



POSGRADOS

MAESTRÍA EN

RECURSOS HÍDRICOS CON MENCIÓN EN GESTIÓN E INGENIERÍA DEL RIEGO

RPC-SE-03-NO.041-2020

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN
APLICADA Y/O DE DESARROLLO

TEMA:

“PROGRAMACIÓN DEL RIEGO Y
DISTRIBUCIÓN EQUITATIVA DEL
AGUA EN LA AGRICULTURA DE LA
COMUNIDAD AZAMA –UNORINCA,
PARROQUIA SAN LUIS, CANTÓN
OTAVALO”

AUTOR(ES)

WALTER FRANCISCO ARÉVALO RAMÓN

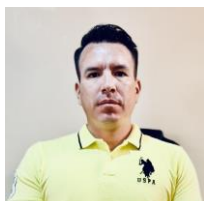
DIRECTOR:

CHARLES JIM CACHIPUENDO
ULCUANGO

QUITO – ECUADOR

2022

Autor(es):



Walter Francisco Arévalo Ramón

Ingeniero Agrícola

Candidato a Magíster en Recursos Hídricos con Mención en Gestión e Ingeniería del Riego por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

walterarevalo-88@hotmail.com

Dirigido por:



Charles Jim Cachipuendo Ulcuango

Ingeniero Agrónomo

Diplomado Superior en Evaluación de la Educación superior
Magister en Desarrollo Local con Mención en Formulación y Evaluación de Proyectos de Desarrollo Endógeno

ccachipuendo@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos e investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2022 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

Walter Francisco Arévalo Ramón

Medios de comunicación tradicionales y alternativos: "no "

DEDICATORIA

Está dedicada a Wilmar Coromoto Hernández Álvarez y María Paz Arévalo Hernández, por ser las mujeres de mi hogar y la inspiración para continuar superándome.

Walter Francisco Arévalo Ramón.

AGRADECIMIENTO

En el presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y no soltarme de la mano en el transcurso de mi vida, dándome paciencia y sabiduría para cumplir mis metas. A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente desde niño, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron. A mis hermanos, que siempre han estado apoyándome, y a mis hijos preciosos que me han enseñado la verdadera importancia de la vida.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	11
2.	Determinación del Problema	13
3.	Marco teórico referencial	15
3.1	Importancia de los sistemas de riego	15
3.2	Sistema de Riego	16
3.2.1	Sistema de riego presurizado	16
3.2.2	Riego por turnos	17
3.2.3	Riego a la demanda	17
3.2.4	Balance Hídrico	17
3.2.5	Evapotranspiración	17
3.2.6	Formas de expresar la evapotranspiración	18
3.2.7	Coeficiente de cultivo	19
3.2.8	Métodos indirectos para el cálculo de evapotranspiración	21
3.3	Precipitación efectiva	22
3.4	Diseño agronómico	23
3.5	Requerimientos de Agua del Cultivo	24
3.6	Demanda de agua del proyecto (Dp)	24
3.7	Módulo de riego (MR)	25
3.8	Diseño de redes en los sistemas de riego	25
3.9	Ubicación de los hidrantes	25
3.10	Trazado de la red	25
3.11	Determinación de los gastos circulantes por turno	26
3.12	Determinación de los diámetros de tubería	26
3.13	Determinación de los diámetros de tubería	¡Error! Marcador no definido.
3.14	Diseño hidráulico de obras principales	27
3.15	Captaciones	27
3.16	Sistemas de almacenamiento	28
4.	Materiales y metodología	29
3.1	Área de estudio	29
3.2	Metodología	29

3.2.1	Metodología primer objetivo	33
3.2.2	Metodología segundo objetivo	33
3.2.3	Metodología tercer objetivo	38
3.2.4	Metodología cuarto objetivo	38
3.2.5	Metodología quinto objetivo	38
3.2.6	Métodos de recolección de información	39
5.	Resultados y discusión	42
5.1	Línea base	42
5.1.1	Población, área de influencia, principales variables sociales	42
5.1.2	Variables sociales	42
5.1.3	Infraestructura física	43
5.2	Identificación de beneficiarios directos e indirectos	45
5.2.1	Área de influencia social directa (AISD)	45
5.2.2	Área de influencia social indirecta (AISI)	46
5.3	Análisis de oferta y demanda hídrica	46
5.4	Matriz del Marco Lógico	47
5.5	Viabilidad y plan de sostenibilidad	51
5.5.1	Viabilidad técnica	51
5.5.2	Componente económico productivo	51
5.6	Componente de tecnificación del riego	53
5.6.1	Trabajos previos para la tecnificación	53
5.7	Diseño agronómico	54
5.7.1	Parámetros agro-climáticos	54
5.8	Zonificación de áreas de riego	55
5.9	Necesidades Hídricas	55
5.10	Necesidades brutas y netas de riego (mm)	57
5.11	Diseño agronómico	57
5.12	Asignación de sectores y módulos de riego	58
5.13	Diseño hidráulico	62
5.13.1	Reservorios	62
5.13.2	Red de Distribución	63
5.13.3	Caudales de Diseño	63
5.13.4	Diseño del reservorio	65
5.13.5	Diseño de la red de distribución	66
5.13.6	Diseño de las tuberías secundarias	67

5.14	Diseño hidráulico de las estructuras del sistema de riego	68
5.14.1	Captación	68
5.14.2	Conducción	68
5.14.3	Presiones de diseño	69
5.14.4	Tuberías	69
5.14.5	Diseño Hidráulico	70
5.14.6	Requerimiento de válvulas de aire y desagüe	71
5.15	Componente territorial y ambiental	71
5.16	Componente social	73
5.17	Viabilidad financiera y económica	75
5.18	Análisis de sostenibilidad	78
5.18.1	Análisis de impacto ambiental y riesgos	79
5.19	Sostenibilidad social	80
5.20	Presupuesto	80
5.21	Cronograma de ejecución	81
5.22	Estrategia de seguimiento y evaluación	82
6.	Conclusiones	84
	▪ Respaldos del proyecto	91
	▪ Topografía	91
	▪ Catastros	91
	▪ Diseños hidráulicos y de obra civil	91
	▪ Memorias de calculo	91
	▪ Planos definitivos	91
	▪ Productos finales	91

“PROGRAMACIÓN DEL RIEGO Y
DISTRIBUCIÓN EQUITATIVA DEL AGUA EN
LA AGRICULTURA DE LA COMUNIDAD
AZAMA –UNORINCA, PARROQUIA SAN
LUIS, CANTÓN OTAVALO”

AUTOR(ES):

WALTER FRANCISCO ARÉVALO RAMÓN

RESUMEN

El presente proyecto de desarrollo está enfocado en la función sustentable del agua y del suelo para lograr eficiencia en el uso y aprovechamiento del recurso hídrico. A través de la descripción metodológica se propone crear un estudio de riego que maneje dos conceptos. El primero es el establecimiento de la programación de riego por usuario, según el padrón de usuarios y catastro. Y el segundo, un manejo hidráulico que representa una forma técnica, integral y sostenible de lograr la distribución equitativa del agua para riego.

Numerosos sistemas de riego en el país se han construido sin establecer mecanismos adecuados de reparto y distribución del agua, es así que varios proyectos de riego poseen monoflujos, es decir todo el caudal disponible en el sistema de riego en pocas horas, a manera de turno. Dichas cantidades de agua provocan erosión en los suelos y no permiten el desarrollo de la tecnificación del riego. Adicionalmente, generan problemas sociales en los regantes.

Esta tesis establece un caso práctico en el cual se visualizan todos los criterios técnicos, sociales, productivos, económicos y ambientales para el desarrollo de un estudio de riego que promueva la programación de riego con turnos y distribuciones hidráulicas adecuadas para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos y la distribución equitativa del agua en los sistemas de riego.

Tras la socialización de los resultados del presente proyecto se ha podido observar que las organizaciones de riego buscan este tipo de iniciativas para lograr una adecuada administración, operación y mantenimiento de los sistemas de riego. Asimismo, se evidenció que desde el punto de vista técnico es necesario visualizar estos conceptos.

Palabras clave: riego; socialización; reparto; distribución

ABSTRACT

This development project is focused on the sustainable function of water and soil to achieve efficiency in the use and exploitation of water resources. Through the methodological description, it is proposed to create an irrigation study that handles two concepts. The first is the establishment of irrigation programming by user, according to the user register and cadastre; and the second, hydraulic management, which represents a technical, comprehensive and sustainable way of achieving equitable distribution of water for irrigation.

Numerous irrigation systems in the country have been built without establishing adequate mechanisms for sharing and distributing water; Thus, several irrigation projects have monoflows, that is, all the flow available in the irrigation system in a few hours, in turn. These amounts of water cause soil erosion and do not allow the development of irrigation technology. Additionally, it generates social problems in the irrigators.

This thesis establishes a practical case in which all the technical, social, productive, economic and environmental criteria are visualized for the development of an irrigation study that promotes irrigation programming with shifts and adequate hydraulic distributions to satisfy the water needs of the crops and the equitable distribution of water in irrigation systems.

After socializing the results of this project, we have realized that irrigation organizations seek this type of initiative to achieve adequate administration, operation and maintenance of irrigation systems, and that from a technical point of view it is necessary to visualize these concepts.

Keywords: irrigation; socialization; distribution

1. INTRODUCCIÓN

La distribución o reparto del agua en los sistemas de riego debe contemplar criterios sociales y técnicos. Dentro de las Juntas de Riego los usuarios discuten y organizan una manera equitativa y oportuna de entregar la cantidad de agua para prevenir pérdidas de rendimiento y calidad de los productos agrícolas.

La programación y calendarización permite tener un comportamiento de la humedad del suelo, lo que posibilita una apreciación adecuada y precisa para la toma de decisiones con respecto a cuándo y cuánto regar. Adicionalmente, la programación logra satisfacer las necesidades de riego para la mayoría de los usuarios, permitiéndoles comprobar la cantidad adecuada de agua del suelo (Servín et al., 2017).

Para complementar la programación de riego propia de cada sector lo ideal es asociar el cálculo de las necesidades hídricas con la cantidad de agua existente en el lugar y la superficie cultivada de cada usuario. Interrelacionando las dinámicas de tenencia y distribución de los derechos del agua desde un enfoque social equitativo y técnico, contrastándolas frente a un escenario que evite los procesos de acumulación y despojo de la tierra y el agua, apoyados en la tecnificación de riego como una medida eficiente para establecer turnos y planificación de riego adecuadas para el desarrollo productivo y económico del sector.

Adicionalmente, la programación de riego ofrece ventajas en la optimización de la red hidráulica, disminución de la potencia energética y aumento de la eficiencia económica (Sanvicente & Frausto, 2003). Al programar el riego en la fase de diseño, los caudales circulantes por las tuberías son menores y por tanto puede existir una disminución en el costo total de los proyectos (Alduán & Montserrat, 2009). Es frecuente tener sistemas de riego con programación y turnos, especialmente en zonas rurales de baja tecnificación; allí los problemas están relacionados con cabecera de parcela en tema de caudales y automatización, o de regulación de caudales y presiones.

Desde el punto de vista social, el problema más frecuente en un proyecto de riego se evidencia en la socialización realizada con los usuarios. La mayoría de veces antes de la intervención de los proyectos de tecnificación no se toman en cuenta detalles que resultan importantes a la hora de brindar una solución más completa a los agricultores, priorizando únicamente el número de tuberías o aspersores instalados. No obstante, los agricultores requieren soluciones ajustadas a sus necesidades. Por tal motivo, el presente trabajo pone sobre la mesa otros elementos teóricos que permiten abordar de mejor manera el proyecto de tecnificación para la comunidad Azama-Unorinca del cantón Otavalo.

Además, coloca varios elementos de discusión a la hora de implementar proyectos de tecnificación, considerando criterios técnicos y sociales para la distribución equitativa del agua. Desde el punto de vista técnico, estos elementos deben proporcionar una entrega oportuna y satisfactoria de agua para el desarrollo productivo de los cultivos, otorgando al usuario un nivel de satisfacción y adaptación a sus actividades diarias. Desde el punto de vista social existen dos niveles: uno de diseño y otro de evaluación. Aportando con esto criterios para proyectos de desarrollo integrales que generen propuestas más apegadas a la equidad social y al mejoramiento de la calidad de vida de los campesinos.

Este trabajo le da al diseñador herramientas para la tecnificación que le permiten realizar una programación de riego más acercada con la realidad de los agricultores y con las características propias de cada sector. Dichos criterios se demostrarán con el Proyecto Azama –Unorinca, parroquia San Luis, cantón Otavalo.

2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Varios proyectos de riego presurizados en el país han sido construidos sin programación de riego, es decir sin establecer los turnos de riego, dando a paso a varios problemas entre los cuales se destacan: dificultad en la operación debido a la baja presión del sistema de riego, así como conflictos por el reparto de agua. Estos problemas pueden llevar a que el sistema de riego deje de operar.

La programación de riego es uno de los puntos más trascendentales del sistema de riego, ya que no solo abarca un tema técnico sino también social y productivo. Saber cuándo y cuánto se tiene que regar son las preguntas básicas de riego que corresponden al diseño. De igual forma, según la dinámica productiva los cultivos deben ser regados según sus condiciones edafológicas, climáticas como las propias del tipo de cultivo.

Desde hace varios años, la comunidad de Azama ha buscado la forma de acceder a agua para riego; no obstante, para irrigar la totalidad de sus predios han debido realizar una planificación de riego en virtud de la falta de agua. Es así que su problemática corresponde a un reparto de agua inequitativo y sin consensos comunitarios.

Azama posee un área productiva de 126.89 ha. Sin embargo, se dotará de riego a un área de 93.34 ha conforme el requerimiento hídrico versus el caudal disponible, que es de 20 l/s. En tal virtud, es necesario realizar una distribución adecuada del agua para evitar conflictos, y así mismo garantizar una adecuada operación del sistema de riego.

- Objetivos

Objetivo general

Establecer un sistema equitativo de distribución del agua en la agricultura, considerando el diseño hidráulico, agronómico, condiciones sociales, ambientales y económicas para lograr la sostenibilidad del sistema de riego de la comunidad

Azama, ubicada en la Parroquia San Luis, cantón Otavalo de la provincia de Imbabura.

Objetivos específicos

1. Actualizar el padrón de usuarios del sistema de riego mediante un levantamiento de información de los derechos y uso actual de agua y suelo, para identificar la superficie real de riego.
2. Realizar la programación del riego, analizando la necesidad hídrica y el aspecto social del sector para verificar si el agua concesionada a la comunidad es suficiente para regar la superficie de riego.
3. Realizar el diseño hidráulico de las redes de conducción y entregas parcelarias mediante *software*, para entregar las cantidades de agua exacta requerida en los predios.
4. Definir un plan de distribución mediante sectorización del módulo, utilizando turnos de riego para realizar una operación simultánea equitativa por sectores.
5. Establecer criterios para el desarrollo de programación de riego desde el punto de vista social y técnico.

3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

Se puede considerar a las economías familiares campesinas que dependen del riego en sus territorios para realizar un sistema de producción como un conjunto de actividades agrícolas, pecuarias y no agropecuarias, que se establecen por un productor y su familia, haciendo uso de la combinación de los medios de producción (tierra y capital) y mano de obra disponibles en un entorno socioeconómico y ecológico determinado (Dufumier, 2004).

El agua de riego consume grandes cantidades de agua, razón por la cual los cultivos necesitan agua a diario y en grandes cantidades, con el objetivo de que los cultivos crezcan y lleguen a ser un producto de calidad. En este contexto se evidencia la necesidad de que se realice la asignación del recurso agua de manera sostenible, ya que de ello depende la producción agrícola (Llerena Cepeda et al., 2017).

El reto para la agricultura familiar campesina es pasar de producir solo para autoconsumo (AF de Subsistencia) a una producción a mayor escala, usando métodos tecnificados de explotación, ahorro de recursos (energía renovable), utilización eficiente del recurso hídrico (método de riego apropiado) y acceso a financiamiento, mejorando con ello sus medios de vida (Soto Baquero et al., 2007).

El acceso al riego permite practicar la agricultura en lugares en donde de otra forma no sería viable; intensifica (incrementos en la productividad) y diversifica las cosechas, así como también contribuye al aumento del ingreso de los campesinos. Es por estas razones que “el riego además de contribuir a la tecnificación del riego, tiene un gran aporte al crecimiento sostenible del sector agropecuario” (Enciso Medina, 1993, p. 7).

El riego es concebido como una fuente que genera vida para la vida, es decir que incorpora agua de forma no natural a los vegetales, que a su vez sirven para la alimentación de los seres humanos (Cachipundo Ulcuango, 2021). La sostenibilidad de los recursos hídricos se convierte en una pieza clave para el uso

del agua en cantidad adecuada, tanto a escala local como global, para satisfacer las necesidades de los seres humanos y de los ecosistemas, para preservar la vida en el presente y en el futuro, y para proteger a los humanos de los estragos provocados por desastres, tanto naturales como causados por los seres humanos, que afectan al mantenimiento de la vida (Mays, 2003).

La disponibilidad del agua entregada para la agricultura se reduce por efectos de los cambios de los ciclos hidrológicos y por el crecimiento poblacional, por lo que se pone en riesgo la sustentabilidad de los sistemas de riego. Entendiéndose como sustentabilidad a la existencia de condiciones económicas, ecológicas y sociales que permitan el funcionamiento de una sociedad de forma armónica a lo largo del tiempo y espacio (Guime Baldión & Freire Serrano, 2019).

