de uniformidad del riego existente.

PALABRAS CLAVES: Aspersión, Uniformidad, Presión

ABSTRACT

The main objective of this Project was to design, install and evaluate the watering system in the farming sub-station of the Universidad Técnica Particular de Loja placed in Cajanuma belonging to the province of Loja. Whose objective was to cover the water demands of the plots that do not have irrigation as well as the infrastructure of itself.

The math models which were used by the calculation of parameters of the pasture needs and hydraulic concepts required in the dimensioning of the pipeline were obtained based on a review of the scientific literature that supports the work carried out.

The agro climatic data of the area where the project was made were obtained from the Algeria weather station since it is the closest to the farming Sub-station of the UTPL and these data are suitable for the normal development of Kikuyo grass (*Pennisetum clandestinum*). In addition, the measurement of the irrigation uniformity coefficient already established was carried out.

KEY WORDS: Spray, Uniformity, Pressure

1. INTRODUCCIÓN

El incremento acelerado de la población a nivel mundial y de nuestro país es eminente e implica una mayor demanda de la producción de alimentos. Tal es el caso que en Ecuador desde 1950 a 2017, ha pasado de cuatro millones de habitantes a dieciséis millones respectivamente. El reto de la producción agrícola conlleva hacer más eficientes en la producción y manejar de mejor forma los recursos naturales, principalmente el agua (Mendoza, Gruber, Torrealba, & Lugo, 2010). Uno de los principales problemas de la producción agrícola en los países en desarrollo es la falta de infraestructura y el inadecuado manejo de los sistemas de riego (Esteve et al., 1999).

La mejora en la utilización del agua en la agricultura de secano como en la de regadío es fundamental para afrontar la escasez de agua, en muchos casos, el uso de los sistemas de riego es inferior a lo esperado, mal utilizando el agua, el consumo de energía y provocando incrementos en los costos de producción y bajos rendimientos de los cultivos bajo regadío (Galindo, 1996).

El sistema de riego por aspersión ha venido en auge en los últimos años en el país, por el hecho mismo que se adapta a la mayoría de cultivos. El riego por aspersión requiere de presión hidráulica, equipos y aspersores; cabe indicar que su índice de eficiencia puede alcanzar hasta el 80 % en el mejor de los casos (Corominas, 2010). Sin embargo, a pesar de las ventajas tecnológicas que ofrecen estos sistemas, requieren de un diseño y mantenimiento adecuado para su correcto funcionamiento tanto desde el punto de vista agronómico como hidráulico. En consecuencia, en toda instalación de riego presurizado es fundamental, determinar la uniformidad de riego con que opera el sistema (Liotta, 2000).

A nivel nacional la mayor cantidad de tierra cultivable está destinada a pastos con un (29,85 %), cultivos permanentes (11,62 %), cultivos transitorios y barbecho (8,58 %). Del total del área de pastos se encuentran bajo regadío cerca del 10 % (INEC, 2013). En los últimos años se puede evidenciar un incremento de pastos sembrados y manejados para la alimentación bovina, por ello la importancia de incrementar el riego en la ganadería; de hecho muchos productores están adoptando este sistema para la rápida recuperación de las pasturas y los resultados han sido óptimos (Charquero, 2010). El nivel de producción de ganado bovino en la provincia de Loja es importante, se producen cerca de 380.000 cabezas de ganado, siendo un aporte importante a la industria lechera y carne de la localidad (INEC, 2013).

Por ello el presente trabajo, se plantea diseñar e instalar la red de riego por aspersión, además de evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema existente, con el fin de satisfacer las necesidades hídricas de los pastizales de la Estación Agropecuaria de la UTPL, ubicada en el Sector de Cajanuma, cantón Loja, para los meses de máxima demanda que van de julio a noviembre.

OBJETIVOS

General:

- Diseñar, implementar y evaluar la red de riego en la Estación Agropecuaria UTPL.

Específicos:

- Diseñar la red de distribución de riego en la Estación Agropecuaria UTPL.
- Implementar la red de riego en la Estación Agropecuaria UTPL.
- Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión preestablecido en la Estación Agropecuaria UTPL.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Pastos cultivados en el Ecuador

Los pastos son la fuente primordial en la alimentación de los animales al pastoreo, es la clave para manejar la producción en la explotación ya que es la fuente de alimento más barata que se tiene a disposición y es de mejor calidad si se asocian gramíneas con leguminosas (J. Sánchez, 2013).

Según el censo agropecuario del año 2000 podemos observar que la superficie de pastoreo de ganado bovino, se ha incrementado en un 70% desde 1974, incrementándose de 2.969,245 ha. A 5.087,133 ha. Siendo esta área tanto pastos naturales como cultivados y páramos dedicados a este fin, constituyendo el 41% de la superficie total de país (Jara & Maldonado, 2011).

2.1.1 Superficie de siembra

En el Ecuador el uso de la superficie de suelo cultivable está clasificado en: a) cultivos permanentes, b) transitorios y barbecho, c) pastos naturales y cultivados). En el 2015, de los 5,67 millones de ha de uso agrícola, los pastos cultivados representan la mayor superficie ocupada con un 44,63 % (INEC, 2015).

2.1.2 Tipos de pastos cultivados

La base de producción de fuentes para forrajes del sector ganadero se centra en la sierra ecuatoriana, relacionado con la producción de ganadería lechera. Donde se evidencia que la disponibilidad de pastos es escasa y de baja calidad nutricional, el rendimiento de producción de materia seca (MS) por hectárea es deficiente, lo que da como resultado una reducida capacidad de carga animal, perjudicando la rentabilidad del hato (Bedoya, 2012).

Gramma Nativa (*Axonopus* sp) es un pasto común y de mejor adaptación a climas fríos con alturas de 1.200 a 3.000 m snm es resistente a la sequía y su máxima producción se da con suelos fértiles y con un mínimo de precipitación de 750 mm de lámina de agua, produce de 20 a 30 t MS/ha/año (Cuenca, 2011).

Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) es el pasto más común y de mejor adaptación a climas fríos, con alturas que van de 1.200 a 3.000 m snm, es resistente a la sequía y su máxima producción se da con suelos fértiles y con precipitaciones de 900 mm de lámina de agua, se adapta a suelos bien drenados, es tolerante a pH bajos (4,5) y a suelos salinos, su producción diaria estimada a 40 kg MS/ha de forma natural y de 35-42 Tm MS/ha/año con fertilización (Carrera, 2011).

Rey Grass (*Lolium perenne*) es un pasto de gran producción de forraje, se cultiva en climas fríos moderado de 2.000 a 3.200 m snm, es resistente a las heladas con temperaturas que van de 15 a 18 °C. y produce 6-8 toneladas MS/ha/año en condiciones normales y de 18-20 t/ha/año con un manejo adecuado según Villalobos & Sánchez (2010) citado por (Pintado & Vásquez, 2016).

Festuca (*Festuca arundinacea*) es una gramínea perenne de gran adaptabilidad a distintos ambientes, tiene raíces profundas, tolerancia a la sequía, calor, suelos arenosos e insectos, puede sobrevivir en regiones con menos de 400 mm/año de precipitación. Su promedio de producción es de 16.584,0 kg/MS/ha (J. Sánchez, 2013).

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Es la leguminosa más usada en la alimentación bovina de leche, requieren suelos fértiles, su altitud para el desarrollo van de 1.500 a 3.000 m snm, pero su mejor rendimiento se obtienen entre 1.500 a 2.500 m snm, con un promedio de producción de 24.305 kg/MS/ha bajo riego (J. Sánchez, 2013).

2.2 Sistemas de riego

El riego es la aplicación de agua en forma artificial al suelo, que consiste en dar la humedad necesaria al mismo, para el aprovechamiento de las plantas a través de sus raíces (A. Sánchez, 2013).

El 2,5 % del agua del planeta sirve para el consumo humano y riego, por esta razón es necesario implementar sistemas de riego tecnificado que permitan administrar eficientemente el agua (Ramos & Báez, 2013).

2.2.1 Necesidades hídricas del pasto

El riego en los pastos ayuda a mantener la humedad del suelo, para lograr un mejor desarrollo y producción en biomasa. (Bourdin, Franco, & Burgos, 2015). La optima producción de pastos y forrajes, se da en suelos fértiles y con un mínimo de 750 mm de lámina en precipitación siendo el rango requerido entre 600 a 1.200 mm/año (Guerra Moscoso, 2009)

2.2.2 Sistemas de riego tecnificado para pastos

Se denomina sistema de riego tecnificado, al conjunto de elementos que permiten que la aplicación del agua y los fertilizantes al cultivo sea en forma eficiente, localizada, con una frecuencia adecuada, en cantidades estrictamente necesarias y en el momento oportuno.