En un sistema de riego se desarrollan complejas relaciones que dan paso a cambios culturales, beneficios económicos, registros hidrológicos y propiedades hidráulicas. Para su articulación se generan acciones de gestión y manejo, incorporando las dimensiones de la sustentabilidad social, económica y ambiental y las dimensiones, política y tecnología-conocimiento del Buen Vivir (Cachipundo Ulcuango, 2021).

3.2 SISTEMA DE RIEGO

El Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos de Perú, define al sistema de riego como un conjunto de componentes que llevan agua desde la fuente a la parcela y la distribuyen sobre ella. El sistema de riego posee tres componentes: la infraestructura, la organización para su AOM, el sistema de producción y el componente ambiental que involucra caudales. Estos tres componentes en conjunto son vitales para que los proyectos de riego sean coherentes y funcionales (PRONAMACHCS, 2005).

3.2.1 SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO

Se denomina riego presurizado porque requiere de una determinada presión para operar. El agua puede ser obtenida por una diferencia de cota entre la fuente de agua y el sector a regar (Servín et al., 2017).

Servín et al. mencionan que los sistemas de riego presurizado tienen algunas ventajas, entre las que destacan: mayor eficiencia de aplicación; la medida de los caudales consumidos es relativamente sencilla y económica, pudiendo medir en la red general o a nivel de parcela; la regulación es más sencilla y económica; y finalmente se pueden aplicar fertilizantes directamente en el agua de riego desde el cabezal Servín et al. Existen diferentes maneras para el manejo de caudales entregados dentro de los sistemas de riego presurizado, entre los que destacan:

3.2.2 RIEGO POR TURNOS

Se diseña la red de la forma que cualquier usuario (parcela o toma) logre regar en el turno de tiempo que le corresponda (Garantía de suministro = 100%).

3.2.3 RIEGO A LA DEMANDA

Se diseña la red para que cualquier usuario (parcela o toma) pueda regar en cualquier instante con una garantía lo suficientemente grande (Garantía de suministro <100%).

3.2.4 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico especifica que el total de agua que penetra a un sistema debe ser igual al agua que sale de él, más la diferencia entre los contenidos final e inicial. Es decir: $\text{Ingreso} = \text{egreso} + \text{saldo}$ (Foro Peruano para el Agua, 2011).

3.2.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es el proceso mediante el cual la superficie terrestre devuelve a la atmósfera el líquido que se ha precipitado, a través de agua en forma de vapor, mediante dos procesos: a) uno eminentemente físico, que es la evaporación directa de la humedad del suelo, de las láminas de agua o espejos de agua, etc. Y b) la transpiración vegetal, que es un proceso biológico que se realiza a través de las plantas (Sanchez-Toribio & Sociedad Española de Geomorfología, 1992).

La evapotranspiración participa en el ciclo hidrológico al permitir la transferencia de agua entre la superficie terrestre y la atmósfera. Este proceso es un fenómeno complejo debido a la diversidad de factores que lo afectan. Entre éstos se destacan:

la vegetación de cobertura, la humedad del suelo, la transpiración vegetal y la evaporación directa del agua del suelo (Sánchez Martínez & Carvacho Bart, 2011).

La evapotranspiración es el conjunto de pérdidas, entre ellas físicas (evaporación) y biológicas (transpiración de las plantas) del suelo en vapor de agua.

Se expresa en mm por unidad de tiempo. Depende de factores de orden climático (radiación, humedad del aire, viento), relativos a las plantas (cubierta vegetal) y edáficos (tipo de suelo, estado de humedad del suelo), por lo que es conveniente distinguir entre evapotranspiración efectiva (cantidad de agua realmente transferida a la atmósfera) y evapotranspiración potencial (cantidad máxima, teórica, de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación y constantemente abastecido de agua). En relación con las precipitaciones recogidas, la ETP se usa mediante la fórmula de Penman – Monteith; los valores medios anuales son mayores en ambiente de Penman – Monteith (Instituto Geográfico Nacional de España, 2009, p. 1).

3.2.6 FORMAS DE EXPRESAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración de referencia (ETP o ETo) se define como la tasa de evapotranspiración de un cultivo sin restricción de agua, sin enfermedades y el suelo completamente sombreado, muy parecida a una superficie extensa de pasto verde con altura uniforme que crece activamente (Sánchez Martínez & Carvacho Bart, 2011).

La ETP cambiará según el tipo de cultivo y su etapa fisiológica, ya que estos factores determinan el flujo del agua por los estomas. La unidad que representa a la evapotranspiración es mm d⁻¹, aunque también es frecuente expresarla en m³ ha⁻¹ y se puede transformar a dichas unidades considerando que 1 mm = 10 m³ ha⁻¹.

Evapotranspiración Real (ETR): es la que se produce en las condiciones de campo. Se asume que la ETR es aquella que se genera en un campo de gramíneas (cultivo de referencia) de 12 cm de altura, con suficiente agua para un desarrollo óptimo y con determinadas características aerodinámicas y de albedo (Chavarri, 2004). Por

lo tanto, la ETR es menor o igual a la ETP. Para entender mejor este concepto se puede comparar la ETP en el desierto, que puede ser de 7 mm d-1, con la ETR que será 0 mm d-1 puesto que no hay cultivos que evapotranspiren. La ETR será igual a la ETP cuando el suelo contenga una humedad óptima para el desarrollo de cultivos que le permita generar un desarrollo vegetal adecuado. Esto se logra en superficies con cobertura vegetal sana y que tengan un buen sistema de riego.

La evapotranspiración potencial de un cultivo de referencia (ET_o) fue definida por la Organización para las Naciones Unidas para la Alimentación, FAO (1975) como la Tasa de evaporación en mm/día de una extensa superficie de pasto, en crecimiento activo, qcon sombra y que no sufre escasez de agua (Chavarri, 2004).

Evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar (ET_c): es la evapotranspiración que se produciría en un cultivo especificado, sano, bien nutrido y en condiciones óptimas de humedad del suelo. Es igual a la ET_o multiplicada por un coeficiente correspondiente al tipo de cultivo (K_c), es decir, $ET_c = ET_o * K_c$ (Loaiza et al., 2015).

3.2.7 COEFICIENTE DE CULTIVO

El coeficiente de cultivo (K_c) es la relación entre suelo-agua-planta y determina el requerimiento hídrico de los cultivos. El K_c está relacionado con las fases de crecimiento del cultivo y se define a través de la curva de K_c, que describe cuatro fases fenológicas: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedia, y final de temporada. El coeficiente K_c varía principalmente en el desarrollo, densidad, fechas de siembra, métodos de riego, características específicas del cultivo y el clima. Por esta razón los coeficientes K_c suelen estandarizarse en regiones con climas similares. Sus valores oscilan entre 0.3 y 1.3, llegando a alcanzar su máximo valor cuando el cultivo llega a tener una cobertura aproximada del 70 % (Allen y otros, 2006).

El coeficiente de cultivo (K_c) desempeña un papel esencial en diversas prácticas agrícolas y ha sido ampliamente utilizado para estimar la evapotranspiración del cultivo en la programación de la irrigación (El-Shirbeny y otros, 2014).

El K_c cumple la función de transformar la evapotranspiración del cultivo de referencia a evapotranspiración de cualquier cultivo en estudio, considerando la fase fenológica (Basso y otros, 2016).

Fase inicial: se considera desde la siembra hasta que el cultivo alcanza un 10% de la cobertura del suelo .

Fase de desarrollo: empieza cuando termina la etapa anterior, y va hasta el crecimiento activo de la planta (Allen y otros, 2006).

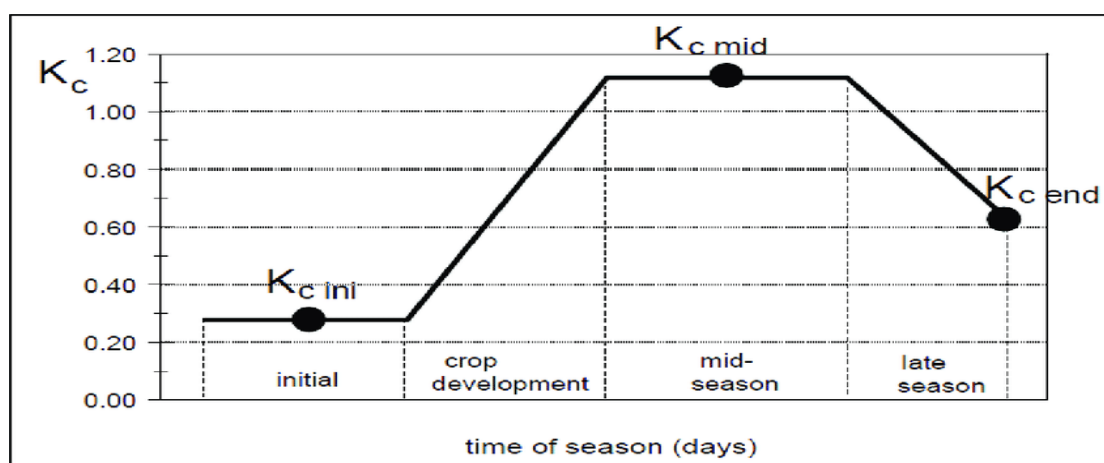
Fase intermedia: va desde la floración hasta que el cultivo alcanza el 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo. Y la fase final se da desde la madurez hasta la cosecha (Allen y otros, 2006)

Evapotranspiración de un cultivo en condiciones no estándar: es la evapotranspiración que se produciría cuando no se cumplen las condiciones ideales que se han indicado anteriormente.

Es preciso ajustar el coeficiente del cultivo (K_c) si las plantas no están bien desarrolladas o no cubren toda la superficie, y para ello se multiplica el valor por el K_c , que depende de la humedad del suelo (Marini et al., 2017).

Figura 1.

Curva de K_c de los cultivos



Nota: Fuente: (FAO, 2006, pág. 100)

3.2.8 MÉTODOS INDIRECTOS PARA EL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

De acuerdo a Marcela Sánchez Martínez y Luis Carvacho Bart en el artículo *Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile (2011)*, existen numerosas fórmulas que permiten estimar la ETP. Los métodos de medición indirectos son los más utilizados en los estudios geográficos y medioambientales, con una aproximación según las condiciones del lugar. No obstante, para conocer qué métodos existen y dónde tendrían mejor aplicabilidad, éstos se presentan en detalle en la Tabla 1.

Tabla 1.

Métodos indirectos de cálculo de ETP.

Método	Parámetros climáticos	Observaciones
Thornthwaite (Almorox, 2010).	Temperatura media y radiación solar.	También se puede obtener la heliofanía de una tabla según la latitud del sector.
Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985).	Temperaturas medias máximas y mínimas, además radiación solar.	Según la literatura, este método tiene tres fórmulas basadas en radiación y temperatura.
Blanney Criddle (Chavarri, 2004).	Temperatura.	Tablas de número teórico de horas de sol que depende del cultivo.
Pennan Monteith (Chavarri, 2004).	Temperatura, horas reales de sol, velocidad del viento y humedad relativa.	De las horas de sol se obtiene la radiación global incidente con una fórmula.
Turc (Higgins <i>et al.</i> , 2011).	Temperatura, humedad relativa e insolación.	De las horas de sol se obtiene la radiación global incidente (cal/cm^2) con una fórmula.
Jensen – Haise (Higgins <i>et al.</i> , 2011).	Temperaturas máximas y mínimas horas de sol al día y radiación.	Es un método que estima varios valores.
Stephens Steeart (Higgins <i>et al.</i> , 2011).	Temperatura.	Este método se realizó a partir del método de Jensen-Haise.
Priestley Taylor (Higgins <i>et al.</i> , 2011).		En una superficie evaporante, si no hay limitación de agua, la atmósfera se mantiene en equilibrio con la superficie.

Los métodos empíricos para el cálculo de la ETP requieren información que resulta un poco más fácil de conseguir, como es la temperatura. De esta forma se puede estimar de manera indirecta el valor de ETP con un cierto nivel de (Marini, Santamaría, Oricchio, Di Bella, & Basualdo, 2017).

Como se explicó anteriormente, el uso de estos métodos depende de la información disponible. En el Ecuador, los métodos para evapotranspiración más usados en diversos proyectos de riego son los que se pueden ver en la Tabla 1.

La información recolectada de diversos proyectos de riego indican que el método indirecto más utilizado es Penman – Monteith, pero varía según los siguientes parámetros:

- Datos climatológicos continuos con serie de años considerable.
- Características climatológicas y orográficas similares a la zona de influencia del

sub-proyecto.

3.3 PRECIPITACIÓN EFECTIVA

El Sistema de Información Climática para el Regadío (SIAR) define a la precipitación efectiva como la fracción de la precipitación utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo, por tanto se excluye, entre otros, como la evaporación de la superficie del suelo (Calera et al., noviembre 2016).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO- en el informe *El Estado mundial de la agricultura y la alimentación* (1978), define a la precipitación efectiva como aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. La precipitación efectiva depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros (FAO, 1978).

Para el Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, CONGOPE (2016), la cantidad de agua aprovechada por las plantas es igual a la lluvia total, menos la escorrentía superficial, menos la evaporación, y menos la percolación

profunda. A la cantidad de agua que es aprovechada por las plantas se denomina precipitación efectiva (Pe). Se dice también que precipitación efectiva es la parte de la lluvia almacenada en la zona radicular y disponible al cultivo para su uso (CONGOPE, 2016). En buena medida, esta investigación se fundamenta en ese marco teórico y conceptual que será discutido y contrastado de manera amplia a lo largo de este trabajo.

3.4 DISEÑO AGRONÓMICO

El diseño agronómico es un componente fundamental en el diseño de los sistemas de riego. Este se define como el proceso que ha de garantizar que la red hidráulica del sistema sea capaz de suministrar, con una óptima eficiencia de aplicación, las necesidades hídricas del cultivo durante el periodo de máximo consumo, humedeciendo el volumen del suelo necesario para su desarrollo (Villafáfila & Wyss, 2009).

El diseño agronómico se compone en dos fases. 1) Cálculo de las necesidades de agua de las plantas: se refiere a la cuantificación de 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 a efecto de diseñar los sistemas de captación, distribución, aplicación del agua y poder así planificar cuánto se puede regar y en qué tiempo hacerlo. La evapotranspiración como tal se entiende como la evaporación que se produce desde una superficie extendida, cubierta por una vegetación herbácea cuyo suelo se encuentra bien dotado de agua (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2007).

2) Determinación de la dosis, frecuencia y tiempo de riego: los requerimientos de riego se expresan usualmente en términos de lámina de agua por unidad de tiempo. Por ejemplo, mm/día. Una variable esencial en el diseño de los sistemas de riego es la estimación de la cantidad de agua que debe aplicarse a lo largo del ciclo del cultivo, y específicamente la demanda máxima o pico para dimensionar la red hidráulica en condiciones críticas. Existe una relación directa entre la lámina y el intervalo de riego; a medida que la frecuencia aumenta, el intervalo del riego se

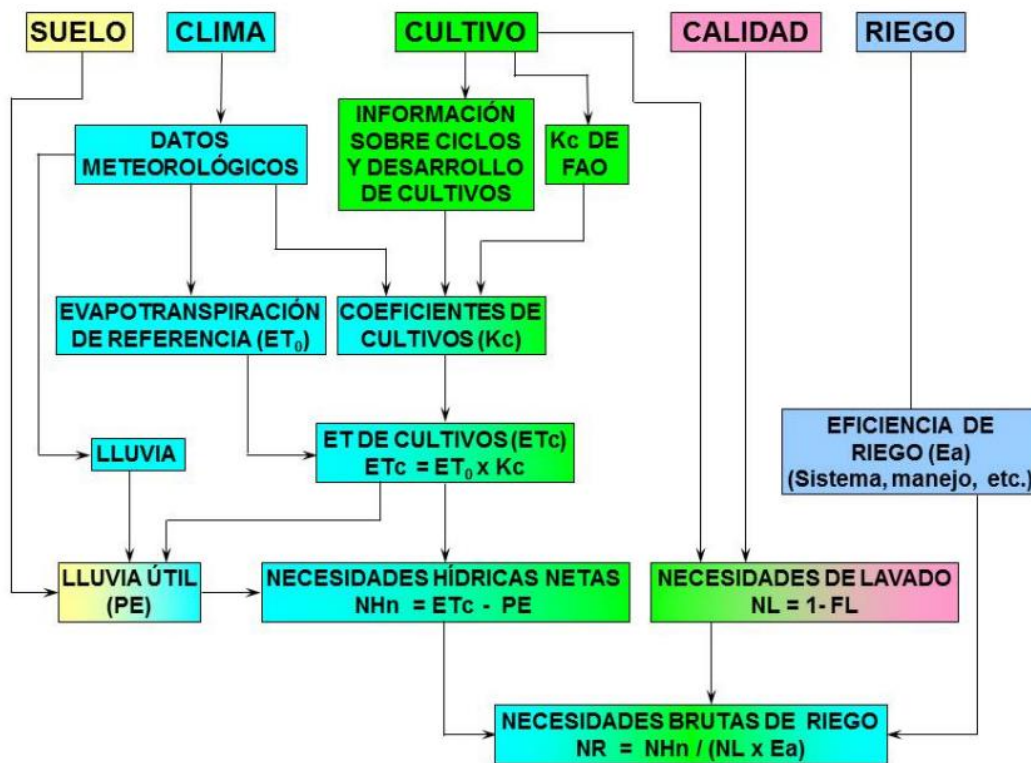
acorta. La lámina de riego requerida también disminuye, ya que en el periodo de consumo de agua de los cultivos considerados es menor.

3.5 REQUERIMIENTOS DE AGUA DEL CULTIVO

Como se puede apreciar en la figura 2, para poder realizar los cálculos de requerimientos de riego del cultivo es necesario disponer de datos sobre el clima de la zona y las características del riego utilizado.

Figura 2.

Esquema de Cálculo de Necesidades de Agua de los 15 Cultivos



Nota. Fuente: <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/establecimiento-de- calendarios-de-riego-en-sistemas-de-riego-por-aspersion>

3.6 DEMANDA DE AGUA DEL PROYECTO (DP)

Para el cálculo de la demanda de agua de un proyecto se debe tener en cuenta todas las pérdidas resultantes del sistema de distribución del agua de riego y de la aplicación del agua al cultivo.

3.7 MÓDULO DE RIEGO (MR)

Es el volumen de demanda registrada es el más crítico, entre el tiempo expresado en segundos, en un mes determinado.

3.8 DISEÑO DE REDES EN LOS SISTEMAS DE RIEGO

Una vez que se cuenta con información topográfica y climatológica, el proceso para el diseño y dimensionado de la red contiene las siguientes etapas: ubicación de los hidrantes; trazado de la red; determinación de los gastos que circulan por cada una de las líneas; y finalmente, la determinación de los diámetros de las tuberías.

Se advierte que el diseño de las redes hidráulicas ha estado impregnado de una base fuertemente intuitiva; normalmente el proceso de diseño se basa en la experiencia y el juicio personal del proyectista, quien determina lo que le parece razonable.

3.9 UBICACIÓN DE LOS HIDRANTES

Los hidrantes suelen colocarse a pie de parcela o para suministrar el agua a varias parcelas. No existe literatura científica o documentación que aborde con rigor la ubicación de los hidrantes en la red de distribución, es posible que el motivo esté relacionado con dos principales condicionantes que afectan a dicha tarea: la configuración parcelaria y el sistema de riego empleado.

Las tomas serán colectivas para pequeñas parcelas menores a 3 hectáreas, e individuales para las superiores a 5 ha. Finalmente, se puede decir que la colocación de hidrantes se sustenta en una serie de criterios y recomendaciones prácticas y empíricas en las que el componente de experiencia previa del proyectista, su inteligencia y el azar, conducen a mejores o peores soluciones.

3.10 TRAZADO DE LA RED

El elemento fundamental de la red de riego a presión es la propia red, la cual está constituida por las conducciones que distribuyen el agua desde el punto de inyección a la totalidad de puntos de consumo o hidrantes que ya se estarían

previamente definido. El trazado de las conducciones está principalmente condicionado por la facilidad de ejecución, así como de detección de averías y de acceso para reparación y mantenimiento. Como consecuencia, en la mayoría de los casos el trazado de conducciones se realiza siguiendo los márgenes de caminos, límites de parcelas, etc.

3.11 DETERMINACIÓN DE LOS GASTOS CIRCULANTES POR TURNO

La fijación de los caudales por turno consiste en aplicar la ecuación de la continuidad en cada uno de los nodos de la red en los que se produce consumo en un momento determinado, y acumular los caudales desde los nodos finales hasta los primeros. Así se tendrán tantos estados de carga como sectores en lo que se divida la red.

3.12 DETERMINACIÓN DE LOS DIÁMETROS DE TUBERÍA

Esta es la última etapa del proceso y el dimensionamiento de la red básicamente consiste en formular matemáticamente el problema de optimización del total de los costos anuales en los que se incurre, tanto de instalación como su posterior utilización, cumpliendo las restricciones.

Los factores reñevantes a ser considerados dentro de la determinación de los diámetros de tubería son: ecuación de la continuidad; ecuación de la energía; presiones máximas y mínimas en los nodos dentro de su rango; los diámetros máximos y mínimos posibles a adoptar dentro de un rango; velocidad máxima de circulación en las líneas.

3.13 DISEÑO DE LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN

Para el diseño de las tuberías hay que tener en cuenta la siguiente recomendación en cuanto a las fórmulas a utilizar. Para diámetros mayores a 75mm (3"), se utiliza la fórmula de Hazen Williams (Ecuación 1)

Ecuación 1. Ecuación de Hazen Williams

$$hf = \frac{10^7 * L}{5.813 * C^{1.85} * D^{4.87}} * Q^{1.85} \quad (1)$$

Dónde:

Hf: pérdida de carga total (m).

L: longitud de la tubería (Km).

Q: caudal de la tubería (l/s).

C: coeficiente de fricción, varía de acuerdo al material de la tubería.

D: diámetro de la tubería (pul).

3.14 DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS PRINCIPALES

Las principales obras complementarias para los diseños de riego son: captaciones, conducciones y obras de almacenamiento. En los acápites anteriores se habló sobre las redes de conducción, a continuación se detallarán las captaciones y obras de almacenamiento.

3.15 CAPTACIONES

Según Arévalo Pulla & Barahona Barahona (2013) “las obras de captación son las obras civiles y equipos electromecánicos que se utilizan para reunir y disponer adecuadamente del agua superficial o subterránea. Dichas obras varían de acuerdo con la naturaleza de la fuente de abastecimiento, su localización y magnitud”. Para el diseño de las obras de captación se debe considerar datos hidrológicos como: gasto medio, máximo y mínimo, niveles de agua y características de erosión. Así mismo, se puede mencionar que existen diversos tipos de obra que dependen de las características hidrológicas de las fuentes de agua y pueden clasificarse en los siguientes grupos: superficie libre, estaciones de bombeo, canal de derivación, captación directa.

3.16 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Según Arévalo Pulla & Barahona Barahona (2013), dentro de la ingeniería civil los tanques contenedores de líquidos constituyen un rol importante para el almacenamiento, abastecimiento y tratamiento de distintos tipos de líquidos como agua, hidrocarburos, líquidos especiales, aguas residuales, etc. En este caso, la intención es almacenar agua para dotar de riego. La clasificación puede ser por los materiales de construcción, por ejemplo mampostería, hormigón armado, tanques plásticos o metálicos, entre otros conceptos y teorías que iluminan el análisis y la interpretación de los resultados de la investigación.

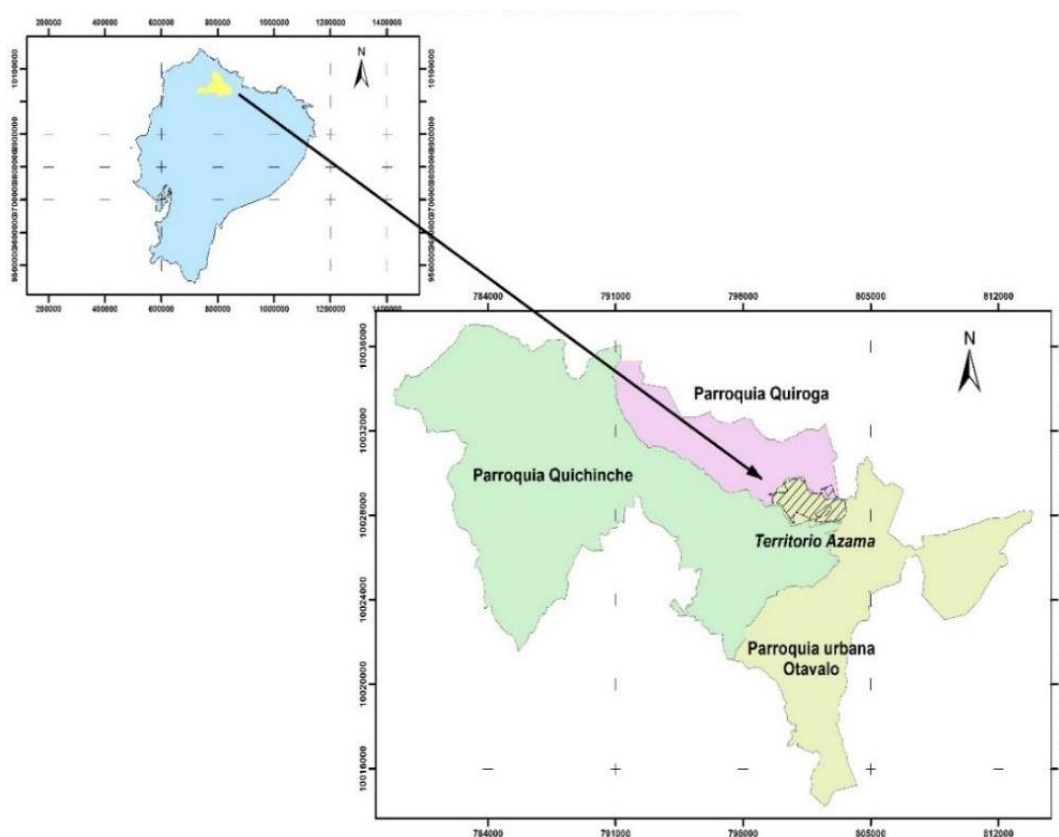
4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se desarrolló en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, parroquia San Luis, comunidad Azama, tal como se detalla en la figura 3.

Figura 3.

Ubicación Administrativa de la Comunidad de Azama



3.2 METODOLOGÍA

El proceso de diseño del proyecto se basó en diversas técnicas y herramientas, las cuales se fueron adecuando según los objetivos planteados. La metodología se describe a continuación.

Como primera actividad se realizó una actualización, verificación y seguimiento de los catastros manejados por la junta de riego para corroborar la información de la

lista con la realidad del levantamiento topográfico efectuado en el proyecto. Bajo esta disposición, el documento final de la actividad contiene:

- La actualización de la lista de usuarios catastrados y no catastrados, con información de derecho de uso de agua que dispone y superficie total.
- Número de lotes identificados en plano, con la información de superficie actualizada, nombre de usuario y cantidad de derecho de uso de agua que dispone.
- Detalle de cultivo o cultivos presentes en cada lote, especificando la superficie de cada cultivo dentro del lote. Para esto se deberá realizar la toma de fotografías aéreas con el uso de un dron que permitirá complementar el levantamiento topográfico.

Como segunda actividad se realizó la programación del riego que consiste primordialmente en determinar los requerimientos hídricos de los cultivos del área de influencia de cada proyecto; es decir se calculó la cantidad de agua que necesita el cultivo para su normal desarrollo, dependiendo de los factores edafológicos, climatológicos y otros propios de los cultivos. Por otro lado, se determinó el emisor por implementar, de acuerdo con la necesidad de la zona, sus distanciamientos, caudales, intervalos y período posición.

Para realizar el cálculo del diseño agronómico se deben conocer las condiciones topográficas, edafológicas, hidrológicas y climáticas de la zona en estudio. Para ello se realizó el levantamiento de la información necesaria obtenida de las estaciones hidrometeorológicas cercanas a la zona de intervención. Con esto se realizó el procesamiento de la información. Se obtuvo la información climática referente a temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad de viento y radiación solar, así como la ubicación geográfica para el procesamiento de los datos. Los datos de precipitación se obtuvieron interpolando los datos de las estaciones hidrometeorológicas y pluviométricas de la estación M015. Este análisis determinó el caudal específico expresado en l/s/ha. Con la eficiencia del proyecto se determinó la superficie regada efectiva futura. Se determinó el potencial hídrico disponible (escurrimientos anuales, medios mensuales, caudales máximos en época de lluvia y

caudales mínimos en período seco), aplicando modelos de relación lluvia – escorrentía, según las características de la cuenca. En caso de carencia de información, se aplicó el Método Racional, justificando los valores adoptados y diferenciando coeficientes de escorrentía según los períodos húmedos y secos del año.

Una vez procesada la información climática referente a temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad de viento y radiación solar, así como la ubicación geográfica, se determinaron los siguientes factores:

- Evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o).
- Distribución de la cédula de cultivos.
- Coeficientes de cultivo (K_c).
- Evapotranspiración real o de cultivo (E_t).
- Balance hídrico.
- Eficiencia de riego para el proyecto.
- Requerimientos hídricos del sistema.
- Demandas netas y brutas (mm/día).

Determinados los requerimientos hídricos, se procedió a realizar los diseños hidráulicos respectivos, considerando los parámetros de riego en función de una propuesta parcelaria en base a la eficiencia, contemplando los parámetros del emisor.

Para socializar las jornadas de riego se expuso a los usuarios de la comunidad las ventajas y desventajas de al menos tres alternativas de aplicación de sus horas de riego y los beneficios que podría producir cada alternativa.

Se definió un plan de distribución para determinar los turnos y jornadas de trabajo en el sector, así como se trabajó en la preparación de material didáctico. Dichas alternativas estuvieron direccionadas y cercanas a las labores diarias de los

agricultores de la comunidad de Azama (ejemplo: Jornada 6 horas de riego, 6H00-9H00 y 15H00-18h00; frecuencia de 7 días; asignación del día de riego), determinando así si el tiempo de operación del sistema corresponde al número de horas de trabajo al día en las que el sistema se encontrará en funcionamiento. El número de horas restantes corresponden al tiempo en el que el caudal disponible se destine para almacenamiento (nocturno), con el fin de generar la carga hidráulica suficiente para el siguiente día de operación.

Es por esta razón que el tiempo de operación del sistema influye directamente en la capacidad con la que se diseñará la obra de almacenamiento principal del sistema. El tiempo de operación se determina en función de las condiciones geográficas de la zona de intervención y del sistema de riego que se emplea para la misma.

Por efecto de control hidráulico y social del sistema, la zona de intervención se fraccionó en sectores de riego, los mismos que poseen características hidráulicas y de superficie similares, con el fin de realizar una operación simultánea equitativa por sectores.

La sectorización responde a la superficie a intervenir y al caudal de diseño establecido para el sistema, de tal manera que cada sector posee un caudal determinado que le permite la operación con riegos simultáneos.

Para finalizar, se realizó un manual de operación y metimiento, considerando los principales aspectos como:

Un inventario de los componentes de la infraestructura que necesitan mantenimiento.

La identificación del tipo, la complejidad y la periodicidad de los trabajos de mantenimiento necesarios, que pueden variar de acuerdo con la intensidad del uso y las fluctuaciones en la calidad del agua.

La determinación de fechas de ejecución de trabajos de mantenimiento.

La determinación de las necesidades de mano de obra para llevar a cabo el mantenimiento.

La elaboración de un presupuesto y el establecimiento de prioridades pertinentes.

La disponibilidad de recursos (propios o gestionados) para ejecutar procesos de mantenimiento.

3.2.1 METODOLOGÍA PRIMER OBJETIVO

Se actualizó el padrón de usuarios del sistema de riego mediante un levantamiento de información de los derechos y uso actual de agua y suelo, con lo cual se pudo identificar la superficie real de riego.

Se realizó junto a los dirigentes y con el apoyo de *Google Maps* la delimitación de la zona de estudio, con la finalidad de obtener el polígono de intervención.

Se realizó el vuelo del área delimitada con el apoyo de un dron, a 150 metros de altura.

Se convocó a una reunión en la que se les mostró la Figura del área delimitada para que cada usuario identifique sus predios y así poder construir el área de riego y el catastro.

Con la ayuda de la Figura se determinó el catastro de cultivos.

3.2.2 METODOLOGÍA SEGUNDO OBJETIVO

Se realizó la programación del riego; para ello se analizó la necesidad hídrica y el aspecto social del sector, para verificar si el agua concesionada a la comunidad es suficiente para abarcar la superficie de riego.

Tras la identificación de los cultivos y el catastro de predios se procedió a realizar el análisis de áreas potenciales a irrigar.

Se realizó el cálculo del diseño agronómico, determinando el caudal ficticio continuo con el que se calculó el área máxima a irrigar.

Se procedió a establecer el área máxima de riego por cada usuario.

Con el apoyo del catastro de cultivos y el diseño agronómico, se obtuvo tiempo y frecuencia de riego.

Se seleccionó el emisor adecuado para irrigar cada predio y cada cultivo.

Se realizó la agrupación de lotes según el caudal determinado para irrigar todos los días, formando así los sectores de riego. Asimismo, se agruparon los predios cercanos considerando el tiempo de riego, con la finalidad de formar los módulos de riego.

Se estableció el número de emisores por cada usuario y por cada predio.

Se socializaron los resultados con los usuarios por lote y número de emisores por predio.

Análisis de variables climatológicas

Determinación de las variables: todos los parámetros climáticos fueron sometidos a un análisis de estadísticas descriptivas y a un análisis de tendencia. Para el análisis estadístico se determinó la media (\bar{X}), mínima (Mín), la máxima (Máx), desviación estándar (D.E) y el coeficiente de variación (C.V.) (Ecuación 2).

$$\hat{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (2)$$

Dónde:

X_i : Valores mensuales individuales de toda la serie histórica.

\bar{X} : Media aritmética.

N : Número de datos.

Ecuación 2. Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Dónde:

xi: Valores mensuales individuales de toda la serie histórica.

X: Media aritmética.

N: Número total de datos.

Los valores de desviación estándar señalan la dispersión promedio de los valores mensuales de las variables climatológicas con respecto a su promedio.

Análisis de la probabilidad de precipitaciones

En el manual técnico producido (FAO, Captación y almacenamiento de agua lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe, 2013) proponen un método sencillo para estimar la lluvia para diferentes niveles de probabilidad (Ecuación), el mismo que se detalla a continuación.

Ecuación 3. Ecuación de Probabilidad

$$P(\%) = \frac{m - 0.375}{N + 0.25}$$

Dónde:

P: Probabilidad (%).

m: Número de Orden (número según su orden de mayor a menor).

N: Número total de observaciones.

Al ordenar los datos de mayor a menor, se calcula la probabilidad según el número total de observaciones.

La precipitación probable es la precipitación con una probabilidad de ocurrencia del 75%, considerando que es una variable continua, es decir, en una serie de datos de cuatro años. En tres de ellos se producirán valores mayores o iguales al estimado, de esta forma solo en un año se producirán valores menores al estimado.

Ecuación 4. Fórmula de Precipitación Efectiva.