Además busca la optimización del diseño hidráulico, ahorro en energía y dinero (Ramos & Báez, 2013). Los riegos más utilizados en pastos son los presurizados por aspersión y microaspersión este último dependerá de los sitios y tipos de pastos.

Sistema de riego por microaspersión

Este sistema de riego consiste en aplicar agua en forma de neblina, o como gotas finas a baja altura y en forma localizada, la cual está muy cerca de la zona radicular del cultivo, su aplicación se hace mediante el uso de emisores llamados microaspersores o microjets (Tapia, 2014).

Tapia (2014), indica las ventajas y desventajas de este sistema:

Ventajas

- Es adecuado en suelos muy ligeros (arenosos) donde el riego por goteo no satisface las necesidades del cultivo en cuanto al área humedecida.
- Este sistema es menos propenso a las obturaciones, comparado con los goteros por poseer mayor diámetro de paso.
- Es más eficaz que el goteo en el lavado de suelos para evitar la acumulación de sales.
- Nos permite aplicar caudales importantes con baja presión.
- Aplica el agua de forma directa a la zona radicular del cultivo con una eficiencia del 85%.
- Se pueden hacer aplicaciones de fertilizantes en volúmenes de riego.

Desventajas

- El alto costo de inversión por requerirse de un emisor por planta.
- Los problemas fitosanitarios producto del agua pulverizada.
- Necesita agua con muy pocos sedimentos.

Sistema de riego por aspersión

El riego por aspersión distribuye el agua al suelo en forma de lluvia. Debido a la flexibilidad de su uso y el eficiente control en la aplicación del agua, este método permite el riego de una amplia gama de suelos que no pueden ser regados adecuada y eficientemente con métodos tradicionales, (Ramos & Báez, 2013) gracias a la presión con que fluye el agua dentro del sistema de tuberías para ser expulsadas por los aspersores, sin embargo para

darle la presión necesaria se utiliza bombas hidráulicas, sin embargo puede funcionar sin bomba

siempre y cuando el reservorio se encuentre en un lugar más elevado que el terreno para regadío de 3 a 10 m de desnivel (Tapia, 2014).



Figura 1: Riego por aspersión

Fuente: www.civiagro.com

Elaborado: www.civiagro.com (2009)

Características del riego por aspersión

El riego por aspersión tiene como objetivo entregar el agua a la zona de las raíces lo más uniforme posible, mediante un proceso de infiltración en condiciones de subsaturación, facilitando la distribución del agua y evitando la escorrentía y por tanto la alteración de la superficial del suelo. A continuación se describen la ventajas y desventajas del riego por aspersión según (Cañar & Villamarin, 2009).

Ventajas

- Es capaz de adaptarse a terrenos muy permeables o muy impermeables.
- Se adapta a topografías onduladas, lo que permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- Se adapta a la rotación de cultivos y a los riegos de socorro.
- Pueden conseguirse altos grados de automatización, ahorro de mano de obra.

- Permite el reparto de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios.
- Evita la construcción de acequias y canales, aumentando la superficie útil.
- Es el método más eficaz para el lavado de sales.

Desventajas

- El posible efecto de plagas y enfermedades.
- Las limitaciones se dan por fuertes vientos, pendientes excesivas y riego bajo árboles.
- Puede originar problemas de sanidad en la parte aérea del cultivo.
- Los principales problemas suelen ser de carácter económico por las altas inversiones iniciales y los elevados costos de mantenimiento y funcionamiento.

2.3 Diseño de riego por aspersión

2.3.1 Componentes de un sistema de riego por aspersión

Dentro de un sistema de riego por aspersión se encuentra los siguientes componentes (Ramos & Báez, 2013).








- **Reservorio:** Es el tanque, pozo o laguna donde se almacena el agua para cubrir con el riego.
- **Unidad de bombeo:** Casi siempre es una bomba centrífuga, la cual convierte la energía eléctrica en energía de presión, para que el agua llegue con facilidad a puntos altos, a los que normalmente no lo haría por gravedad.
- **Tubería principal:** es aquella que se conecta al sistema de distribución, estas pueden ser fijas o móviles, cuando son fijas generalmente se encuentran enterradas, suelen ser de plástico o aluminio.
- **Laterales:** son los que toman el agua desde la tubería principal y la entrega a los rociadores, son tuberías fijas hechas de plástico generalmente.
- **Aspersores:** son los dispositivos mecánicos encargados de entregar el agua gota a gota a las plantas, de la manera más uniforme posible, su posicionamiento se lo hace de acuerdo a sus características propias.

2.3.2 Clasificación de los aspersores

Los aspersores son los emisores encargados de distribuir el agua en forma de lluvia sobre la superficie del suelo de la manera más uniforme posible. Están provistos de una o más boquillas por las que sale el agua pulverizada a la atmosfera. El movimiento del aspersor 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 (Cañar & Villamarin, 2009).

Tabla 1 Clasificación de Aspersores

CLASIFICACIÓN DE LOS ASPERSORES				
1	Por su mecanismo de giro	Aspersor de martillo	Estos se basan en el impacto del chorro del agua en un accesorio instalado en el aspersor	
		Aspersor de balancín		
		Aspersor de reacción		
		Aspersor de turbina		
2	Por su presión	Aspersor de presión baja	Su función se basa en la presión	
		Aspersor de presión media		
		Aspersor de presión alta		
3	Por su número de boquillas	Aspersor de una boquilla	Su objetivo es manejar diferentes laminas de riego	
		Aspersor de dos o mas boquillas		
4	Por el ángulo de salida del chorro	Aspersor de ángulo bajo	Se basa en el ángulo generado por el diseño del aspersor	
		Aspersor de ángulo normal		
		Aspersor de ángulo alto		
5	Según el área mojada	Aspersores circulares	Se utilizan para mojar áreas específicas	
		Aspersores sectoriales		
6	Según la velocidad de giro	Aspersor de giro rápido	Según las necesidades de irrigación	
		Aspersor de giro lento		
7	Por el tamaño de la zona a regar	Aspersores de gama residencial	Según el area a regar	
		Aspersores de gama industrial		
		Aspersores de gama de gran alcance		

Fuente: www.civiagro.com

Elaborado: Autor

2.4 Diseño hidráulico

La hidrodinámica se encarga del estudio del movimiento de un fluido en el interior de un contorno (tubería, accesorios, canal, etc.).

2.4.1 Caudal.

Se conoce como caudal a la cantidad de líquido que circula a través de una tubería o cañería, en un determinado tiempo (Ramos & Báez, 2013).

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

Dónde:

Q = Caudal (m^3/s)

V = Volumen del líquido (m^3)

T = Tiempo que tarda en salir el líquido (s)

Caudal másico: Masa de líquido que atraviesa una sección en la unidad de tiempo (Mancha, 2016)

$$Q = VA$$

Q = Caudal (m^3/s)

V = Velocidad del líquido (m/s)

A = Área de la sección (m^2)

2.4.2 Número de Reynolds

El número de Reynolds es un factor adimensional que nos permite definir el régimen con que circula un fluido, lo que es fundamental para el estudio del mismo (Chamba, 2016).

$$Re = \frac{v \cdot Di}{\nu}$$

Dónde:

Re = Número de Reynolds

v = Velocidad media del fluido (m/s)

Di = Diámetro del ducto (m)

ν = Viscosidad cinemática (m^2/s)

2.4.3 Rugosidad relativa

La rugosidad relativa (R_r), se define como el coeficiente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería que responde a la expresión, en unidades de longitud (Ramos & Báez, 2013).

$$R_r = \frac{\varepsilon}{D_i}$$

Dónde:

R_r = Rugosidad relativa

ε = Rugosidad absoluta (adimensional)

D_i = Diámetro interno de la tubería (m)

2.4.4 Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática de los fluidos no es más que el cociente entre la viscosidad dinámica del fluido y la densidad del mismo. Se mide en metros cuadrados por segundo (m^2/s) (Ramos & Báez, 2013).