Valor de P75 menor a 250 mm.

$$Pe = \frac{P_{75} * (125 - 0,2 * P_{75})}{125}$$

Valor de P75 mayor a 250 mm

$$Pe = 125 + 0,1 * P_{75}$$

Dónde:

Pe: Precipitación efectiva.

P75: Precipitación probable 75%

Cálculo de evapotranspiración método Penman – Monteith

Ecuación 5. Fórmula de Penman – Monteith

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)}$$

Dónde:

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm día-1).

Rn: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2 día-1).

G: Flujo del calor del suelo (MJ m-2 día-1).

T: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C).

u_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura (°C).

e_s : Presión de vapor de saturación (kPa).

e_a : Presión real de vapor (kPa).

$e_s - e_a$: Déficit de presión de vapor (kPa).

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1.)

γ : Constante psicrométrica (kPa °C-1).

Coeficiente de cultivo Kc

Los valores del coeficiente de cultivo utilizados para modelación del balance hídrico proceden de una investigación sobre el rendimientos de maíz híbrido en Loja, denominada Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado (*Zea mays* l.) en la parroquia Malacatos sector San José (Yanangómez & Reinoso Acaro, 2018) En dicha investigación se determinaron las etapas de duración por cada ciclo vegetativo y los valores de Kc detallados en La Figura 11.

Evapotranspiración real

Ecuación 6. Evapotranspiración real

$$ETr = Kc * ETo$$

Dónde:

ETr: Evapotranspiración real del cultivo, mm día -1

Kc: Coeficiente del cultivo.

ETo: Evapotranspiración de referencia, mm día -1

Balance hídrico

El balance hídrico (BH) permite conocer la variación del volumen de agua almacenado en el suelo, a partir de la diferencia que existe entre los aportes y las salidas de agua que se dan en un sistema productivo.

Ecuación 7. Balance hídrico

$$BH = ET_r - P_e$$

Dónde:

Pe: Precipitación efectivo, mm d-1

ETr: Evapotranspiración real del cultivo, mm d -1

Cabe señalar que en dicho cálculo si la ETr es mayor a la Pe, el balance hídrico es negativo, lo cual indica que el cultivo no tendrá suficiente agua para su desarrollo.

3.2.3 METODOLOGÍA TERCER OBJETIVO

Se realizó el diseño hidráulico de las redes de conducción y entregas parcelarias, mediante *software* para entregar las cantidades de agua exacta requerida en los predios.

Se realizó el trazado de redes de riego, procurando siempre usar caminos existentes y linderos de los terrenos.

Con apoyo de la topografía y la ortofoto, se analizó el lugar adecuado para realizar la entrega de riego parcelario.

Se ingresó la información de caudales y tiempo de riego para cada entrega de riego

Con el apoyo del *software* de riego se generó el dimensionamiento de las redes de tubería para riego.

Con el dimensionamiento de las redes de riego se generó el modelamiento de las redes para producir presiones y caudales adecuados en cada entrega de parcela, según el tipo de emisor elegido.

3.2.4 METODOLOGÍA CUARTO OBJETIVO

Se definió un plan de distribución mediante sectorización del módulo, utilizando turnos de riego para realizar una operación simultánea equitativa por sectores.

Con la modelación de las tuberías se realizó la colocación de válvulas hidráulicas, las que permitirán la distribución, según los turnos diseñados, para lograr la operación por sectores.

Se calibraron las válvulas y se determinó su ubicación y accesorios necesarios.

3.2.5 METODOLOGÍA QUINTO OBJETIVO

Se establecieron criterios para el desarrollo de programación de riego, desde el punto de vista social y técnico.

Con el cálculo y calibración de la operación del sistema de riego, se procedió a generar una estrategia de socialización de los procesos realizados a la comunidad.

El proceso de socialización fue paralelo a los diseños, a través de diálogos con los dirigentes y en asambleas generales.

3.2.6 MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El método de investigación seleccionado es el *Estudio de Caso*. El propósito de este tipo de investigación es describir profundamente el fenómeno de estudio e identificar los factores influyentes, utilizando diversas fuentes de datos, en los cuales se incluye información primaria y secundaria.

Desde esta perspectiva, el estudio de casos sigue una vía metodológica común a la etnografía, aunque una de las diferencias en relación con el método etnográfico reside en su uso, debido a que la finalidad del estudio de casos es conocer cómo funcionan todas las partes para crear hipótesis, atreviéndose a alcanzar niveles explicativos de supuestas relaciones causales encontradas entre ellas, en un contexto natural concreto, y dentro de un proceso dado.

Se estudió a la comuna Azama, la misma pretende obtener el estudio de riego. Por tanto, se seleccionó esta Junta de Riego con la finalidad de establecer con sus habitantes todos los parámetros, solventando, a través del estudio de riego, sus problemáticas, y creando un modelo de gestión acorde a sus necesidades.

En la etapa descriptiva se analizaron diferentes particularidades del caso, con un levantamiento previo de información, lo que permitió generar todos los insumos respectivos.

En la etapa exploratoria (información primaria) se visitó el sitio a ser estudiado y se realizaron acciones para obtener información. Para la obtención de la información secundaria se utilizó datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, SENAGUA y demás bibliografía relacionada a la investigación (estudios edáficos, calidad de agua, socios legales y productivos).

La metodología realizada para la investigación se detalla a continuación:

Grupos focales: Para generar confianza entre los usuarios de la comuna se realizó una actividad de entrada en la que se expuso el objetivo de la tesis. Allí se recabó información general necesaria para realizar las entrevistas semi estructuradas.

Para los eventos de grupos focales se invitó, en dos reuniones diferentes, a personas de la comuna, destinando alrededor de una hora por cada grupo. Las reuniones fueron trabajadas con el método acción – reflexión – acción de Paulo Freire (2012).

Se inició el evento conociendo las apreciación y expectativas que tiene la gente de la comunidad respecto al sistema de riego. Posterior a esto, se presentó la problemática identificada en esta tesis, así como las expectativas de resultados. Luego se realizó un análisis de potenciales temas de intervención.

Se complementó esta información con notas de campo del investigador respecto de las actitudes, estado de ánimo, e impresiones producidas por el entrevistado; e intervenciones y percepciones de los moderadores de los grupos focales. El análisis de datos obtenidos consistió en una transcripción de las respuestas de los participantes, así como su posterior codificación en un archivo Excel, e interpretación de los resultados.

Entrevistas: con el insumo obtenido durante los eventos de los grupos focales se realizaron entrevistas semi estructuradas a 5 actores clave de las Juntas de Regantes y de la comunidad. También, se realizaron entrevistas a dos investigadores de riego quienes actualmente estudian las organizaciones de regantes. Estos resultados sirvieron como base para formular el diseño de una estructura de regantes acoplada a los territorios.

Además, se hicieron entrevistas a dos técnicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería que trabajan en las asociaciones de riego, con la finalidad de conocer su percepción sobre la problemática de la zona, así como obtener datos técnicos de las organizaciones.

La metodología usada consistió en realizar la inducción de la entrevista. Para ello se introdujo el tema a tratar y se les dio a conocer la necesidad e importancia de la información que los entrevistados podían proveer; se enfatizó en que se debía

contar con su consentimiento para utilizar la información. Además, se destacó que se iba a manejar estricta confidencialidad para evitar cualquier impresión equivocada a los presentes. A continuación, se llevaron a cabo las entrevistas a los participantes. Se realizaron esfuerzos para mantener un papel de no liderazgo y se utilizaron métodos de investigación a fondo (uso de silencios, repetición de la última frase respondida, etc.) para lograr una información en mayor profundidad (Bernard & Ryan, 1998).

Se levantaron fichas técnicas para la recolección de datos: ambientales, sociales, productivos, comercialización, gestión del riego y manejos ambientales. Se utilizó la metodología de muestreo de Bola de nieve, que es útil para el estudio de poblaciones difíciles de localizar. Este método consiste en encontrar a una persona, invitarla a la reunión de grupo focal y pedirle que recomiende a otra susceptible de interés para la investigación. El método es efectivo en comunidades pequeñas donde casi todos los usuarios tienen aproximadamente la misma probabilidad de ser nombrados (Bernard & Ryan, 1998).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 LÍNEA BASE

La información base como topografía, catastro, encuestas e infraestructura actual, fue levantada con mucha prolijidad y de manera exacta, realizando acuerdos y tomando en cuenta todos los detalles. En el caso de la Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca, durante el levantamiento de información se realizaron acuerdos de área máxima de tecnificación y formulación de un padrón de usuarios. Adicionalmente, se consideró realizar aforos durante el tiempo del estudio, con la finalidad de determinar el caudal para irrigar.

5.1.1 POBLACIÓN, ÁREA DE INFLUENCIA, PRINCIPALES VARIABLES SOCIALES

En la Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca, actualmente no existe una superficie irrigada, por ello este proyecto pretende otorgar agua para riego a los predios a cabecera de parcela, esto corresponde a un área aprovechable para riego de 126.89 ha. Sin embargo, se dotará de riego a un área de 93.34 ha. conforme al caudal disponible en los aforos realizados, con un total de 154 familias beneficiadas.

5.1.2 VARIABLES SOCIALES

Las variables sociales que intervienen en la gestión y manejo del riego se agrupan por dimensiones (Tabla 2).

Tabla 2.

Variables Sociales

DIMENSIÓN	VARIABLE	RESULTADO	
Definición de población objetivo	Población indígena:	77,6%	
	Auto identificación	Población mestiza:	22,4%
		Población afro ecuatoriana:	0%
		Población blanca:	0%
	Lengua de uso común	Español	100%
		Kichwa	77,6%
	Hombres	58,33%	

DIMENSIÓN	VARIABLE	RESULTADO		
Condiciones de vida	Situación demográfica	Mujeres 41,67%		
	Roles de género. (principales actividades)	Hombres (Labores productivas en el predio y extrafinca)	100%	
		Mujeres (Labores reproductivas y productivas)	100%	
	Grupo etario de los beneficiarios/as	Adulto joven de 18 a 29 años	7,80%	
		Adultos de 30 a 40 años:	39,72%	
		Mayores de 41 a 64 años	34,04%	
		Adultos mayores (65 años en adelante)	18,44%	
	Niveles de instrucción	Ninguna	23,91%	
		Educación Básica Primaria	53,62%	
		Educación Secundaria	15,22%	
		Educación Superior	7,25%	
	Vivienda	Posgrado	0%	
		Viviendas que coinciden con el lugar donde se desarrolla la actividad productiva		88,02%
			Viviendas que no coinciden con el lugar donde se desarrolla la actividad productiva	11,98%
		Servicios básicos	Agua potable	0%
			Agua entubada	100%
			Alumbrado público	100%
Alcantarillado	89%			
Principales actividades económicas del usuario	Recolección de basura	96,26%		
	Teléfono fijo o celular	88%		
	Agricultura y Ganadería	38,88%		
Condiciones de capacitación	Extra finca	61,12%		
	Disponibilidad de tiempo para la capacitación	Disponibilidad de tiempo en la semana (días a la semana)	fines de semana	
		Disponibilidad de tiempo en la semana (horas en el día)	2 horas	

Nota. Elaborado por el autor, 2022.

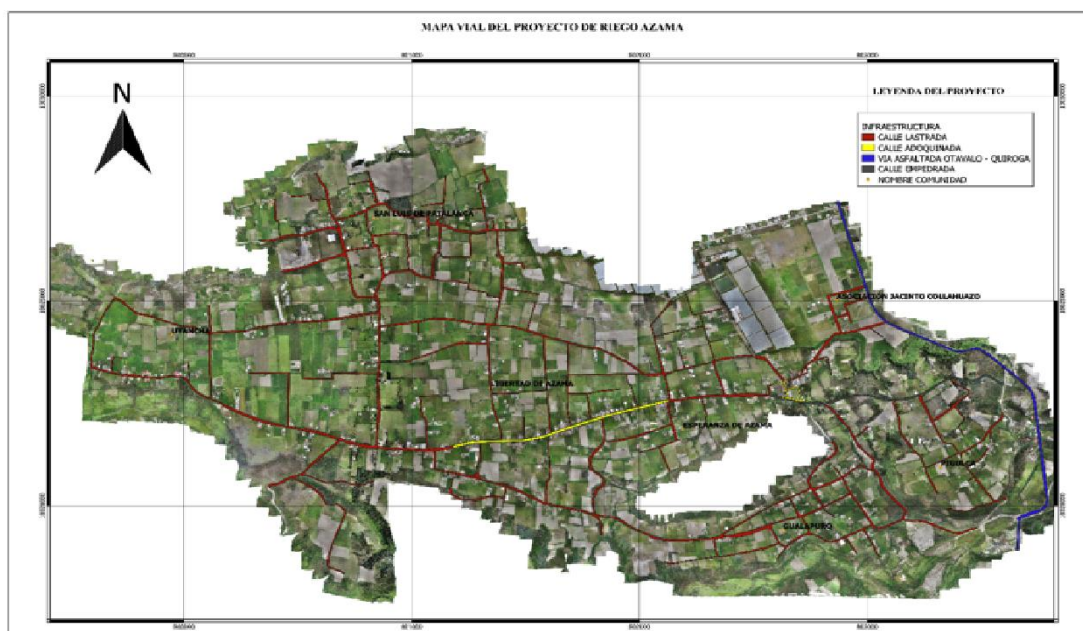
5.1.3 INFRAESTRUCTURA FÍSICA

Todas las 6 comunidades y la asociación que conforman Azama-Unorinca cuentan con su propia área comunal en donde mantienen sus reuniones y asambleas, además de un estadio para poder realizar actividades deportivas. Adicionalmente, la comunidad de La Esperanza de Azama cuenta con una escuela y una iglesia.

El territorio de Azama tiene varias vías de acceso que permiten la comunicación interna entre comunidades. Así, existe una vía principal directa que comunica a Cumbas Conde hasta Pigulca. A partir de ésta se desprenden conexiones hacia las demás comunidades: Patalanga, Gualapuro, Uyancha, Libertad de Azama, Esperanza de Azama y Asociación Jacinto Collahuazo. Estas vías tienen una tipología mixta, es decir, sectores con vías asfaltadas, adoquinadas, empedradas y de tierra. En su mayoría, la zona de Azama tiene vías de tierra, a excepción de algunos tramos como el que se encuentra entre Uyancha y parte de La Esperanza de Azama, que disponen de vías empedradas y adoquinadas.

Figura 4.

Mapa de acceso vial al proyecto de Azama



Nota. Elaborado por el autor, 2022.

Tomando en cuenta la tipología de estas vías, los estados de los caminos de tierra presentan inconvenientes a lo largo del año, ya sea en épocas de invierno o verano. En los meses de noviembre – diciembre como épocas lluviosas se generan vías lodosas e inseguras, dificultando el acceso. En las épocas secas, meses de junio a septiembre, hay gran cantidad de polvo. Las vías empedradas causan menos problemas, aunque en ciertas ocasiones por efecto de lluvias fuertes también se ve acumulación de agua. Sin duda, los tramos adoquinados y asfaltados son los que presentan mejor estado, tal como se puede ver en la figura 4.

5.2 IDENTIFICACIÓN DE BENEFICIARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS

En este capítulo se tratará sobre las organizaciones de riego y sus beneficiarios y la forma como el proyecto apoyará a la comunidad.

5.2.1 ÁREA DE INFLUENCIA SOCIAL DIRECTA (AISD)

El área de influencia directa es el espacio que será ocupado directamente por el proyecto y su territorio inmediato. Debido a las actividades productivas que se desarrollarán, el componente socioeconómico generará cambios positivos en la comunidad. La relación social directa del proyecto se da por lo menos en dos niveles de integración social: unidades individuales (predios y sus correspondientes propietarios), y organizaciones sociales de primer y segundo orden (comunidades, asociaciones de organizaciones y unión de comunidades).

La identificación de los elementos individuales del AISD se realizaron en función de orientar las acciones de implementación de un sistema presurizado de distribución de agua de riego, mientras que la identificación de las organizaciones de primer y segundo orden que conforman el AISD se realizaron en función de establecer acciones de coordinación y comunicación de las actividades para el proyecto.

El AISD fue definido en base a la información proporcionada por la directiva de la Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca, la que entregó un Padrón de Usuarios con los miembros que quieren formar parte de este proyecto de riego. Allí se identificaron a 291 cabezas de familia beneficiarias, las mismas que en conjunto tienen una superficie bruta de 132.30 ha. Considerando el número de cabezas de hogar beneficiarias y tomando en cuenta que el promedio total de miembros de cada familia es de 5 personas, se evidenciará un beneficio directo de alrededor de 1455 personas pertenecientes a la Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca.

De acuerdo con el levantamiento de información de campo, en el año 2021 y conforme a la metodología antes descrita, no existe una superficie irrigada como

tal, ya que sus cultivos son productos de secano, esto corresponde a un área aprovechable para riego de 126.89 ha. Sin embargo, se dotará de riego a un área de 93.34 ha, conforme el requerimiento hídrico versus el caudal disponible.

5.2.2 ÁREA DE INFLUENCIA SOCIAL INDIRECTA (AISI)

El AISI es el espacio socio-institucional que resulta de la relación del proyecto con las unidades político-territoriales donde se desarrollarán las actividades productivas del cantón y/o provincia.

El criterio para la definición del área de influencia indirecta, desde el punto de vista social, involucra a la ubicación político-administrativa en las que se llevaron a cabo las actividades del presente proyecto, y que de alguna forma puede verse afectada indirectamente de manera positiva o negativa, por las actividades.

En relación con esta base conceptual, el área de influencia indirecta constituye la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, parroquia San Luis, Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca, perteneciente al GAD Provincial de Imbabura.