2.4.5 El factor “ λ ”

Llamado factor de fricción, o coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach es un parámetro adimensional y es función de dos variables: el número de Reynolds y la Rugosidad relativa la influencia de ambos parámetros sobre λ es cuantitativamente distinta según las características de la corriente (Saldarriaga, 1998).

En toda tubería recta que transporta un líquido a una temperatura determinada, existe una velocidad crítica (V_c) por debajo de la cual el régimen es laminar. Este valor crítico que marca la transición entre los dos regímenes, el laminar y el turbulento, se corresponde con un $Re=2300$, aunque en la práctica, entre 2.000 y 4.000 la situación es bastante imprecisa. Por lo tanto:

$Re > 4000$: Régimen turbulento.

Ecuación de Blassius para el cálculo del factor de fricción

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

Dónde:

λ = Factor de fricción (adimensional)

Re = Numero de Reynolds

2.4.6 Pérdidas primarias y secundarias en las tuberías

Las pérdidas de carga en las tuberías se dividen en dos clases: pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

Las pérdidas primarias son las pérdidas que genera la superficie en contacto con el fluido en la tubería (capa límite), se deben a la viscosidad del líquido y se producen a lo largo de toda la conducción. Suelen expresarse como producto de la pérdida de carga unitaria (J) y la longitud del tramo considerado (L). La representación gráfica de h_c en función de la longitud L sería una recta de pendiente (Guerrero, 2012).

La pérdida de carga primaria es directamente proporcional a la velocidad del líquido y a la longitud del tramo de tubería que estamos considerando, e inversamente proporcional a su diámetro. Se deduce que un aumento en el caudal o un aumento en la velocidad del líquido implican un aumento en la pérdida de carga, mientras que diámetro y pérdida de carga están inversamente relacionados.

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (angostamientos, ensanchamientos, etc.), codos, válvulas, elementos de medición y toda clase de accesorios y elementos adicionales de las tuberías (Ramos & Báez, 2013).

2.4.7 Ecuación general de las pérdidas primarias

La fórmula que representa las pérdida de carga primarias, es la ecuación de Blassius (Mancha, 2016).

$$h_c = 0,00078 \frac{Q^{1,75}}{D_i^{4,75}} * L \quad \text{Para diámetros inferiores a 125 mm}$$

Dónde:

h_c = Pérdidas de carga primarias (m)

L = Longitud del tramo (m)

Q = Caudal (m³/s)

D_i = Diámetro interno de la tubería (m)

A fines del siglo pasado, experimentos realizados con tuberías de agua de diámetro constante demostraron que la pérdida de carga es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de la misma (Ramos & Báez, 2013).

La fórmula fundamental que representa lo anterior es la ecuación de Darcy Weisbach (Mancha, 2016).

$$hf = \lambda \frac{L \cdot v^2}{Di \cdot 2g}$$

Dónde:

hf = Coeficiente de pérdida de carga primaria (m)

λ = Factor de fricción (adimensional)

L = Longitud de la tubería (m)

Di = Diámetro interno de la tubería (m)

v = Velocidad media del fluido (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

2.4.8 Ecuación general de las pérdidas secundarias

De uso universal en el mundo entero en los libros y formularios de hidráulica y análoga a la fórmula de Darcy-Weisbach para las pérdidas secundarias, es la siguiente (Ramos & Báez, 2013).

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

Dónde:

hpa = Pérdida de carga secundaria (m)

k = Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria (adimensional)

v = Velocidad media en la tubería, codos, válvulas, etc. (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

2.4.9 Celeridad

La celeridad (a) es la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua contenida en la tubería, por lo que su ecuación de dimensiones es L.T⁻¹ y en el S.I. se mide

en metros por segundo ($m \cdot s^{-1}$). Su valor se determina a partir de la ecuación de continuidad y depende fundamentalmente de las características geométricas y mecánicas de la conducción, así como de la compresibilidad del agua (Mancha, 2016).

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K\left(\frac{D_i}{e}\right)}}$$

Dónde:

a = Celeridad (m/s)

K = Coeficiente en función del módulo de elasticidad (ε) del material constitutivo de la tubería (33.3 para PVC)

e = Espesor de las paredes de la tubería (m)

D_i = Diámetro interno de la tubería (m)

Factor k: Coeficiente en función del módulo de elasticidad (ε) del material constitutivo de la tubería.

Tabla 2 Valores de k para hallar la celeridad

Material de la tubería	Valor de K
Palastros de hierro y acero	0,5
Fundición	1
Hormigón (sin armar)	5
Fibrocemento	5,5
PVC	33,3
PE baja densidad	500
PE alta densidad	111,11

Fuente: Mancha 2016

Elaborado: Autor

2.4.10 Golpe de ariete

El fenómeno del golpe de ariete, también denominado transitorio, consiste en la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, es decir, básicamente es una variación de presión, y se puede producir tanto en impulsiones como en abastecimientos por gravedad (Mancha, 2016).

$$\Delta H = \frac{a * v}{g}$$

Dónde:

ΔH = Sobrepresión debida al golpe de ariete (mca)

a = Celeridad (m/s)

v = Velocidad del agua (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

2.5 Coeficiente de uniformidad

Demuestra cómo se ha producido la variación del agua caída en una superficie en relación con su media. El resultado se expresa en porcentaje (%) (Esteve, Currie, & Héctor, 1999).

El CU de Christiansen es una representación estadística de la uniformidad, utilizado principalmente en los sistemas de aspersión (Liotta, 2000).

Se expresa en tanto por ciento mediante la expresión:

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_m} * 100$$

Dónde:

CU = Cantidad recogida por cada pluviómetro o punto de control (%).

q_m = Caudal medio de una instalación de riego (m^3/s).

$q_{25\%}$ = Caudal medio de los emisores que constituyen el 25% que reparten el más bajo caudal (m^3/s).

Los sistemas de riego por aspersión requieren un valor mínimo de uniformidad para ser considerados aceptables. Para los sistemas de cobertura fija, Keller et al. (1981) consideran la uniformidad baja cuando el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) es inferior al 84%.

3. METODOLOGÍA

El proyecto se realizó en la Estación Agropecuaria de la UTPL ubicada en el sector de Cajanuma al Sur de la Ciudad de Loja, coordenadas geográficas 4.0853672° S 79.2069036° W, a una altitud de 2.300 m s n m.

Las características de suelo en el área de estudio son: textura franco arcilloso y franco, porosidad de 29,48 % y humedad de 20,75 %, estos datos fueron obtenidos de los análisis en el laboratorio de suelos UTPL (2015).

Como recursos hídricos, la Estación Agropecuaria está atravesada por dos quebradas, de las cuales se tiene la concesión de agua de regadíos con un caudal de 2 m³/s, El agua de riego se captará de un reservorio con capacidad de almacenamiento de 300 m³, alimentado por una tubería con caudal de conducción de $Q = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.1 Metodología del objetivo 1: Diseñar la red de distribución de riego en la Estación Agropecuaria UTPL

Para la planificación y distribución de las parcelas para regadío, se tomó aquellas que poseen pastizales para la alimentación bovina y el tipo de riego que se aplicó es el de aspersión, ya que es el método de riego más eficaz para este tipo de cultivo (pasto Kikuyo).

3.1.1 Diseño agronómico

Para determinar el diseño agronómico del riego, primero se obtuvo los datos climatológicos de la zona y luego se determinó las necesidades hídricas del cultivo.

- Datos Climáticos: La compilación de información de las estaciones se basó principalmente en los archivos de la red meteorológica nacional del INAMHI de la estación Argelia-Loja. Estos datos se obtuvieron del CLIMWAT para uso en el programa del CROPWAT.
- Necesidades hídricas de los cultivos: Las necesidades netas de agua de riego corresponden al consumo teórico, es decir, la evapotranspiración de las pasturas menos la precipitación efectiva. Considerando que en Ecuador existen pocos estudios en la determinación del coeficiente de pasturas y de evapotranspiración, para determinar las necesidades hídricas de los cultivos, se aplica el método propuesto por el boletín de la FAO 56, y con la ayuda del programa CROPWAT. Donde se utiliza la ecuación (FAO, 2006).

$$ET_c = ET_o * K_c$$

ET_o : Hace referencia a la evaporación del cultivo, dado el nivel de evaporación de la zona, en función de las condiciones climatológicas.

K_c : Se refiere al coeficiente específico de cada cultivo, que depende de la fenología y la ubicación del cultivo. En este caso, tomado de las tablas de FAO 56, y del programa CROPWATER para pastos.

Los datos de las necesidades hídricas, serán utilizados como las demandas en las parcelas para el diseño de las unidades de riego por aspersión, y para dimensionar los cálculos de la tubería principal (FAO, 2006).

3.1.2 Diseño hidráulico de la red de riego

Se diseñó la segunda parte de la red principal de riego de la Estación Agropecuaria de la UTPL, donde se cubrió las parcelas de pasturas que aún no cuentan con riego, como también la dotación de agua para la infraestructura en lo que se refiere al aula, casa, sala de ordeño, etc.

El diseño de la red debe cumplir con las necesidades hídricas de los pastos en especial para los meses de julio a noviembre donde la demanda es más alta, obtenidos en el diseño agronómico.

Para el diseño del mapa en ArcGis, las cotas se obtuvieron en campo con GPS dando la siguiente referencia:

Cota máxima y mínima del área de estudio: 2.390 – 2.293 m snm.

- Cota del Reservorio: 2.390 m snm
- Cotas de la Parcela 1(Parte Alta): 2.343 m snm
- Cotas del aula: 2.338 m snm
- Cotas de la casa: 2.327 m snm
- Cotas de los establos: 2.316 m snm
- Cota de parcela 2 (Parte baja): 2.293 m snm

Para el diseño hidráulico se utilizó el emisor (aspersor) Senninger 50-23 con las siguientes características ver (tabla 3).

Tabla 3. Características del emisor

PARCELA	Tipo de emisor	Diámetro Dn/Di (mm)	Caudal Q (L/h)	Separación emisores y laterales s(m) x s _r (m)	Longitud lateral L (m)	Presión de la boquilla (mca)
PASTOS	Aspersor	20/17,6	3.361	25 x 22	50 a 175	35,15

Fuente: Catálogo Plastigama
Elaborado: Autor

En la red de riego se utilizó tubería de pvc con las siguientes características ver (tabla 4).

Tabla 4. Diámetros de tubería

Diámetro nominal (DN) (mm)	Diámetro interno (Di) (mm)	Presión nominal (PN) (MPa)	Espesor de fabricación (mm)	Material
63	57,4	1,25	3,10	PVC para presión en unión espiga campana
90	84,4	0,8	2,80	

Fuente: Catálogo plastigama
Elaborado: Autor

El cálculo de las pérdidas por fricción en la red se realizó tramo a tramo, para esto se utilizó la expresión de régimen turbulento liso de Blassius. Estableciendo los parámetros de velocidad de 0,5 m/s como velocidad mínima y 2 m/s como velocidad máxima a lo largo del tramo de la tubería, los valores en la presión mínima establecida al inicio y al fin de la red son de 5 a 20 metros en columna de agua según Rodrigo -López y Cordero (2003) citado por Chamba, 2016.

3.2 Metodología del objetivo 2: Implementar la red de riego en la Estación Agropecuaria UTPL

3.2.1 Trazado de la red

En el trazado se ubicó la ruta más accesible para cruzar la tubería por la quebrada que divide el área con riego del área en estudio, para esto se colocó estacas cada 25 m a lo largo de toda la línea, luego se la señalizó con cal para poder ser visualizada a la hora de la excavación.

3.2.2 Excavación de la zanja

La excavación se la realizó con maquinaria especializada, utilizando el mínimo recomendado para la profundidad y ancho de la zanja 0,60 m x 0,50 m, para poder trabajar

con comodidad en el momento de la instalación de la tubería, según (Cárdenas & Vera, 2010) .

3.2.3 Instalación

Se colocaron los tubos de manera prismática es decir las campanas de los tubos en sentido contrario al flujo del agua, además se revisó la tubería para evitar que tenga objetos o tierra dentro de la misma, no se utilizó pegamento ya que los tubos tienen empaque para un mejor acople.

En cada demanda de agua se dejó en espera los hidrantes para su futura instalación y acoples a la red. Las unidades de demanda a considerar, serán de acuerdo al tamaño, al uso y caudal que requiera.

3.3 Metodología del objetivo 3: Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión preestablecido

3.3.1 Determinación del coeficiente de uniformidad (CU)

Se evaluó el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión establecido (figura 2). Donde se dividió las zonas de regadíos en tres partes: alta, media y baja. En cada zona se tomó al azar cinco aspersores, para tener una muestra representativa del caudal que emitan cada uno. Luego estas se proceden a sacar los promedios y determinar así el CU de cada zona.



Figura 2: Área de riego existente
 Fuente: Administración EA – UTPL
 Elaborado: Autor

Se determinó el reparto de agua de los aspersores colocando una red de pluviómetros a ambos lados del ramal, se sumaron los volúmenes recogidos según se muestra en la (figura 3). Se utilizó un recipiente de 12 cm de diámetro. Los recipientes se instalaron sobre el suelo siempre y cuando el cultivo no altere la lluvia de los aspersores. El tiempo de riego fue de 90 minutos. Cuando finalizó la evaluación, se dejó de regar y se midió el volumen recogido en cada vaso con ayuda de una probeta (Salas, 2008).

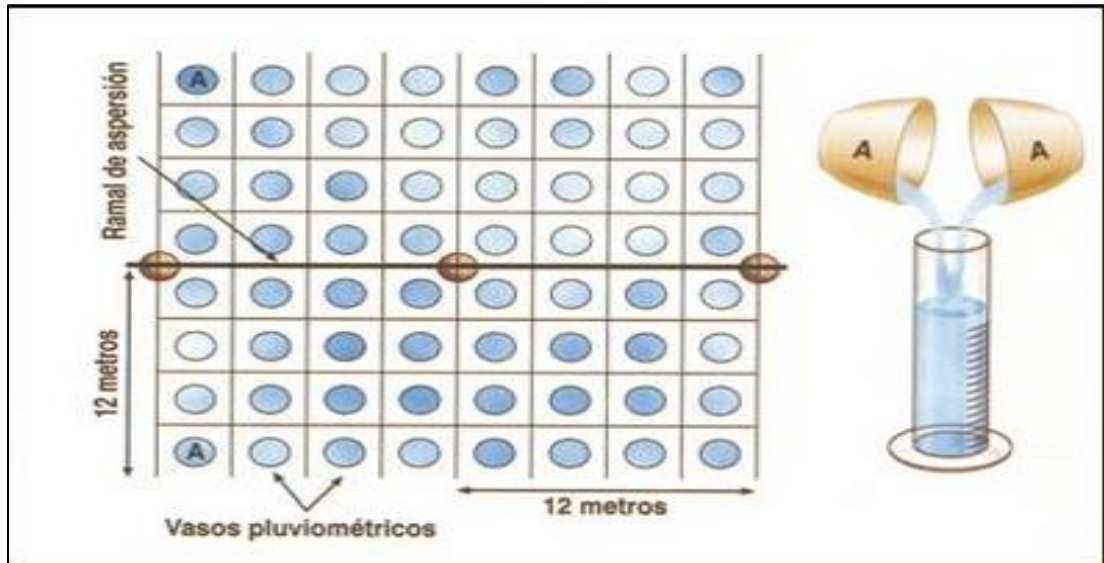


Figura 3: Distribución de los pluviómetros

Fuente: Salas 2008

Elaborado: Salas 2008

Para determinar el coeficiente de uniformidad (CU) se lo hizo por la expresión: $CU = \frac{q_{25\%}}{q_m} * 100$ donde q_m es el caudal medio de una instalación de riego y $q_{25\%}$ es el caudal medio de los emisores que constituyen el 25% que reparten el más bajo caudal. Este coeficiente es de utilidad tanto para el diseño de riego como para la evaluación del sistema (Liotta, 2000).

4. RESULTADOS

4.1 Resultados del objetivo 1: Diseñar la red de distribución de riego en la Estación Agropecuaria UTPL

4.1.1 Diseño agronómico

Los datos climáticos de precipitación y evapotranspiración (mm) utilizados fueron extraídos de la "Estación meteorológica La Argelia–Loja del INAMHI" (Fuente obtenida por CROPWAT-FAO 2006-2016). Mediante el cual se obtiene la siguiente tabla en donde se calcula los valores de Eto para todos los meses.