5.3 ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA

La Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca tiene 291 familias beneficiarias del proyecto, de las cuales 154 son hombres, 113 mujeres y 4 pertenecen a áreas comunales (Tabla 3).

Tabla 3.

Análisis de población a ser beneficiada por el proyecto

Indicador	Familias beneficiarias	Superficie (ha)
Familias y área demandante de riego	291	126.89
Familias y área efectiva de riego	291	93.34

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.4 MATRIZ DEL MARCO LÓGICO

En la presente matriz se indica el alcance que tendrá el proyecto de riego y lo que se busca conseguir.

Tabla 4.

Matriz de Marco Lógico

OBJETIVOS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Establecer un sistema equitativo de distribución del agua en la agricultura, considerando el diseño hidráulico, agronómico, condiciones sociales, ambientales y económicas, para lograr la sostenibilidad del sistema de riego de la comunidad Azama, ubicada en la Parroquia San Luis, cantón Otavalo de la provincia de Imbabura.	Una vez finalizada ejecución del proyecto 100% las familias de comunidad de Azam contarán con acceso riego, lo que permiti realizar produccion agrícola durante todo año. Las familias de la comu Azama una vez finaliza la construcción d proyecto contarán c un reparto equitativo técnico de autorización de uso aprovechamiento agua. El porcentaje de familias con servicios mejorados de riego y drenaje llega al 100 % de los usuarios de La Comuna.	Acta de recepción del proyecto de riego Fotografías Lista de asistencia	Proyecto de riego socializado y aprobado por la comunidad y recibido a satisfacción por la entidad contratante.
COMPONENTE ECONÓMICO-PRODUCTIVO	INDICADORES COMPONENTES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Mejorar la producción agrícola y la comercialización de pequeños y medianos productores de la comunidad de Azama, mediante la asistencia técnica y fortalecimientos de actividades agro-productivas.	Los rendimientos de los principales productos aumentaron en un 50% al primer año del establecimiento del riego en la zona.	Fotografías Lista de asistencia Identificación	Construcción adecuada del sistema de riego y puesta en marcha oportuna.
Fase productiva:			
Para lograr el fomento a la producción en el territorio de Azama es necesario comprender la situación actual, sobre todo en relación a los sistemas de producción y potencial uso del suelo. En tal sentido, la propuesta de producción agroecológica plantea el desarrollo de 3 aspectos tecnológicos que resultan fundamentales y complementarios entre sí: i) manejo de suelos en			

las unidades de producción, ii) implementación de los huertos agroecológicos y iii) manejo eficiente del agua de riego a nivel parcelario.

✓ **Acciones a corto plazo:**

- Mejorar la humedad del suelo: Es necesario buscar acciones agroecológicas que permitan mantener la humedad del suelo por períodos más largos. Una de estas es la cobertura de suelo. Las alternativas de cobertura más recomendables para la zona, considerando los cultivos que se implementan y las rotaciones son:

- Cubiertas con residuos de cosechas: Se propone agregar los residuos de cosechas (maíz, fréjol, arveja, chocho, cebada) en sentido contrario a la pendiente sobre el suelo, como una práctica de control de la erosión y conservación de la humedad.

- Abonos verdes: Se propone incorporar especies herbáceas perennes o anuales asociadas a los cultivos, con el fin de cubrir el suelo durante todo el año. Tiene similares beneficios que la cubierta de residuos, ya que disminuyen el efecto del viento y la lluvia, reduce la tasa de evapotranspiración y mantiene la humedad. Las plantas que se recomiendan usar son leguminosas como arveja, chocho, fréjol, ya que aportan buenos niveles de nitrógeno y mejoran la estructura del suelo a través de su incorporación. Adicionalmente, se puede hacer un ciclo de gramíneas y leguminosas para aumentar los niveles de materia orgánica y fijar nitrógeno al suelo; por ejemplo, se puede hacer uno o dos ciclos seguidos de avena + vicia, e incorporarlas al suelo cuando estén en estado de floración.

- Fortalecimiento a los agricultores para el manejo eficiente de los recursos: un plan de capacitación que permita mejorar las capacidades de los agricultores en manejo de los recursos suelo y agua en forma eficiente y con enfoque agroecológico.

✓ **Acciones a mediano plazo**

- Mejorar las características físicas y fertilidad natural del suelo: la principal estrategia para recuperar las características físicas y fertilidad natural del suelo es la incorporación de materia orgánica, a fin de mejorar la estructura del suelo, mejorar la porosidad, aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo, regular el pH, aumentar la capacidad de intercambio catiónico e incrementar el contenido de nutrientes en la solución del suelo. Es importante que los niveles de materia orgánica estén alrededor del 3%. La incorporación de materia orgánica al suelo se la puede realizar a través de varias vías como:

- Elaboración e incorporación de abonos orgánicos: existe una diversidad de abonos líquidos y sólidos que se pueden incorporar al suelo como: bioles, té de estiércol o frutas, compost, bocashi, humus, gallinaza, entre otros. Con la utilización de insumos internos de las fincas se pueden elaborar estos abonos. De manera paralela, la capacitación a los agricultores ayudará a la elaboración de estos bioinsumos.

✓ **Acciones a largo plazo**

- Proteger y conservar el suelo: debido a la precipitación, topografía variada y poca cobertura vegetal, es necesario acciones que permitan conservar el suelo y evitar su pérdida o desgaste. Por ello se plantea un enfoque de producción más amigable con el ambiente y que sea agroecológico. Esta estrategia debe considerar:

Implementación de cortinas rompevientos: La implementación de especies arbustivas y arbóreas en linderos, separación de lotes, permitirán controlar el efecto de lluvia y viento, disminuyendo los riesgos de pérdida de suelo por erosión. Se puede manejar especies doble función, a fin de aprovechar sus beneficios en la alimentación de los animales. Las especies recomendadas para la zona son: Cholán, Yalomán, Capulí, Tilo, Aliso, Acacia, Mosquera, Guarango, Porotón, Leucaena, Espino, Uña de gato, Arrayán, Morera, Cedrillo, Sacha Capulí, Níspero, Guaba, Llin Ilín, Arupo (rosado y blanco), Lechero (blanco y rojo), Mora amarilla, entre otras.

Fase de comercialización:

1. Fortalecimiento a los emprendimientos de ESS, en especial las lideradas por mujeres. Se cuenta con personas especializadas para la administración y gestión comercial, aplican

modelos de negocio inclusivos y mejoran la capacidad de transformación a sus productos estratégicos, cumpliendo con estándares de calidad y el respeto al ambiente

2. Estrategias de comercialización establecidas, basadas en estudios de mercado y articuladas a redes de circuitos cortos y canales directos hacia el consumidor final.

COMPONENTE DE TECNIFICACIÓN DEL RIEGO	INDICADORES COMPONENTES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Mejorar la eficiencia del uso del recurso hídrico mediante la implementación del sistema de riego a cabecera de parcela.	291 familias con servicios de riego mejorados. 93.34 Hectáreas efectivamente regadas.	- Fotografías - Lista de asistencia - Registros	Implementación de la obra y usos del sistema de riego.

Actividades

Ac.1. Diseño de riego a cabecera de parcela.

Resumen actividades: levantamiento topográfico y catastral, determinación de parámetros climáticos, diseño agronómico, determinación del volumen de las reservas, sectorización del riego, esquema hidráulico definitivo, rotación de turnos y caudales, manual de operación y mantenimiento, acuerdos para el manejo, operación y administración del sistema.

Ac.2. Presupuestos referenciales

Resumen de actividades: detalle de las inversiones de implementación de riego, análisis de precios unitarios, inversión en el riego, establecimiento de contrapartes y cronograma valorado.

COMPONENTE TERRITORIAL Y AMBIENTAL	INDICADORES COMPONENTES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Implementar una guía de buenas prácticas ambientales y un plan de manejo ambiental para la conservación de fuentes de agua, suelos, manejo de residuos peligrosos, reducción y uso de agroquímicos. E implementación de prácticas amigables con el ambiente, con el fin de prevenir y mitigar los impactos ambientales generados en las etapas de construcción y producción	291 beneficiarios adoptan nuevas tecnologías agrícolas y promovidas en el proyecto. 113 Mujeres adoptan nuevas tecnologías promovidas por el proyecto de riego.	- Fotografías - Lista de asistencia - complementar	Informes mensuales a cargo de los responsables ambientales de las obras. RM

Actividades:

En la etapa de construcción

Resumen de actividades: implementación de campamentos y construcciones temporales y casetas; demarcación y señalización temporal; excavaciones y movimiento de tierras, implementación de la infraestructura de riego; manejo de residuos sólidos; disposición de escombros y materiales sobrantes; sobre la operación de maquinaria, talleres, almacenes y depósitos, salud y seguridad ocupacional.

En la etapa productiva

Resumen de actividades: implementar la GBPA y MIPE para la producción de bajo riego tecnificado, protección del suelo, fuentes hídricas y reforestación en la frontera agrícola, zanjas de drenaje para suelos encharcados, manejo y clasificación de desechos sólidos, contenedores para la clasificación de envases plásticos, salud y seguridad del productor y protección de fuentes hídricas.

Limpieza y cuidado de la fuente de agua.			
COMPONENTE SOCIAL	INDICADORES COMPONENTES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Fortalecer las capacidades de los socios de la comunidad de Azama, para el fomento de la gestión social, ambiental, productiva, tecnificación y comercialización, mantenimiento y operación del sistema de riego.	291 familias asisten a las jornadas en el eje de fortalecimiento organizativo para los usuarios de sistemas de riego.		La población de Asama coordina reuniones y cumple acuerdos para el correcto desarrollo del proyecto.
	291 familias asisten a las jornadas de puesta en marcha del sistema de riego.		
	291 familias asisten a las jornadas de producción y comercialización para los usuarios del sistema de riego.	- Fotografías - Lista de asistencia - Completar	
	291 familias asisten a las jornadas en temas ambientales para los usuarios.		
	113 mujeres serán capacitadas, para un manejo productivo adecuado del sistema de riego.		

Actividades

Eje 1. Fortalecimiento organizativo

Resumen actividades: talleres y capacitaciones en liderazgo organizacional y administración de la organización con enfoque de género.

Eje 2. Puesta en marcha

Resumen actividades: operación de la infraestructura comunitaria, operación de la infraestructura de riego. Asistencia técnica y capacitación personalizada en realizar el riego de acuerdo al calendario de riego

Eje 3. Producción agrícola y pecuaria.

Resumen actividades: manejo técnico de cebolla ramilla, mejoramiento de pastos, ganadería de leche. Asistencia técnica al manejo adecuado de los cultivos, mejoramiento de la mezcla forrajera y manejo del ganado del ordeño.

Eje 4. Gestión ambiental

Resumen actividades: seguridad y salud ocupacional, manejo y clasificación de desechos sólidos y líquidos (envases de agroquímicos, basura común y desechos de cocina, manejo de la cuenca hidrográfica, cambio climático y manejo y conservación de los recursos hídricos

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.5 VIABILIDAD Y PLAN DE SOSTENIBILIDAD

5.5.1 VIABILIDAD TÉCNICA

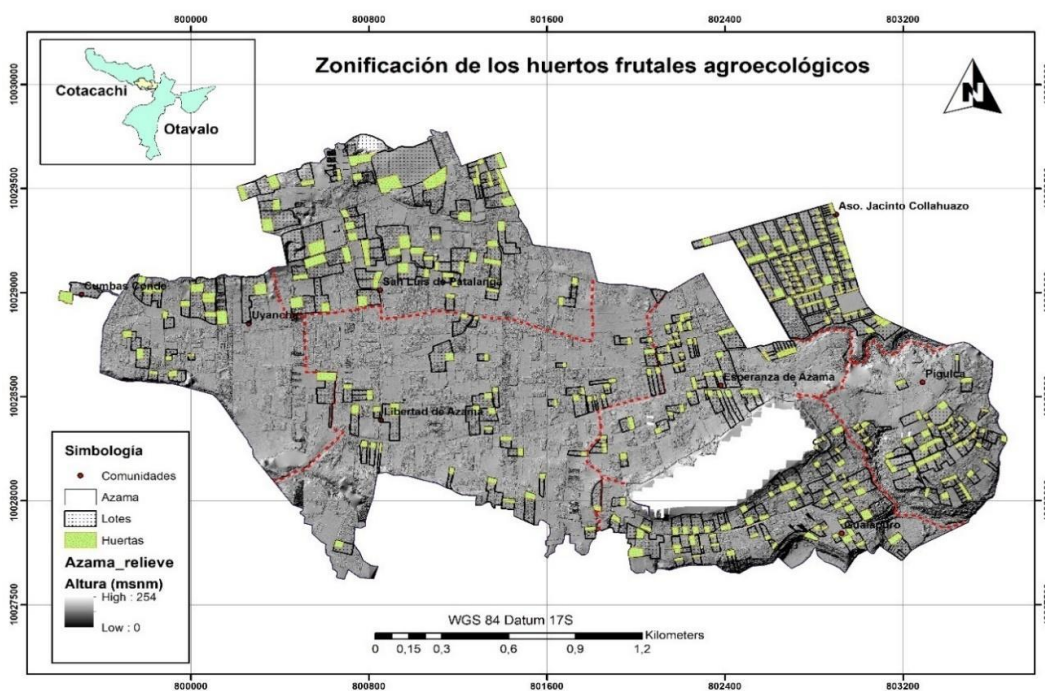
La viabilidad técnica de los proyectos de riego debe nacer del conocimiento de la infraestructura de riego existente. Para el caso de la comunidad Azama, el diagnóstico inició conociendo el caudal que ha sido asignado a la comunidad y el estado de la conducción construida por el Gobierno Provincial de Imbabura. En dicho diagnóstico se propusieron acciones, las cuales llevaron a determinar alternativas de riego. Las alternativas de riego proponen acciones integrales, tanto internas como externas.

5.5.2 COMPONENTE ECONÓMICO PRODUCTIVO

Desde el punto de vista productivo, la propuesta plantea realizar una distribución máxima de cultivos; en tal sentido, tal como se puede visualizar en la Figura número 5, los predios que contarán con riego son aquellos que se encuentran señalados con color verde.

Figura 5.

Zonificación de los huertos -frutales- agroecológicos



Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

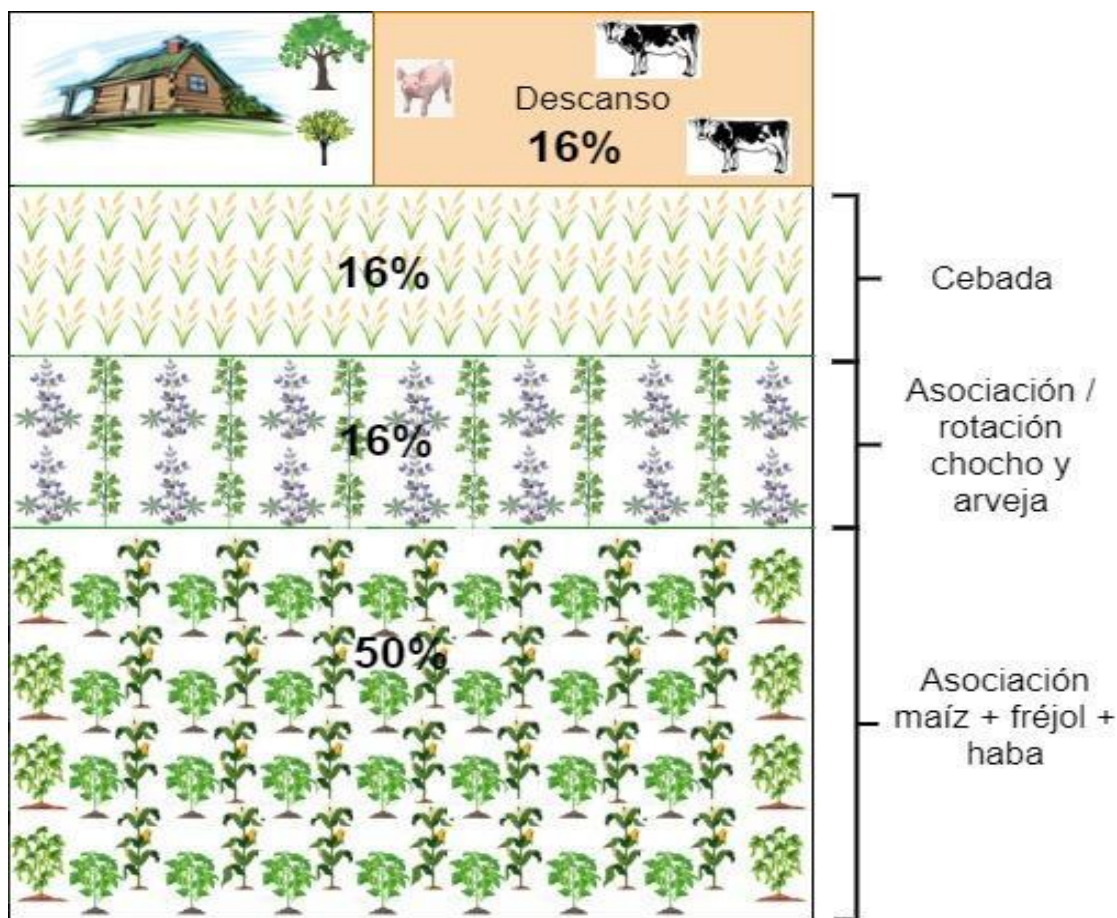
Dentro de dichos predios, la distribución de siembra es la que se encuentra en el siguiente gráfico, correspondiente al número 6, en donde el 50% de los cultivos por cada predio es destinado para la asociación de maíz, haba y fréjol, mientras que el 50% restante del terreno corresponde a la relación de 3 espacios en los que están la asociación entre chocho y arveja, el cultivo de cebada, y finalmente lo destinado al cuidado de animales y vivienda.