Tabla 5: Datos climatológicos de la estación meteorológica Argelia Loja

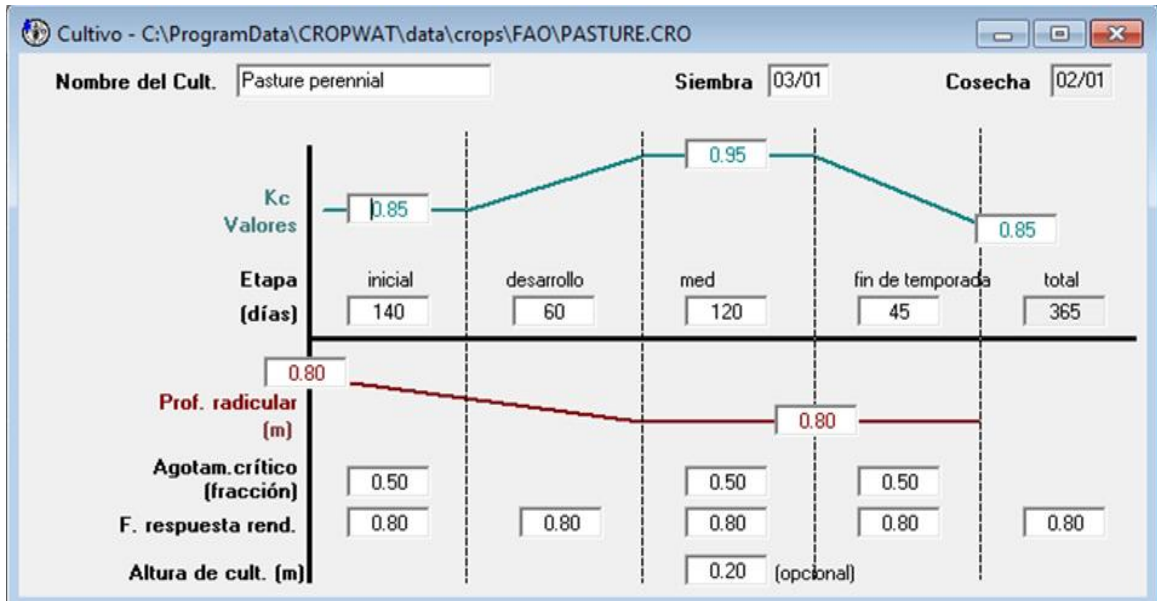
Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	12.2	21.2	80	259	4.1	15.8	3.16
Febrero	12.2	21.4	80	285	4.5	16.6	3.29
Marzo	12.3	21.4	80	251	3.8	15.4	3.14
Abril	12.6	21.6	80	277	5.1	16.6	3.25
Mayo	12.1	21.4	79	311	4.7	14.9	3.09
Junio	11.7	20.2	77	380	4.3	13.8	3.02
Julio	11.5	19.3	76	484	5.0	15.0	3.17
Agosto	11.5	19.6	73	449	4.4	15.1	3.40
Septiembre	11.8	20.8	74	372	4.4	16.0	3.50
Octubre	11.4	22.4	76	294	4.8	16.9	3.57
Noviembre	10.8	23.2	74	277	5.5	17.8	3.80
Diciembre	11.7	22.5	76	268	5.5	17.7	3.65
Promedio	11.8	21.3	77	325	4.7	16.0	3.33

Fuente: FAO
Elaborado: Autor

Como se puede observar en la (tabla 5), la evapotranspiración de referencia determinada para el sistema de riego a implementarse está en el rango mínimo de 3,02 mm por día para el mes de junio, mientras que la evapotranspiración de referencia máximo nos da para el mes de noviembre con un promedio de 3,80 mm por día.

El cálculo del coeficiente de cultivo (K_c) para pastos, fue obtenido con ayuda del programa CROPWAT y se muestra en la (Figura 4)

Figura 4: Curva del Kc del pasto



Fuente: FAO
Elaborado: Autor

De acuerdo a la información introducida en el software CROPTWAT de la FAO como resultado tenemos que para el cultivo de pasto tenemos un K_c inicial de 0,85, un K_c intermedio de 0,95 y un K_c final este cultivo es perenne y el ciclo dura todo el año es así que para la etapa inicial se logra determinar 140 días, para la etapa de desarrollo 60 días, para la etapa media 120 días y para la etapa de senescencia 45 días, la profundidad radicular se mantiene en 80 cm de inicio a fin de temporada de 0,85, aducimos que estamos sembrando el 3 de enero cosechamos el 2 de enero, ya que, la altura máxima del cultivo nos llegará hasta 20 cm, el agotamiento crítico de consumo de agua se dará hasta el 50 % como máximo, esta información nos sirve para calcular el requerimiento de agua del cultivo.

Además se realizó el cálculo de la precipitación efectiva ya que es indispensable conocer la frecuencia y volumen de las lluvias para poder planificar el riego.

Tabla 6. Precipitación mensual

The screenshot shows a software interface with the following details:

- Window Title: Precipitación mensual - C:\Program Files (x86)\CLIMWAT 2.0 for CROPWAT V2.0\DA...
- Station: LOJA-LA-ARGELIA
- Method: Método USDA S.C.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	90.0	77.0
Febrero	111.0	91.3
Marzo	125.0	100.0
Abril	90.0	77.0
Mayo	55.0	50.2
Junio	57.0	51.8
Julio	58.0	52.6
Agosto	47.0	43.5
Septiembre	46.0	42.6
Octubre	98.0	82.6
Noviembre	58.0	52.6
Diciembre	76.0	66.8
Total	911.0	788.0

Fuente: FAO
Elaborado: Autor

En función de las necesidades netas de agua para el riego, se determinó el consumo real del cultivo donde se consideró una eficiencia de aplicación del 75 % aproximadamente para el riego por aspersión.

Los resultados obtenidos para el cultivo de pastos se presentan en la (tabla 7) donde muestra los cálculos realizados para noviembre el mes de máxima demanda, necesitando un caudal de 0,00029 m³/s/ha.

Tabla 7. Requerimientos de riego para noviembre mes de máxima demanda

CULTIVO	Pastos	
Área	ha	9,00
Eto penman-monteith	mm mes	114,00
Coeficiente de cultivo (CROPWATER)	Kc	0,95
Etc; Etc=Eto*Kc	mm. mes	108,30
Precipitación efectiva	mm	52,60
Necesidades de agua del cultivo	mm	50,76
Eficiencia del riego (aspersión)	%	0,75
Necesidades brutas de riego	mm. mes	67,68
Necesidades brutas de riego	mm. día	2,18
Caudal ficticio continuo	m ³ /s.ha	0,00029

Fuente: FAO

Elaborado: Autor

Se realizó el estudio para pastos donde se obtuvo los requerimientos del cultivo para todo el año. Como se puede observar en la (tabla 8), los requerimientos son bajos 0,00156 m³/s/ha al año, es por esto que se aprovechó las fuerzas naturales de la gravedad. Puesto que el sistema de riego debe funcionar eventualmente para los meses de mayo a diciembre. Porque de enero a abril, no se requiere de riego ya que las necesidades de agua son mínimas, debido a que es la época de mayor precipitación.

Tabla 8. Cálculo para determinar los requerimientos cultivo al año netos y brutos del

MES		En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Eto PENMAN-MONTEITH	mm/mes	97,96	92,12	97,34	97,5	95,79	90,6	98,27	105,4	105	110,67	114	113,15	1217,80
Coefficiente de cultivo (Cropwater)	Kc	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,85	1097,52
Etc; Etc=Eto*Kc	mm/mes	83,27	78,30	82,74	82,88	81,42	86,07	93,36	100,13	99,75	105,14	108,30	96,18	
Precipitación efectiva	mm	77	91,3	100	77	50,2	51,8	52,6	43,5	42,6	82,6	52,6	66,8	788,00
Necesidades de agua de regadío cultivo	mm	6,27	-13,00	-17,26	5,88	31,22	34,27	40,76	56,63	57,15	22,54	55,70	29,38	309,52
Eficiencia del riego	75%	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	
Necesidades brutas de riego	mm/mes	8,35	-17,33	-23,01	7,83	41,63	45,69	54,34	75,51	76,20	30,05	74,27	39,17	412,70
Necesidades brutas de riego día	mm/día	0,27	-0,62	-0,74	0,26	1,34	1,52	1,75	2,44	2,54	0,97	2,48	1,26	13,47
Caudal ficticio continuo	m³/s.ha	0,00003	-0,00007	-0,00009	0,00003	0,00016	0,00018	0,00020	0,00028	0,00029	0,00011	0,00029	0,00015	0,00156

Fuente: CROPWAT

Elaborado: Autor

4.1.2 Diseño hidráulico

Una vez que el sistema cumplió con las necesidades para el mes de noviembre mes de máxima demanda se procedió al diseño hidráulico de la red de riego (figura 5).

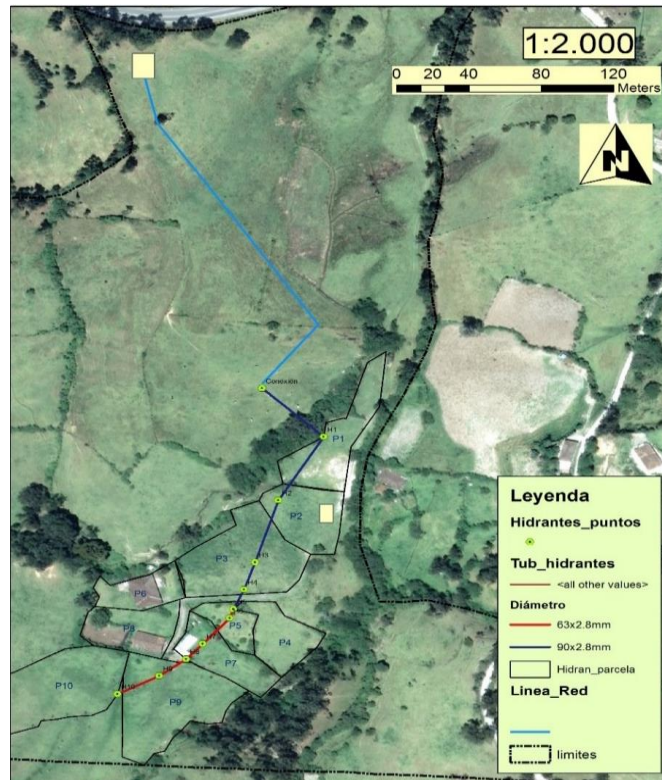


Figura 5 Diseño Hidráulico de la red de riego

Fuente: ArcGis

Elaborado: Autor

La tubería principal se compone de una sola red de alimentación para dejar en espera a los diez hidrantes. Además se dividió el área en diez parcelas para un mejor manejo.

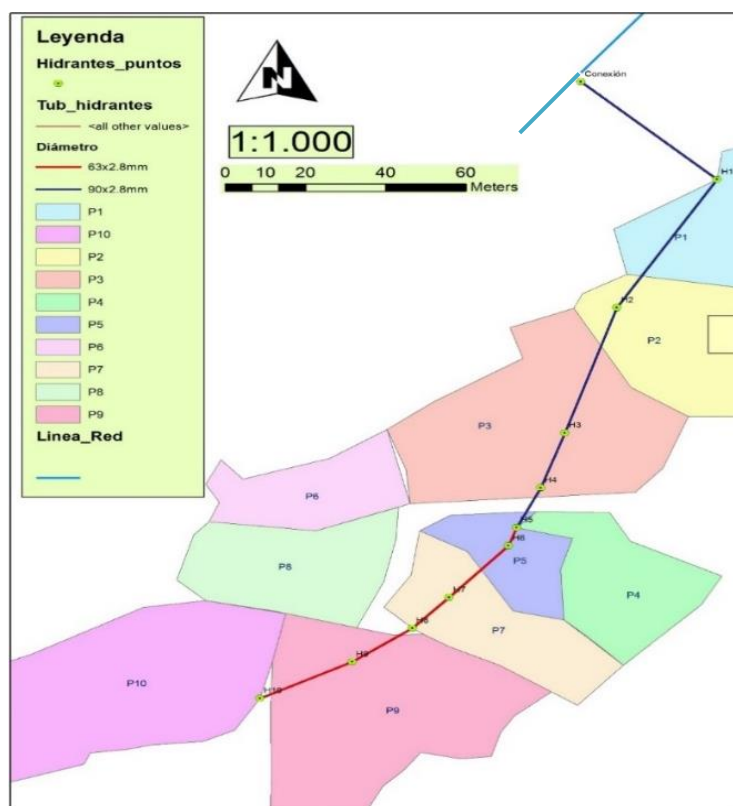


Figura 6 Estructura de la red de riego

Fuente: ArcGis
Elaborado: Autor

El cálculo para la tubería principal se realizó mediante la ecuación de Blasius (Tabla 9). Este se determinó para todas las parcelas de acuerdo al cálculo de diseño agronómico para los meses de máxima demanda que es de $0,00029 \text{ m}^3/\text{s}.\text{ha}$

Tabla 9. Cálculo de la tubería principal

DATOS		
f=	0,02	
ε=	0,0015	mm
(ρ/γ)=	5	50 m.c.a
T=	20 °C	
V=	0,5	2 m/s ²
v=	1,00586E-06 m ² /s	
TUBERÍA:	PVC	8 6
CODO 90	500	m
CODO 45	350	m
CODO 22	250	m
COMPUE	700	m
K=	33,3	
ρ=	1000	Kg/m ³
E=	1,70E+11	N/m ²
e=	0,0028	0,0031 m

NUDOS	LINEAS	LONGITUD (m)	LONGITUD ACUMULADA (m)	COTAS (m)	GRADIENTE J (m/m)	CAUDAL (l/h)	CAUDAL (m ³ /s)	DIÁMETRO TEÓRICO (mm)	DIÁMETRO COMERCIAL INTERNO (m)	DIÁMETRO COMERCIAL INTERNO (mm)	AREA (m ²)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	λ (BLASSIUS)	PERDIDAS POR BLASSIUS	λ (BARR)	PERDIDAS POR BARR	H _{fi} Acc	H _{fi} L.	PERDIDAS ACUMULADAS	COTA+PERDIDAS ACUMULADAS	CARGA EN EL NUDO (mca)	CUMPLE PRESIÓN	CUMPLE VELOCIDAD	CELERIDAD	GOLPE DE ARIETE FINAL (mca)	PRESION FINAL (Mpa)	PRESION DE TRABAJO DE TUBERIA (Mpa)	CUMPLE PRESION	
CNX				2345																										
H1	CNX-H1	48	48	2330	0,208	10688	0,0030	46,18	0,0844	84,4	0,00559	0,531	44527,186	0,0218	0,1779	0,0215	0,1753	0,0000	0,1779	0,1779	2330,1779	14,8221	CUMPLE	CUMPLE	305,222	16,5107078	31,3328	0,313	0,8	CUMPLE
H2	H1-H2	53	101	2333	0,069	10688	0,0030	46,18	0,0844	84,4	0,00559	0,531	44527,186	0,0218	0,1965	0,0214	0,1931	0,0000	0,1965	0,3744	2333,3744	11,6256	CUMPLE	CUMPLE	305,222	16,5107078	28,1363	0,281	0,8	CUMPLE
H3	H2-H3	43	144	2330	0,069	10688	0,0030	46,18	0,0844	84,4	0,00559	0,531	44527,186	0,0218	0,1594	0,0214	0,1566	0,0000	0,1594	0,5338	2330,5338	14,4662	CUMPLE	CUMPLE	305,222	16,5107078	30,9769	0,310	0,8	CUMPLE
H4	H3-H4	21	165	2325	0,091	10688	0,0030	46,18	0,0844	84,4	0,00559	0,531	44527,186	0,0218	0,0778	0,0214	0,0765	0,0000	0,0778	0,6116	2325,6116	19,3884	CUMPLE	CUMPLE	305,222	16,5107078	35,8991	0,359	0,8	CUMPLE
H5	H4-H5	6	171	2322	0,105	10688	0,0030	46,18	0,0844	84,4	0,00559	0,531	44527,186	0,0218	0,0222	0,0214	0,0219	0,0000	0,0222	0,6339	2322,6339	22,3661	CUMPLE	CUMPLE	305,222	16,5107078	38,8768	0,389	0,8	CUMPLE
H6	H5-H6	15	186	2324	0,086	10688	0,0030	46,18	0,0574	57,4	0,00259	1,147	65472,03	0,0198	0,3471	0,0197	0,3448	0,0000	0,3471	0,9809	2324,9809	20,0191	CUMPLE	CUMPLE	366,177	42,8255185	62,8446	0,628	1,25	CUMPLE
H7	H6-H7	31	217	2315	0,115	10688	0,0030	46,18	0,0574	57,4	0,00259	1,147	65472,03	0,0198	0,7172	0,0197	0,7126	0,0000	0,7172	1,6982	2316,6982	28,3018	CUMPLE	CUMPLE	366,177	42,8255185	71,1274	0,711	1,25	CUMPLE
H8	H7-H8	7	224	2310	0,134	10688	0,0030	46,18	0,0574	57,4	0,00259	1,147	65472,03	0,0198	0,1620	0,0197	0,1609	0,0000	0,1620	1,8601	2311,8601	33,1399	CUMPLE	CUMPLE	366,177	42,8255185	75,9654	0,760	1,25	CUMPLE
H9	H8-H9	19	243	2306	0,140	10688	0,0030	46,18	0,0574	57,4	0,00259	1,147	65472,03	0,0198	0,4396	0,0197	0,4368		0,4396	2,2997	2308,2997	36,7003	CUMPLE	CUMPLE	366,177	42,8255185	79,5258	0,795	1,25	CUMPLE
H10	H9-H10	25	268	2306	0,127	10688	0,0030	46,18	0,0574	57,4	0,00259	1,147	65472,03	0,0198	0,5784	0,0197	0,5747		0,5784	2,8781	2308,8781	36,1219	CUMPLE	CUMPLE	366,177	42,8255185	78,9474	0,789	1,25	CUMPLE