Las propuestas técnica, productiva, comercial y ambiental van de la mano con la finalidad de que se complementen y se desarrollen de la mejor manera.

El proyecto se basa principalmente en la producción de soberanía alimentaria, pero existen excedentes, los cuales se comercializan principalmente en los mercados de Otavalo, y los granos tiernos en el territorio de Azama.

Figura 6.

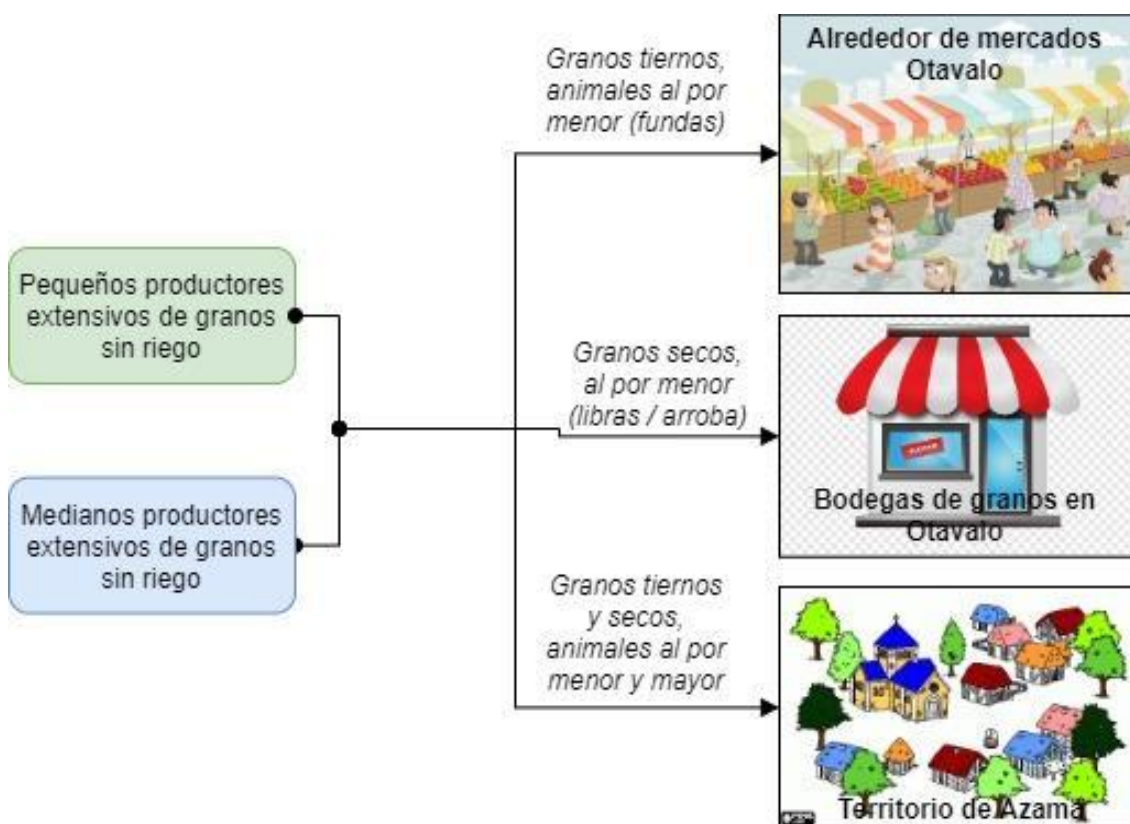
Distribución productiva



Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

Figura 7.

Comercialización de los excedentes productivos



Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.6 COMPONENTE DE TECNIFICACIÓN DEL RIEGO

5.6.1 TRABAJOS PREVIOS PARA LA TECNIFICACIÓN

a) Captación

Los trabajos de mejoras que se realizarán en la estructura de captación son los siguientes:

- Losetas sobre el desarenador para proteger y evitar la contaminación del agua.
- Válvula de desagüe con su respectiva caja de protección en el tanque de carga del desarenador.

- Retiro de la rejilla existente situada en el vertedero lateral para el ingreso del agua captada.
- Ampliación del área del vertedero lateral y colocación de una nueva rejilla.
- Cuneta perimetral en el margen derecho de la captación.

b) Conducción

- Implementación de válvulas de aire a lo largo de la conducción, y remplazo de las válvulas de aire existentes.
- Recubrimiento con cinta anticorrosiva de la tubería de PVC-P que se encuentra en los pasos elevados, para proteger de las condiciones climáticas.
- Colocación de válvulas limitadoras de caudal en los tanques rompe presión existente.
- Extensión de la línea de conducción con tubería PVC D= 160 mm 1.25MPa hasta llegar al sitio de implantación de los reservorios con una longitud de 346.90 m.

5.7 DISEÑO AGRONÓMICO

5.7.1 PARÁMETROS AGRO-CLIMÁTICOS

El análisis de los parámetros climáticos se fundamenta en la información climática de la estación Otavalo, misma que se encuentra ubicada a 5 km de la zona de estudio, con una altitud similar a la zona de estudio.

En el área del proyecto y sus alrededores se realizó el inventario de estaciones de observación meteorológica, encontrando a la estación Otavalo 105 (código Inamhi), misma que está ubicada a 5 km de la zona de estudio, con una altitud similar.

Tabla 5.

Estación metereológica Otavalo

CÓDIGO	ESTACIÓN	PARÁMETROS	X	Y	ELEVACIÓN	TIPO	INSTITUCIÓN
M105	Otavalo	Meteorológica	805884	10026560	2550	AC	INAMHI

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.8 ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE RIEGO

Culminado el levantamiento de la información base, se elaboró la propuesta con el objeto de efectuar una redistribución de los caudales, considerando la infraestructura existente (conducción), así como la implementación de nuevas obras (reservorio y redes de distribución).

El área por intervenir en el proyecto es de 93.34 ha.; existe una diferencia de altitud entre la parte alta y baja de 135 m aproximadamente, es decir el polígono de intervención presenta una forma alargada.

Con las consideraciones expuestas anteriormente se elaboró una propuesta que consiste en la diferenciación de siete sectores.

Tabla 6.

Sectores de riego

Sector	Caudal	Día	Ha
As. Jacinto Collahuazo Esperanza de Azama	84.21	Lunes	13.24
Esperanza de Azama y Gualapuro	89.04	Martes	13.85
Gualapuro y Libertad de Azama	87.99	Miércoles	13.68
Gualapuro y Pigulca	86.94	Jueves	13.58
Libertad de Azama, Uyancha	85.26	Viernes	13.40
San Luis de Patalanga	84.21	Sábado	13.27
San Luis de Patalanga y Uyancha	78.75	Domingo	12.33
Sumatoria			93.34

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.9 NECESIDADES HÍDRICAS

Tabla 7.

Determinación de la evapotranspiración potencial

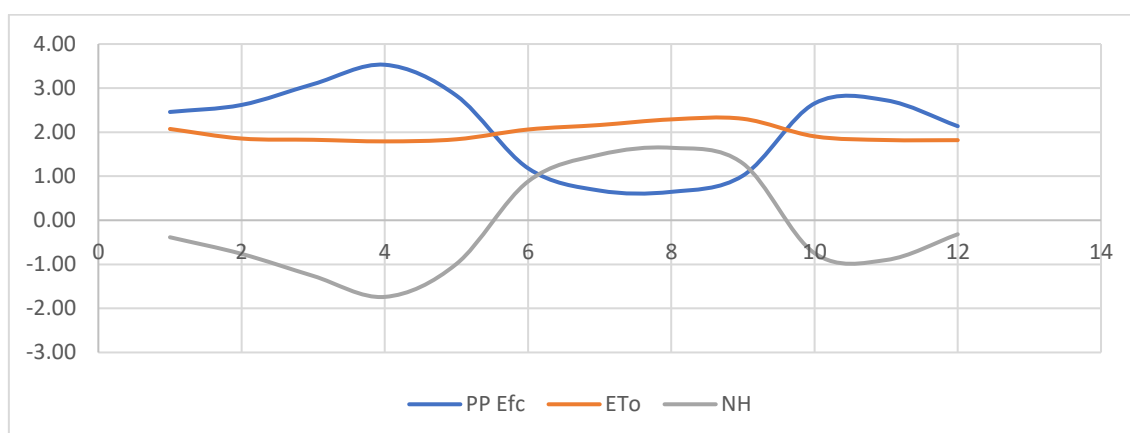
Análisis de datos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Datos Ev mm día -1 (día)	2.34	2.09	2.06	2.01	2.07	2.35	2.48	2.64	2.65	2.16	2.05	2.05
Entorno U2 Km/hora	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
HR (%)	37.2	34.08	34.8	29.28	32.4	49.44	53.04	57.6	56.16	40.8	32.88	34.08
Kp Tanque Ev correc mm día -1 PP efec mm mes - 1	81.3	82.1	82.4	83.2	82	78.4	74.7	73.1	73	79.6	82.1	83.1
PP efec mm día -1 NH (ETo - Pe)	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.88	0.87	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89
	2.07	1.86	1.83	1.79	1.84	2.06	2.16	2.29	2.30	1.90	1.82	1.82
	76.2	73.3	95.8	105.9	87.7	35.4	20.9	20	30.4	82.2	81.7	66.2
	2.46	2.62	3.09	3.53	2.83	1.18	0.67	0.65	1.01	2.65	2.72	2.14
	0.39	-0.76	-1.26	-1.74	-0.99	0.88	1.49	1.64	1.29	-0.75	-0.90	-0.32

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

En la figura 8 a continuación, se presenta la relación entre PPEfc, ETo y NH. Allí se puede evidenciar que el mes más crítico es agosto, pues se presenta el valor más bajo de PE y el más alto de ETo, con relación a los demás meses del año.

Figura 8.

Relación entre la ETP y PE



Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.10 NECESIDADES BRUTAS Y NETAS DE RIEGO

(MM)

Las necesidades de riego se evaluaron en función de los cultivos preponderantes en la zona. Posteriormente al levantamiento de información, se identificó que el 60% de la superficie a intervenir corresponde a maíz, y el 40% restante corresponde a varios cultivos entre cebada, naranjilla, pasto, como cultivos más representativos.

Con esta información se determinó el Kc para cada cultivo según la época del año y posteriormente se calculó la Etc. Los resultados se presentan en la tabla 8.

Tabla 8.

Necesidades brutas y netas máximas de riego

Análisis de datos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Kc Promedio	0.94	0.78	0.75	0.79	0.59	0.72	0.80	0.98	0.73	0.73	0.93	0.79
ETc mm día -1	-0.36	-0.59	-0.95	-1.37	-0.58	0.63	1.19	1.60	0.95	-0.55	-0.83	-0.25
Eficiencia sistema %	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	0.49	0.79	-1.26	-1.83	-0.78	0.85	1.59	2.14	1.26	0.73	-1.11	0.34

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

La dotación más crítica se presenta en el mes de agosto, con 2.14 mm/día cuyo caudal ficticio continuo corresponde a 0.25 l/s/ha., ello con el objeto de que el sistema sea óptimo, teniendo las consideraciones de cambio de cultivos que se dan en el campo.

5.11 DISEÑO AGRONÓMICO

El proyecto presenta una superficie regable de 126.88 ha. Por las condiciones topográficas, así como la accesibilidad por el caudal disponible se consideró un área regable de 93.34 ha. para todo los usuarios. Asimismo, se ha seleccionado el método de riego por aspersión. Un sistema fijo con un solo emisor colocado con un marco de riego de 18x18 m para realizar los cálculos de riego.

Tabla 9.

Cálculo agronómico del sistema de riego por aspersión

Parámetros suelo	Datos del
Textura	Franco Arenoso
Velocidad de Infiltración básica mm/h	5.38
Densidad aparente (gr/cm ³)	1.51
Capacidad de campo (%)	13.90
Punto de Marchitez (%)	7.56
Datos del cultivo	
Cultivo	Varios
Profundidad de raíces (cm)	30
Necesidad neta (mm/día)	2.14
Datos del aspersor	
Diámetro mojado (m)	25
Caudal del aspersor (l/h)	1512
Presión de operación (BAR)	1.5
Porcentaje de solapamiento (%)	75
Resultados del diseño agronómico	
Separación aspersores (m)	18
Separación entre laterales (m)	18
Marco de riego (m x m)	18x18
Área del marco de riego (m ²)	324
Pluviometría del aspersor (mm/h)	4.67
Eficiencia de aplicación (%)	75
Lámina bruta (mm)	19.15
Frecuencia de riego calculada (días)	9.57
Tiempo de riego calculada (horas)	3
Frecuencia de riego corregida (días)	7
Tiempo de riego corregida (horas)	3
Jornada efectiva de riego por día en horas	6
Número de operaciones por día de riego	2

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.12 ASIGNACIÓN DE SECTORES Y MÓDULOS DE RIEGO

El área regable del proyecto es equivalente a 93.34 ha. Se dividió en siete sectores de superficies similares, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10

Sectores, módulos y caudales de riego

Sector	Caudal	Día	Ha
As. Jacinto Collahuazo Esperanza de Azama	84.21	Lunes	13.24
Esperanza de Azama y Gualapuro	89.04	Martes	13.84
Gualapuro y Libertad de Azama	87.99	Miércoles	13.67
Gualapuro y Pigulca	86.94	Jueves	13.57
Libertad de Azama, Uyancha	85.26	Viernes	13.4
San Luis de Patalanga	84.21	Sábado	13.26
San Luis de Patalanga y Uyancha	78.75	Domingo	12.33
Suma			93.34

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

De acuerdo con los cálculos agronómicos, se definió una frecuencia de siete días con un tiempo de riego de tres horas y teniendo una jornada efectiva de riego de 6 horas, por lo que se asignaron siete módulos dentro de cada sector ,a fin de que se opere un módulo por día. Esta dinámica de operación simplifica a los usuarios el manejo de riego.

En la tabla 10 se muestra la secuencia de operación de cada sector: es decir, el lunes se inicia el riego y cada sector de riego tendrá un día para regar.

El reparto equitativo y programación de riego es vital. Dentro de la comunidad de Azama se ha concientizado respecto a que el riego produce vida. Sin lugar a duda esto es así, ya que permite la siembra, cultivo y alimentación para los seres humanos. Para la comunidad de Azama el riego generará vida en su unidad territorial y por lo tanto seguridad alimentaria.

El proyecto presenta la construcción de distribuciones de agua a través de redes de tuberías con válvulas para el control sectorial y modular, así como reservorios y entregas parcelarias. Pero siempre visualizado como un sistema de riego comunitario, es decir colectivo, el cual está sustentado en tres elementos: el social, comprendido como los actores, la sociedad, los usuarios de los sistemas de riego. La naturaleza, en donde se visualizan los factores del agua, topografía, riegos. Y finalmente la infraestructura en donde están los elementos antes descritos.

El diseño de la programación de riego busca una interrelación entre todos estos elementos. La comprensión de un sistema de riego comunitario estará entre la relación de comunidad – naturaleza – infraestructura, pero al ser elementos de una dimensión amplia es necesario que existan interrelaciones a escalas menores.

La interrelación que debe plantear el diseñador de riego al momento de realizar la programación determinará cómo será el control para la operación y mantenimiento del sistema de riego. Para ello es fundamental tomar en cuenta el control administrativo, a fin de evitar que los usuarios no cumplan con lo establecido. El diseño debe ser pensado en la administración, operación y mantenimiento del sistema.

En dicha relación, la programación de riego participa con las necesidades de riego, cultivos, método de riego, catastro y sectorización. El control administrativo está relacionado con la eficiencia del sistema, eficiencia de aplicación y medición del caudal volumétrico entregado en cada parcela. Mientras que en operación y mantenimiento está relacionado con la infraestructura de conducción, distribución, almacenamiento y obras de captación y operación como la valvulería.

La programación de riego adicionalmente debe estar ajustada a los calendarios de riego. En base a esto se puede construir un balance del reservorio. Este análisis es un modelo de cómo funcionará el sistema de riego en su operación.

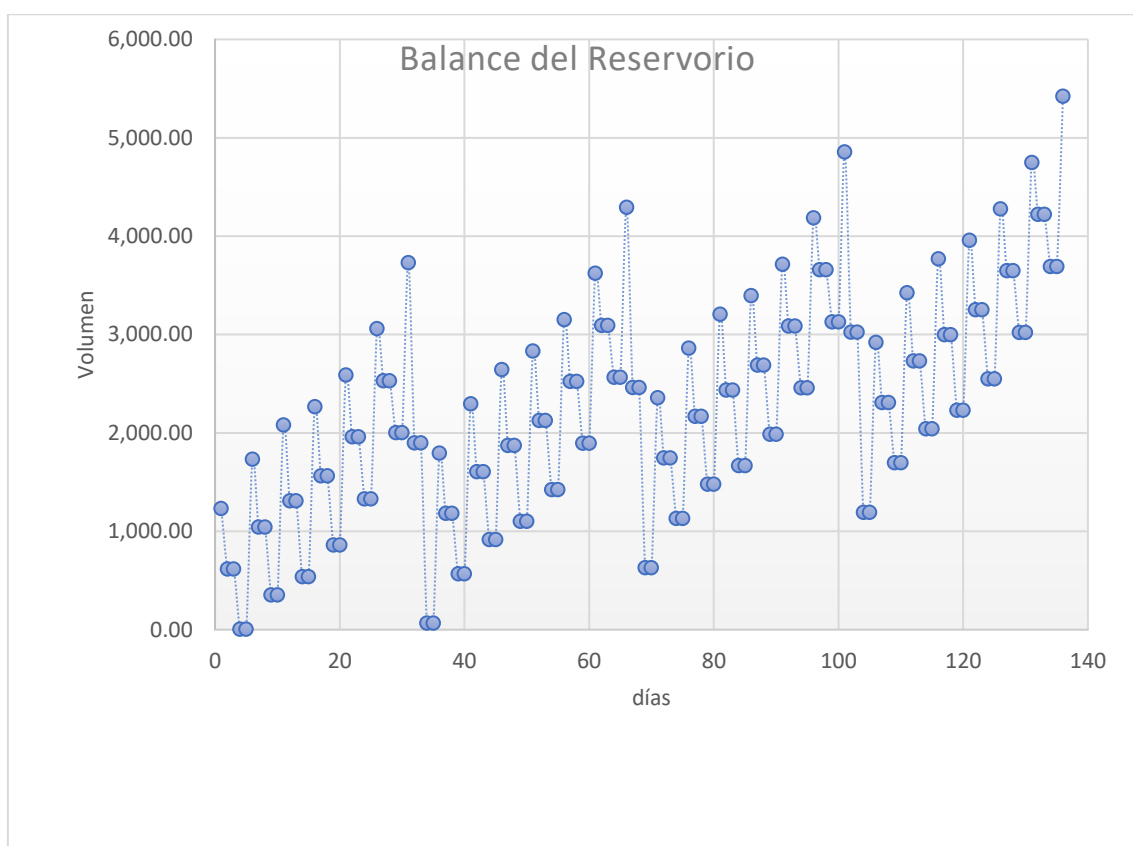
Tabla 11.