Fuente: Autor

Elaborado: Autor

Como se puede observar en la (tabla 9), cumple con la velocidad máxima, ya que no supera los 2 m/s, como también la velocidad mínima no decae de 0,5 m/s cumpliendo con las necesidades del sistema.

4.2 Resultados del objetivo 2: Implementar la red de riego en la Estación Agropecuaria UTPL

Se instaló un total de 267 m de tubería principal para conducción. Donde se utilizó 171 metros de tubería de 90 mm y 96 metros de tubería de 63 mm.

El resultado de la implementación se pueden observar en la galería de fotos a continuación.



Figura 7 Trazado de la red

Fuente: Autor
Elaborado: Autor



Figura 8 Excavación de la zanja

Fuente: Autor
Elaborado: Autor



Figura 9 Instalación de la tubería

Fuente: Autor

Elaborado: Autor



Figura 10 Implementación de los collarines

Fuente: Autor

Elaborado: Autor

4.3 Resultados del objetivo 3: Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión implementado.

Con los valores obtenidos en campo y ordenados en planillas se procedió a aplicar la formula

$$CU = \frac{q^{25}}{q_m} * 100$$

En la (tabla 10) se puede observar que en la parte alta del sistema, existe menos uniformidad debido a que los aspersores están casi al mismo nivel del reservorio de agua, lo cual no posee la presión necesaria para el funcionamiento adecuado de los dispositivos.

Por otro lado la zona que presenta mayor uniformidad en los emisores y caudales son los que se encuentran en la parte baja debido a la pendiente existente con mayor presión de agua y mejor funcionamiento de los aspersores.

Tabla 10: Coeficiente de Uniformidad

	Parte alta						Parte media						Parte baja					
	1	2	3	4	5	%	6	7	8	9	10	%	11	12	13	14	15	%
Total mm	2180,00	2140,00	2245,00	1765,00	1285,00		1430,00	1035,00	1400,00	1425,00	1495,00		2110,00	1390,00	1685,00	1545,00	1650,00	
Prom mm	128,24	133,75	132,06	98,06	67,63		71,50	51,75	82,35	71,25	74,75		124,12	81,76	93,61	77,25	82,50	
Prom L/h	0,09	0,09	0,09	0,07	0,05		0,05	0,03	0,05	0,05	0,05		0,08	0,05	0,06	0,05	0,06	
Q25% mm	51,25	50,00	38,75	41,25	42,50		46,25	30,00	56,25	23,75	36,25		52,50	56,25	53,75	56,25	51,25	
Q25% L/h	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03		0,03	0,02	0,04	0,02	0,02		0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	
CU	39,97	37,38	29,34	42,07	62,84	42,32	64,69	57,97	68,30	33,33	48,49	54,56	42,30	68,79	57,42	72,82	62,12	60,69

Fuente: Autor

Elaborado: Autor

De manera más clara se puede evidenciar, al comparar el porcentaje de coeficiente de uniformidad de acuerdo a la (figura 11).

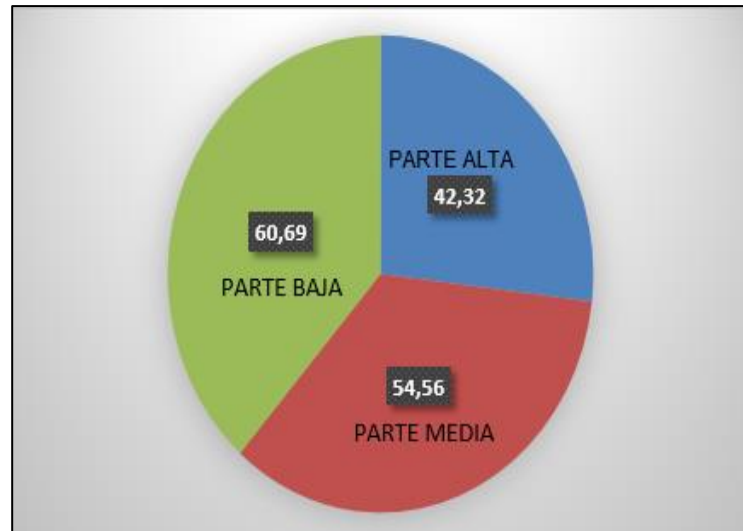


Figura 11: coeficiente de uniformidad

Fuente: Autor

Elaborado: Autor

Como podemos observar en la (figura 11) los coeficientes de uniformidad son bajos, ya que la uniformidad del riego por aspersión debe ser de 75% según (Liotta, 2000), en este caso el más alto es de 60,69, sin verse afectado el funcionamiento de los emisores.

CONCLUSIONES

- El diseño de riego fue satisfactorio, cumple con las necesidades de riego de las áreas en estudio, así como también de dotar de agua a la infraestructura de la Estación Agropecuaria de la UTPL.
- De acuerdo a la topografía del lugar y la pendiente existente, se vio la necesidad de regular la presión en el punto clave a través de un regulador de presión, para que el agua llegue con la presión necesaria para el buen funcionamiento de los aspersores.
- En cuanto a la uniformidad del riego existente, se pudo observar que no es uniforme ya que los porcentajes están por debajo del mínimo recomendado en la bibliografía citada que es de 84%.
- El volumen calculado del tanque de almacenamiento es de 300 m³ con material de geomembrana recomendado para tanques de almacenamiento de agua para riego.
- Se utilizó el riego por aspersión por ser el más adecuado para el tipo de cultivo y las características del terreno.

RECOMENDACIONES

- No dejar caer o golpear los tubos de pvc por lo que puede desastillarse o sufrir agrietamientos y podrían explotar por la presión del agua.
- Antes de comenzar a funcionar el sistema se debe hacer un lavado de las tuberías, sin acoplar los aspersores y evitar que objetos o impurezas taponen los dispositivos.
- Asegurarse que la tubería pvc para el uso esté debidamente enterrada para evitar el deterioro por los rayos ultravioleta como también por el pisoteo del ganado.
- Se necesita obras de readecuación del reservorio, en las que deba incluir desarenador y filtros.
- Colocar una cortadora en la entrada de agua al reservorio para evitar daños por el desbordamiento del agua.
- Utilizar un sistema de bombeo para un mejor funcionamiento de los aspersores y el riego sea más uniforme en la parte alta de la Estación Agropecuaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Bedoya, D. (2012). Evaluación de las relaciones biológicas y económicas entre la producción de las pasturas y la producción lechera del rebaño lactante CADET. Tumbaco, Pichincha., 1–79.
- Bourdin, A., Franco, J., & Burgos, M. (2015). *Respuesta física al riego suplementario y desarrollo de tecnologías de riego por melgas en pasturas artificiales*. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA FACULTAD DE AGRONOMÍA RESPUESTA. Retrieved from <https://www.colibri.udelar.edu.uy/bitstream/123456789/8789/1/3982bou.pdf>
- Cañar, V., & Villamarin, R. (2009). *Estudio de factibilidad de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de pasto en la hacienda de la brigada de fuerzas especiales N.-9 patria*. ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO SEDE LATACUNGA CARRERA.
- Cárdenas, C., & Vera, R. (2010). *Diseño y Cálculo de un Sistema de extracción localizada de Humos Metálicos y Gases Provenientes del Proceso de*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- Carrera, I. (2011). *Fertilización del Kikuyo Pennisetum dos sólidas y una líquida en tres niveles y dos frecuencias*. ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO.
- Chamba, D. (2016). Proyecto piloto en Yachay para un desarrollo sostenible del regadío en Ecuador: Aplicación al riego presurizado, 98.
- Charquero, C. (2010). Riego de pastura en ganadería. ABC color. Retrieved from <http://www.abc.com.py/articulos/riego-de-pastura-en-ganaderia-62698.html>.
- Corominas, J. (2010). Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería Del Agua*, 17(3), 219–233. <https://doi.org/10.4995/ia.2010.2977>
- Cuenca, L. (2011). *Valor nutritivo y digestibilidad de dos gramíneas de clima templado o sierra: kikuyo (Pennisetum clandestinum) y grama (Cynodon dactylon) a tres edades de cosecha*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA. Retrieved from [http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5473/1/Valor nutritivo y digestibilidad de dos gramíneas de clima templado o sierra kikuyo %28Penisetum clandestinum%29 y grama %28Cynodon dactylon%29 a tres edades de cosecha".pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5473/1/Valor%20nutritivo%20y%20digestibilidad%20de%20dos%20gram%C3%ADneas%20de%20clima%20templado%20o%20sierra%20kikuyo%20Penisetum%20clandestinum%29%20y%20grama%20Cynodon%20dactylon%29%20a%20tres%20edades%20de%20cosecha.pdf)
- Esteve, F. J. Z. De, Currie, F., & Héctor, M. (1999). Determinación de la eficiencia de