Balance del reservorio

	Hora Inicio	Hora Fin	TIEMPO	Q _{INGRESO} (l/s)	Q _{DEMANDA} (l/s)	V _{INGRESO} (m ³)	V _{DEMANDA} (m ³)	CAPACIDAD RESERVORIO
Día 1	6:00	9:00	3	20.00	56.72	216.00	612.56	1,225.00
	9:00	12:00		20.00		0.00	0.00	612.44
	12:00	15:00		20.00		0.00	0.00	612.44
	15:00	18:00	3	20.00	56.72	216.00	612.56	0.13
	18:00	6:00	18	20.00		1296.00	0.00	-0.13
Día 2	6:00	9:00	3	20.00	63.97	216.00	690.90	1,727.87
	9:00	12:00		20.00		0.00	0.00	1,036.97
	12:00	15:00		20.00		0.00	0.00	1,036.97
	15:00	18:00	3	20.00	63.97	216.00	690.90	346.07
	18:00	6:00	18	20.00		1296.00	0.00	346.07
Día 3	6:00	9:00	3	20.00	71.31	216.00	770.16	2,074.07
	9:00	12:00		20.00		0.00	0.00	1,303.91
	12:00	15:00		20.00		0.00	0.00	1,303.91
	15:00	18:00	3	20.00	71.31	216.00	770.16	533.75
	18:00	6:00	18	20.00		1296.00	0.00	533.75
Día 4	6:00	9:00	3	20.00	65.18	216.00	703.98	2,261.75
	9:00	12:00		20.00		0.00	0.00	1,557.77
	12:00	15:00		20.00		0.00	0.00	1,557.77
	15:00	18:00	3	20.00	65.18	216.00	703.98	853.79
	18:00	6:00	18	20.00		1296.00	0.00	853.79
Día 5	6:00	9:00	3	20.00	58.18	216.00	628.29	2,581.79
	9:00	12:00		20.00		0.00	0.00	1,953.50
	12:00	15:00		20.00		0.00	0.00	1,953.50
	15:00	18:00	3	20.00	58.18	216.00	628.29	1,325.20
	18:00	6:00	18	20.00		1296.00	0.00	1,325.20
Día 6	6:00	9:00	3	20.00	48.91	216.00	528.18	3,053.20
	9:00	12:00		20.00		0.00	0.00	2,525.02
	12:00	15:00		20.00		0.00	0.00	2,525.02
	15:00	18:00	3	20.00	48.91	216.00	528.18	1,996.84
	18:00	6:00	18	20.00		1296.00	0.00	1,996.84
Día 7	6:00	9:00	3	20.00	169.65	216.00	1832.20	3,724.84
	9:00	12:00		20.00		0.00	0.00	1,892.63
	12:00	15:00		20.00		0.00	0.00	1,892.63
	15:00	18:00	3	20.00	169.65	216.00	1832.20	60.43
	18:00	6:00	18	20.00		1296.00	0.00	60.43

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

Este balance se realizó para el mes de agosto, siendo ese mes el de mayor demanda o requerimiento de riego, el caudal de ingreso de agua al reservorio y el de salida, según la programación de riego.

Figura 9.*Balace del reservorio*

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.13 DISEÑO HIDRÁULICO

5.13.1 RESERVORIOS

Construcción de un tanque repartidor de caudales, ya que el agua conducida desde la captación servirá para alimentar con 5.0lt/s para agua potable y el resto será destinada para el agua de riego.

Ejecución de dos reservorios en el predio de propiedad de la Junta de Riego de Azama que se encuentra en la comunidad de Cumbas, con una capacidad de almacenamiento de 5161 m³.

Obras complementarias: alcantarillado para el desagüe de los reservorios, *by pass* para los trabajos de mantenimiento de los reservorios.

5.13.2 RED DE DISTRIBUCIÓN

Red de distribución presurizada para ramales principales y secundarios con tubería de PVC, que parte desde los reservorios hasta los hidrantes externos en cada predio. Dentro de la propuesta de distribución se consideró un ramal principal de conducción del que se implementan 7 ramales secundarios desde los que se alimentan a los predios. Cada ramal secundario tiene un día establecido de riego propuesto en la presente consultoría, con un turno de riego de 12 horas. En el tiempo restante del día los reservorios almacenen agua.

Obras complementarias: válvulas y cámaras de válvulas, desagües, válvulas de aire, válvulas de control en redes, válvula reductora de presión y tanque rompe presión para conservar las presiones óptimas y de esta manera evitar la rotura de los accesorios y tuberías.

Hidrantes exteriores en los predios para tener un riego presurizado.

5.13.3 CAUDALES DE DISEÑO

De las investigaciones de campo y de los talleres realizados con la comunidad en cuanto a las necesidades de riego se elaboró el Informe Agronómico que en su parte medular para los diseños de las obras hidráulicas recomienda adoptar un caudal de Diseño para la zona de cultivo de 0.25l/s/ha. Con esta dotación se cuantifican los requerimientos de riego para cada una de las derivaciones y para cada una de las unidades agrícolas.

Para el diseño de los elementos que conforman el sistema de riego se adoptaron las disposiciones de la normativa del diseño de sistemas de agua potable ajustada para sistemas de riego debido a la concordancia con la similitud de los elementos que la constituyen. En tal virtud, y por la experiencia que se tiene en el país en cuanto al diseño de sistemas presurizados, se proponen las siguientes condiciones de diseño que deben cumplir cada uno de los elementos del sistema.

Tabla 12.

Caudales de diseño de los diferentes elementos del sistema de riego

E L E M E N T O	CAUDAL DE DISEÑO	OBS:
- Captación de aguas superficiales	Q Medio + 10 a 20%	1
- Estructuras de retención de sólidos gruesos y finos	Q Medio + 10%	2
- Conducción de aguas superficiales	Q Medio + 10%	3
- Red de distribución (Hidrante).	Q ficticio continuo	4

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

Observación 1.- La normativa para obras de captación en sistemas de agua potable recomienda incrementos del 10 al 20 % de los caudales medios de captación. Para el proyecto se ha considerado afectar el caudal medio con un coeficiente del 1.1, consideración que permite tener un rango de seguridad en el dimensionamiento de la obra de toma.

Observación 2.- Se tomaron en cuenta los mismos criterios sugeridos en sistema de agua potable, sin que haya implicado sobredimensionar las estructuras, y que resulten sumamente costosas. Sino que por el contrario, se buscó satisfacer condiciones críticas que se presentan en todo proyecto hidráulico.

Observación 3.- La consideración de afectar el caudal medio de diseño por un 10% adicional permite compensar posibles fugas que se dan en todo sistema presurizado. Los estudios realizados en sistema de agua potable han determinado que las fugas están entre el 10 y 20% para sistemas bien administrados y con buenas labores de operación y mantenimiento, por lo que es necesario contar con un caudal extra para asegurar los caudales medios que requiere el sistema de riego.

Observación 4.-Red de distribución (para dos grupos de riego).- En sistemas de agua potable la red de distribución se diseña para una capacidad de 2.3 a 3 veces el caudal medio. No obstante, esta consideración en los sistemas de riego ocasionan un diseño con costos altos por el sobredimensionamiento de las tuberías. Esto se

puede solucionar aplicando un sistema organizativo que planifique los horarios de riego, de tal manera que evite que todos los beneficiarios traten de regar a una misma hora. Para el proyecto se consideró establecer mínimo dos turnos de riego al día y se diseñó con el caudal ficticio continuo. Se recalca que en sistemas de riego la probabilidad de uso se puede condicionar a los turnos de asignación a los grupos de regantes, es decir se puede inducir a un uso pre asignado.

Los factores que afectan a los caudales de diseño permiten compensar las pérdidas de caudal que se producen en el sistema, o posibles incrementos futuros de caudal que puedan darse al sistema, sea por un crecimiento del área de riego o por industrialización agrícola que demande un incremento justificado de caudal.

5.13.4 DISEÑO DEL RESERVORIO

El reservorio es un elemento indispensable para generar un sistema de riego tecnificado y es a partir del cual se logra presurizar todo el sistema, que adicionalmente tiene que cumplir la función de compensar los máximos caudales durante las horas pico.

El caudal de diseño para el proyecto será el aforado a través del tiempo de la consultoría, ya que la fuente es una vertiente. Esto se validó con los aforos realizados, ya que estos daban valores similares en todo el tiempo en que se hizo la investigación.

La propuesta de diseño de la reserva se da principalmente porque el caudal que alimenta el sistema es constante y estable, ya que proviene de una fuente de vertiente, motivo por el cual se debe almacenar para garantizar la entrega de agua en época seca, por lo cual se planifica establecer turnos de riego.

El volumen de sedimentos se fue calculado inicialmente en base a la cantidad de sólidos en suspensión que arrastran las aguas, dado en el estudio de análisis de calidad del agua. Esto luego se corregirá en la etapa de operación y mantenimiento que determinará los intervalos de limpieza.

5.13.5 DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

El diseño de la red de distribución principal requiere el análisis del sistema completo para determinar los requerimientos de máxima capacidad y presión que permitan elegir los diámetros de la tubería con los cuales la operación resulte económica, teniendo en cuenta que en el sistema pueden presentarse dos problemas. Cuando la diferencia de altura es apenas suficiente para proporcionar una presión adecuada para el funcionamiento del sistema parcelario, el problema consiste en conservar energía, usando tubos de mayor diámetro para reducir las pérdidas por fricción. Y cuando la diferencia de altura es mucho mayor que las requeridas para proporcionar una presión normal, el problema radica en reducir las ganancias de presión, lo que se logra usando una tubería de menor diámetro.

Para el diseño de la tubería de conducción se considerarán las siguientes condicionantes:

La presión estática en la tubería es menor a 0.8 veces la presión de trabajo de las tuberías.

Selección de los diámetros de tubería, de manera que las pérdidas no excedan los 2.30 m en 100 m de tubería.

Establecimiento de velocidades límites en las tuberías que estén dentro del rango de 0.6 a 2.5 m/s.

Los diámetros mínimos considerados en la red son de 40 mm y se dan principalmente por el control de presiones debido a la configuración topográficamente accidentada del sector.

Manteniendo los diámetros mínimos en ramales abiertos en tramos terminales se aceptarán velocidades menores a 0.6 m/s. Para evitar la sedimentación de partículas se colocarán válvulas de desagüe para lavado de la red.

La red principal y conducción se diseñará con profundidades de corte no mayores a 2.0 m, salvo los tramos que por condiciones topográficas exijan una mayor

profundidad, como es el caso de las salidas desde las estructuras o cruces de vías, entre otras; pero en todo caso estos tramos serán de corto recorrido.

5.13.6 DISEÑO DE LAS TUBERÍAS SECUNDARIAS

Las tuberías secundarias son los tubos con salidas al interior de las unidades agrícolas. Al proyectar las tuberías secundarias deben considerarse las siguientes condiciones:

Pérdida de carga a lo largo de la tubería secundaria, así como la carga requerida en la entrada del secundario.

Siempre debe fijarse la carga a la entrada del secundario, esto significa que el cálculo se hace para la condición más crítica.

Cuando la tubería secundaria se traza en sentido de la pendiente del terreno, los diámetros seleccionados serán los que produzcan una pérdida de carga igual a la diferencia de elevación.

Cuando se diseñe en contrapendiente se puede permitir una pérdida de carga debido a la fricción, de acuerdo a las características de diseño, debiendo ser este valor como máximo un 20% entre la presión de entrada y el punto más desfavorable.

Tanto para el diseño de las líneas principales como secundarias se recomienda presiones de entrega a los usuarios (hidrante exterior) mínima de 5 m.c.a. para sistemas a goteo y 10 m.c.a para micro y mini aspersores y 20 m.c.a para aspersores. Con esto se garantiza el funcionamiento de los aparatos de riego.

Se recalca que deberá verificarse las presiones mínimas en la red y se establecen dos tipos de presiones en el sistema:

- 1.- Las presiones de circulación en ramales principales que serán mayores a cero. Estas se dan principalmente a la presencia de picos topográficos.

2.- Las presiones de entrega en acometidas a predios en donde obligatoriamente se establecerán las mínimas requeridas por los aparatos de aspersión y goteo.

5.14 DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE RIEGO

En conformidad con la alternativa seleccionada se tiene que realizar mejoramientos a la obra de captación, control de caudales, estructura de sedimentación, conducción, y la construcción de los reservorios y red de distribución, las mismas que se justifican en base a las necesidades de diseño y que se describen a continuación:

5.14.1 CAPTACIÓN

Del informe de evaluación del sistema realizado para la estructura de captación se determinó que el vertedero de ingreso cumple satisfactoriamente la capacidad de captar, pero para evitar el ingreso de ramas y material vegetal flotante se dispone incorporar una rejilla, motivo por el cual se debe ampliar el área de ingreso. La rejilla tendrá las dimensiones de 0.73 m x 0.50 m.

Se debe colocar una válvula de desagüe de diámetro de 4" en el tanque de carga del desarenador, además se debe proteger con una caja de hormigón de 0.9*0.85 m y una tapa sanitaria de 0.70*0.70 m.

Para evitar la contaminación del agua captada se debe colocar losetas de hormigón de espesor de 8 cm, y una losa de 1.00*2.60*0.10 m a lo largo de las cámaras del desarenador, tal como se indica en los planos de detalle.

Para evacuar el agua lluvia e impedir que ingrese al desarenador se debe realizar una cuneta perimetral situada al margen derecho.

5.14.2 CONDUCCIÓN

En sistemas de agua potable normalmente se diseña para conducir el volumen de agua requerido en un día máximo de consumo, es decir, caudal $Q_{\text{máx}}$, diario. Pero en sistemas de riego se tiene la ventaja de planificar las área a regar. Además, las variaciones horarias en un día tienen que ser absorbidas por el reservorio de

regularización. Consecuentemente, la conducción se diseña para el caudal medio + 10% = 0.07643 m³/s.

5.14.3 PRESIONES DE DISEÑO

Las líneas de conducción son ductos que siguen la topografía del terreno y trabajan a presión. Al diseñar una línea de conducción por gravedad, se debe tener en cuenta el cálculo de la línea piezométrica (línea de energía) y la línea de gradiente hidráulico (presión + elevación.). Es necesario verificar que la línea de gradiente hidráulico se encuentre siempre por encima del eje de la tubería, evitando presiones negativas en la línea.

Otro factor importante a tomar en cuenta es la selección de la tubería para la línea de conducción, ya que ésta debe soportar la presión más alta que pueda presentarse en la línea de conducción. Generalmente la presión más alta no se presenta cuando el sistema está en operación, sino cuando la válvula de salida se encuentra cerrada y se desarrollan presiones hidrostáticas. También, las presiones pueden elevarse mucho cuando se presenta un golpe de ariete (por cierre súbito de una válvula) que genera una sobrepresión.

5.14.4 TUBERÍAS

Las tuberías que comúnmente se utilizan para la construcción de líneas de conducción son: acero, hierro galvanizado, hierro fundido, asbesto-cemento, PVC, polietileno de alta densidad y cobre.

Los criterios para seleccionar el material adecuado son:

- Factores hidráulicos (gastos, presiones y velocidades de diseño).

Costo.

- Diámetros disponibles.

- Calidad del agua y tipo de suelo.

Para el proyecto se ha elegido utilizar tubería de PVC por su facilidad de instalación y gran oferta en el mercado local y nacional.

5.14.5 DISEÑO HIDRÁULICO

El diseño hidráulico es el más importante, pues en base a este se calculan los diámetros y presiones que tendrá la línea de conducción y en base a estos se selecciona la tubería que llevará la línea de conducción.

Los pasos a seguir en un diseño hidráulico son:

- Proponer tipo de tubería y diámetro para transportar el flujo de diseño.
- Calcular el gasto teórico y compararlo con el gasto de diseño. Redimensionar tubería en caso de ser necesario, hasta que el gasto calculado sea mayor que el gasto de diseño.
- Comparar la velocidad de flujo con los límites permisibles (V_{min} , V_{max}). Proponer nuevo diámetro hasta que Q y V sean apropiados.
- Dibujar las líneas piezométrica y de gradiente hidráulico sobre el perfil del terreno.
- Verificar que la línea piezométrica se localice al menos 1.0 m por arriba del nivel de la tubería a implantarse en el terreno.
- Las presiones máximas de operación deben ser menores a las que puede soportar la tubería. En caso de requerirse, se debe proponer otra tubería más resistente o construir cajas rompedoras de presión.
- Identificar posible formación de vacíos y el potencial aplastamiento de la tubería. Calcular las válvulas de aire para el sistema.
- Especificar la instalación de válvulas de admisión y expulsión de aire en los puntos altos de la línea para liberar aire atrapado. Aun cuando el terreno sea más o menos plano se deben colocar estas válvulas a cada 500 m como máximo para permitir el llenado de la línea.
- Colocar desagües en puntos bajos para permitir limpieza (desazolves) o drenado de la línea para reparaciones.