- aplicación en equipos de riego mecanizado en el área de influencia de Finca Tolloche , Salta ., (Chambouleyron 1993), 40–42.
- FAO, R. y Drenaje. (2006). Evapotranspiración del cultivo, p. 322.
<https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>
- Galindo, C. G. (1996). Cultivo de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) en la Provincia del Guayas ”, (1).
- Guerra Moscoso, M. A. (2009). Manual de Diseño de Sistemas de Riego a Gravedad y por Aspersión, 187.
- Guerrero, M. (2012). Diseño de un sistema de riego por aspersión con automatización para el sector de Ugñag, cantón Penipe, p. 190.
- INEC. (2013). *Encuesta de Superficies y Producción Agroecuarria Continua 2013*. Quito.
Retrieved from www.inec.gob.ec
- INEC. (2015). *Información Ambiental en la Agricultura*. Retrieved from
<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-agroambiental/>
- Jara, J., & Maldonado, H. (2011). Análisis y aplicación de un modelo de productividad para empresas del sector extractor de leche cruda caso agroindustrial: “Las Lolos.”
- Liotta, M. (2000). *Evaluación del coeficiente de uniformidad en equipos de riego presurizado*. San Juan. Retrieved from http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-evaluacion_de Equipos_de_riego_presurizado__2_.pdf
- Mancha, U. de castillas- la. (2016). ingenieriarural.com. Retrieved from
https://previa.uclm.es/area/ing_rural/
- Mendoza, J. C., Gruber, L., Torrealba, C., & Lugo, J. G. (2010). Diseño, construcción y evaluación de un equipo automatizado para riego por microaspersión. *Bioagro*, 22(3), 235–238. Retrieved from [/scielo.php?script=sci_arttext&pid=&lang=pt](http://scielo.php?script=sci_arttext&pid=&lang=pt)
- Pintado, J., & Vásquez, C. (2016). *Relaciones entre composición botánica, disponibilidad y la producción de leche en vacas a pastoreo en los sistemas de producción en el cantón Cuenca*. Universidad de cuenca.
- Ramos, M., & Báez, D. (2013). *Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión*

en una parcelademostrativa en el cantón Cevallos. ESPOCH.

Salas, A. . (2008). OpenCourseWare de la Universidad de Sevilla. Retrieved from <http://ocwus.us.es/>

Saldarriaga, J. (1998). *Hidráulica de Tuberías*.

Sánchez, A. (2013). *Diseño de alternativas técnicas en la transformación del riego superficial por inundación a riego tecnificado modular. caso de análisis: Ovalo Tunga, sistema de riego Mocha-Huachi*. Escuela Politécnica Nacional. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382012000200009&lang=pt

Sánchez, J. (2013). *Adaptabilidad de Pastos, en la Comuna Jurídica Cubinche, Tabacundo Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9833/1/YT00236.pdf>

Tapia, D. (2014). *Manual de Diseño de Sistemas de Riego Tecnificado*. Universidad Central del Ecuador.

ANEXOS

Medición de caudal



Aspersor senninger



Excavación de la zanja



Paso de la tubería por la quebrada



Cálculo del coeficiente de uniformidad

N° Pluviometro	Parte alta						Parte media						Parte baja					
	1	2	3	4	5	%	6	7	8	9	10	%	11	12	13	14	15	%
1	250	250	305	185	155		120	160	140	130	125		195	125	150	185	135	
2	210	460	315	130	100		90	80	100	105	110		175	100	120	105	95	
3	270	315	330	165	80		75	40	95	100	85		250	90	180	65	70	
4	95	70	35	220	80		75	30	85	85	110		85	80	120	75	65	
5	70	65	60	295	70		70	25	70	85	110		50	70	250	55	55	
6	60	60	55	45	60		65	25	100	80	75		45	65	55	70	50	
7	55	55	40	40	65		65	35	125	110	85		75	75	75	95	65	
8	50	50	45	35	45		60	40	75	100	65		70	60	65	65	70	
9	45	0	0	50	40		50	50	0	25	75		65	0	0	65	55	
10	0	0	0	0	0		50	50	0	25	60		0	0	0	55	40	
11	255	125	360	160	125		115	110	115	115	105		250	120	95	150	200	
12	165	115	140	100	70		90	55	70	100	90		190	105	85	80	100	
13	165	210	200	50	60		80	35	70	80	80		250	105	65	75	75	
14	195	150	115	60	60		85	35	70	70	70		155	90	75	60	60	
15	70	50	40	75	50		75	45	60	50	50		75	75	60	55	75	
16	110	55	70	60	50		65	50	60	35	55		65	60	50	45	65	
17	60	45	55	50	45		55	55	60	45	45		60	65	65	70	75	
18	55	65	35	0	40		60	35	55	40	40		55	55	55	50	100	
19	0	0	45	45	45		40	40	50	25	30		0	50	65	65	125	
20	0	0	0	0	45		45	40	0	20	30		0	0	55	60	75	
Total mm	2180	2140	2245	1765	1285		1430	1035	1400	1425	1495		2110	1390	1685	1545	1650	
Prom mm	128,2	133,8	132,1	98,1	67,63		71,5	51,75	82,4	71,25	74,75		124,1	81,76	93,61	77,25	82,5	
Prom L/h	0,085	0,089	0,088	0,07	0,045		0,048	0,035	0,05	0,048	0,05		0,083	0,055	0,062	0,052	0,055	
Q25% mm	51,25	50	38,75	41,3	42,5		46,25	30,00	56,3	23,75	36,25		52,5	56,25	53,75	56,25	51,25	
Q25% L/h	0,034	0,033	0,026	0,03	0,028		0,031	0,02	0,04	0,016	0,024		0,035	0,038	0,036	0,038	0,034	
CU	39,97	37,38	29,34	42,1	62,84	42,32	64,69	57,97	68,3	33,33	48,49	54,56	42,3	68,79	57,42	72,82	62,12	60,69

Presupuesto del Proyecto

DETALLE DE MATERIAL UTILIZADO	# HORAS UTILIZADAS	COSTO/HORA	COSTO TOTAL
MAQUINARIA			
RETROEXCAVADORA	20	20,00	400,00
MANO DE OBRA			
OBRERO 1	40	2,50	100,00
OBRERO 2	40	2,50	100,00
	CANTIDAD	V. UNITARIO	COSTO TOTAL
ACCESORIO			
TUBERIA DE 90mm	29	32	928
TUBERIA DE 63mm	16	16,5	264
VALVULA REDUCTORA DE PRESION DE 90mm	1	30,00	30,00
CODO DE 90° DE 90mm	1	8,20	8,20
TAPONES DE 3/4	10	0,30	3,00
UNION REDUCTORA DE 90MM A 63mm	1	3,00	3,00
TAPON 63 mm	1	3,00	3,00
COSTO TOTAL			1836,20