El proceso de cálculo de la conducción utiliza la fórmula de Hazen-Williams con un coeficiente de rugosidad para el PVC de $C = 140$.

5.14.6 REQUERIMIENTO DE VÁLVULAS DE AIRE Y DESAGÜE

En todos los puntos altos de las redes de distribución y conducción donde no sea posible la remoción hidráulica, debe instalarse una válvula de triple acción (ventosa automática) con el fin de evitar que el aire separe la columna de agua en la red cuando esté en operación y permita la entrada de aire cuando se desocupe, evitando presiones inferiores a las atmosféricas, y la salida de aire cuando se está llenando la línea.

Las válvulas V.A.E. permiten la entrada de grandes volúmenes de aire. Esto es de utilidad cuando se está drenando la tubería. El criterio para la selección será el de no permitir una subpresión excesiva dentro de la tubería.

Se adopta un valor de 2 metros, lo que dará entonces un área de orificio grande. En los lugares donde se instale la válvula se tendrá una admisión y expulsión de aire, por lo que se deberá escoger aquella que dé el diámetro mayor.

Ubicación de la válvula en la línea de presión:

- Cimas o puntos más altos o cambios de dirección.
- Los cambios de inclinación en las tuberías de acuerdo a diseño de la red.
- Se sugiere colocar una válvula en al menos cada 500 metros en las líneas de conducción en tramos rectos.

5.15 COMPONENTE TERRITORIAL Y AMBIENTAL

La aptitud ecológica bosque húmedo montaña bajo, y bosque muy húmedo montaña bajo, la zona de riego corresponde principalmente a bosque húmedo montaña bajo. Este tipo de bosques presentan un ecosistema que debe ser analizado para gestionar los riesgos de las zonas de intervención y las medidas para mitigarlos o controlarlos. Asimismo, la evaluación del impacto ambiental es

necesaria en aquellas acciones, ya sean obras públicas o proyectos privados, que pueden tener una incidencia directa sobre el ambiente en sus dos grandes componentes que son:

Ambiente natural (atmósfera, hidrosfera, litosfera, biosfera).

Ambiente social. Conjunto de infraestructura material constituida por el ser humano y los sistemas sociales e institucionales que ha creado.

De estos se destacan los aspectos:

El ecológico: orientado principalmente hacia los estudios de impacto físico y geofísico.

El humano: que contempla las facetas socio- políticas, socio- económicas, culturales y salud.

La fase de evaluación de impactos permite establecer correctamente el plan de manejo ambiental que conducirá a mantener ecosistemas equilibrados y mejorar los costos ambientales de rehabilitación. Por ello es importante tomar como base los siguientes criterios:

Importancia social: se consideran los efectos sobre las organizaciones sociales, participación comunitaria, acuerdos y convenios con las comunidades locales, salud y seguridad de los pobladores, uso de la infraestructura, efectos sobre los valores estéticos, recreativos y arqueológicos, uso potencial del suelo, servicios comunitarios, efectos demográficos y educacionales, pérdidas potenciales de especies con algún valor real o potencial, o producción comercial de carácter agrícola o ganadero.

Los programas de relaciones comunitarias deben abarcar un amplio rango de actividades de consulta y proporcionar un marco de trabajo para señalar los impactos sociales y otros impactos provenientes de las actividades del proyecto sobre las comunidades. Estos proporcionan un contexto para identificar y llevar a cabo actividades de desarrollo comunal, las cuales ayudarán a mitigar los impactos identificados.

Los programas de relaciones comunitarias en el contexto de la mitigación del impacto social y ambiental pueden ser vistos de manera más apropiada como programas con implicancia comunal. Estos se basan en la premisa que las comunidades locales tienen derecho a estar activamente implicadas en el proceso de identificar los impactos potenciales y definir la mitigación apropiada. Por consiguiente, generalmente requieren diferentes actitudes, propuestas y habilidades, en vez de los convencionales programas de relaciones públicas.

Estándares ambientales: Se considera la legislación ambiental vigente en el país, las Leyes y Reglamentos emitidos por el Ministerio de Energía y Minas referido a temas ambientales en el sector minero, políticas internas de la empresa sobre seguridad y medio ambiente.

5.16 COMPONENTE SOCIAL

En la parte social es oportuno establecer la información socio administrativa, además los procesos de legitimidad de la organización. Todo se presenta en la tabla 13.

Tabla 13.

Información sobre legitimidad, autoridad y participación e la organización

ASPECTO	INFORMACIÓN
Personería Jurídica	La Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca está reconocida por El Consejo de Desarrollo de las Nacionalidades y Pueblos del Ecuador CODENPE, con fecha 20 de enero de 2009, mediante Acuerdo Ministerial No.1348.
Estatutos	Aprobado por la Asamblea General de La Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca, realizada el 18 de mayo de 2008, e inscritos en El Consejo de Desarrollo de las Nacionalidades y Pueblos del Ecuador CODENPE.
Reglamentos	Actualmente con este proyecto de riego realizado por parte del Gobierno Provincial de Imbabura, se hace necesario establecer una normativa de distribución de agua ajustada a la programación y diseño que se realice en la propuesta.
Autorización de Uso y Aprovechamiento del Agua para riego.	Trámite N° 1-93-3.376-383-2012 RV, emitido por la SENAGUA, 17 de junio de 2013. Vigente por diez años renovables (hasta junio de 2023).

ASPECTO	INFORMACIÓN
Padrón de Usuarios	<p>Caudal autorizado: 33,0 l/s para irrigar 500 ha, pertenecientes a La Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca</p> <p>El caudal aforado, indicado en el informe emitido por el perito Sr. Walter Ruiz Estacio, fue de 50,00 l/s; sin embargo, el caudal requerido para abastecer las 500 ha es de 100,00 l/s, mismo que no está disponible, razón por la cual existe déficit para proveer de agua para riego, según la demanda total de los usuarios.</p> <p>Tras los aforos que se han realizado con el proyecto se determinó realizar el estudio con 20 l/s para riego.</p> <p>Los beneficiarios que conformarán parte del padrón de usuarios/as corresponden a un total de 291, de los cuales 154 son hombres, 113 mujeres y 4 pertenecen a áreas comunales.</p> <p>Esta herramienta contiene: nombres completos, número de cédula, área de riego, área total, comunidad de pertenencia y numeración de lotes.</p>
Directiva y su legalidad	<p>La elección de la directiva de La Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca se llevó a cabo mediante la Asamblea General el 02 de febrero de 2020, misma que estará en funciones durante tres años (hasta febrero de 2023). La directiva actual no se encuentra inscrita en el ente rector, pero todas las funciones se encuentran avaladas por los dirigentes de las comunidades que sí cuentan con su nombramiento respectivo.</p> <p>Conformada por 1 mujer y 4 hombres; todos ellos se identifican como indígenas.</p>
Directiva y su integración	<p>Presidente: Edison Jonathan Andrango Moran Vicepresidente: Tamia Sisa Lema Muenala Secretario: Luis Fabián Perugachi Tituaña Tesorero: José Manuel Ipiales Tituaña Operador de Recursos Hídricos: Luis Humberto De la Torre</p>
Se cuenta con Libro de Actas	<p>Cuentan con los Libro de Actas, los cuales se llevan físicamente.</p>
Se cuenta con informes contables	<p>Existen copias de informes de labores y económicos de directivas, los mismos que se informan con la regularidad que demanda el Estatuto.</p>
Servicios Comunitarios	<p>Cada comunidad que conforma La Unión de Comunidades Indígenas y Pluriculturales de Azama–Unorinca cuenta con un lugar para las reuniones.</p> <p>Se identificó que el socio Julián Alberto Muenala Tituaña de la Asociación Jacinto Collahuazo ha ostentado y ocupado los siguientes cargos políticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Candidato para Consejero Provincial en 2006. ● Candidato para la Alcaldía de Otavalo en 2007. ● Primer indígena en la historia del Banco Nacional de Fomento (BNF) en ocupar una gerencia de una sucursal de esa entidad, en el 2007.
Contexto político	<ul style="list-style-type: none"> ● Director Distrital del MAG Imbabura, 2010. ● Coordinador del Plan de Tierras de Imbabura y Carchi, 2014. ● Presidente de la Unión de Comunidades y Junta de Aguas de Azama, 2013. ● Candidato para la Alcaldía de Otavalo en 2015.

ASPECTO	INFORMACIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> ● Coordinador de Inclusión Económica y Social MIES en Imbabura,
ACEPTACIÓN Y PARTICIPACIÓN	
Aceptación, en términos generales, de las decisiones tomadas por la directiva.	El 100% de los usuarios encuestados que están contemplados para formar parte del proyecto, manifestaron que las decisiones son tomadas en Asambleas Generales, mismas que se realizan previa convocatoria. El 100% de los encuestados afirma que las resoluciones son socializadas en las reuniones que organiza cada comunidad.
Porcentaje de participación	Según percepción de la dirigencia, hay un 75 % de participación en las actividades planificadas por la organización.
Pertenencia	Todos los usuarios que formarán parte del proyecto se sienten parte de la organización.

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.17 VIABILIDAD FINANCIERA Y ECONÓMICA

Tabla 14.

Flujo de caja del sub-proyecto

RUBROS (291 beneficiarios 93.34 ha)	FLUJO DE CAJA DEL SUBPROYECTO										
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
Asociación Maíz, Haba y Fréjol 46.65 ha		242,580.00	267,771.00	293,895.00	300,892.50	328,416.00	341,224.22	354,531.97	368,358.72	382,724.71	397,650.97
Asociación Chocho, Arveja y Cebada 46.65 ha		335,880.00	372,267.00	410,520.00	429,180.00	515,016.00	535,101.62	555,970.59	577,653.44	600,181.92	623,589.02
TOTAL INGRESOS		\$ 578,460.00	\$ 640,038.00	\$ 704,415.00	\$ 730,072.50	\$ 843,432.00	\$ 876,325.85	\$ 910,502.56	\$ 946,012.16	\$ 982,906.63	\$ 1,021,239.99
EGRESOS											
<u>Inversión</u>											
Tecnificación de 93.34 ha	\$ 1,065,070.35										
Plan de Capacitación y Asistencia Técnica PACT	\$ 28,433.00										
Plan Ambiental PA	\$ 11,230.79										
<u>Costos y gastos</u>											
Asociación Maíz, Haba y Fréjol 46.65 ha		187,162.60	187,279.22	187,395.85	187,512.47	187,629.10	194,946.63	202,549.55	210,448.99	218,656.50	227,184.10
Asociación Chocho, Arveja y Cebada 46.65 ha		247,786.14	247,902.77	248,019.39	248,136.02	248,252.64	257,934.49	267,993.94	278,445.70	289,305.08	300,587.98
Depreciación del sistema de riego		\$ 37,299.30	\$ 37,299.30	\$ 37,299.30	\$ 37,299.30	\$ 37,299.30	\$ 37,299.30	\$ 37,299.30	\$ 37,299.30	\$ 37,299.30	\$ 37,299.30
Operación y mantenimiento del sistema de riego		\$ 2,476.40	\$ 2,476.40	\$ 2,476.40	\$ 2,476.40	\$ 2,476.40	\$ 2,476.40	\$ 2,476.40	\$ 2,476.40	\$ 2,476.40	\$ 2,476.40
TOTAL EGRESOS	\$ 1,104,734.14	\$ 474,724.43	\$ 474,957.68	\$ 475,190.93	\$ 475,424.18	\$ 475,657.43	\$ 492,656.82	\$ 510,319.19	\$ 528,670.38	\$ 547,737.28	\$ 567,547.78
F.N.C (B-C)	-\$ 1,104,734.14	\$ 103,735.57	\$ 165,080.32	\$ 229,224.07	\$ 254,648.32	\$ 367,774.57	\$ 383,669.03	\$ 400,183.37	\$ 417,341.77	\$ 435,169.35	\$ 453,692.21

Como se puede evidenciar en la tabla 14, la producción de Azama está dividida en 50% para maíz, haba y fréjol, y el otro 50% para chocho, arveja y cebada. De la misma manera, se identificaron dos tipos de productores según el tamaño de su finca, acceso al agua de riego, sistemas de cultivo y crianzas implementadas, mano de obra y destino de la producción. Así, se identificó a: i) los pequeños productores extensivos de granos doble activos y ii) los medianos productores extensivos de granos doble activos. En la tabla 15 se detallan algunas características de cada tipología.

Tabla 15.
Características diferenciadoras de las tipologías de productores.

Variable	Tipo 1	Tipo 2
Nombre	Pequeño productor extensivo de granos doble activo	Mediano productor extensivo de granos doble activo
Comunidades	Pigulca, Gualapuro, Aso. Jacinto Collahuazo, Libertad de Azama, Esperanza de Azama, Patalanga, Uyancha, Cumbas Conde	Aso. Jacinto Collahuazo, Patalanga, Libertad de Azama, Uyancha.
Superficie promedio (ha)	0,25 - 0,5 ha.	1 - 2 ha.
Cultivos	Maíz, fréjol, haba, chocho, arveja, cebada, algunos árboles de aguacate, cítricos.	Maíz, fréjol, haba, chocho, arveja, cebada, trigo, huertas frutales con aguacate, cítricos, granadilla, naranjilla, pastos (alfalfa + pasto natural).
Animales	1-2 vacas, 1-2 chanchos, 5-8 borregos 30 cuyes, 10 gallinas.	4-5 vacas, 3-5 chanchos, 5-10 borregos 30 cuyes, 10 gallinas.
Mano de obra familiar	Netamente familiar. También se hacen "mingas" con los familiares o "Randy-Randy".	Principalmente familiar. También se hacen "mingas" con los familiares o "Randy-Randy".
Mano de obra contratada	No	Sí, en picos de trabajo como deshierba, aporques, cosecha.
Riego	No, solo lluvia.	No, solo lluvia.
Destino de la producción	80% para consumo familiar, 20% para el mercado	50% para consumo familiar, 50% para el mercado

Nota. Fuente: Entrevistas a agricultores de Azama, 2021. **Elaborado por:** El Autor, 2021.

Más del 95% de la población del territorio de Azama representa a la primera tipología. Como se observa en la tabla 15, estos agricultores practican una

agricultura de secano, ligada a la agricultura familiar campesina, con producción básica de granos para consumo familiar.

La propuesta tiene como finalidad potenciar el modo de producción agrícola de los cultivos en el territorio de Azama. Este sistema de producción consiste en la implementación de cultivos frutales asociados bajo un enfoque de huerta frutal agroecológica.

Por el tamaño pequeño de las unidades de producción de los agricultores del territorio de Azama (0.25 – 0.50 ha), disponibilidad de agua de riego, mano de obra, los huertos deben tener un tamaño promedio de 500 m², de esta manera no se afecta considerablemente la lógica de producción que tienen los agricultores. La estructura propuesta de una unidad de producción familiar en el territorio de Azama con huerto frutal agroecológico.

A través de la implementación de esta propuesta de manejo de las unidades de producción con enfoque agroecológico se pretende incrementar los rendimientos de los cultivos actuales y de los propuestos en al menos un 15% con relación a los rendimientos actuales. Así, en la tabla número 16, se presentan los rendimientos promedios actuales y propuestos con la implementación de la propuesta agroecológica.

Tabla 16.

Estimación de rendimiento por cultivo con la aplicación de las estrategias propuestas

CULTIVO	UNIDAD	RENDIMIENTO ACTUAL POR HECTÁREA	RENDIMIENTO PROPUESTO POR HECTÁREA			
			Año 1 (incremento o 5%)	Año 2 (incremento o 5%)	Año 3 (incremento o 10%)	Año 4 (incremento o 15%)
MAÍZ (SUAVE SECO)	quintal	12,0	42,0	44,1	48,5	55,8
FRÉJOL SECO	quintal	10,0	10,5	11,6	13,3	15,3
HABA TIERNA	quintal	12,0	12,6	13,9	15,9	18,3
ARVEJA	quintal	7,0	7,4	8,1	9,3	10,7
CEBADA	quintal	20,0	21,0	23,1	26,6	30,5
CHOCHO	quintal	30,0	31,5	34,7	39,8	45,8

Nota. Fuente: Entrevistas a agricultores de Azama, 2021. **Elaborado por:** El Autor, 2021.

Con la incorporación de las estrategias de manejo de suelo y del agua de riego, se propone un incremento progresivo de los rendimientos que permita llegar y aproximarse al promedio nacional de los cultivos del territorio.

Los valores financieros del proyecto indican que el proyecto tiende a ser rentable con el tiempo, generando un beneficio costo de 13 centavos por cada dólar que se invierte.

Tabla 17.

Análisis financiero

Indicador	Valor
VANe	500,125.68
TIRe	19.89%
Actualización ingresos	\$ 4,391,840.88
Actualización egresos	\$ 3,891,715.20
B/Ce	1.13

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.18 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

El proyecto de riego corresponde al estudio, que es un paso previo para la construcción. Es decir, representa la continuidad del mismo, para lo cual existe un ente externo administrativo que debe financiar el proceso. El ente externo es el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, el que debe aprobar el proyecto y transferir los fondos al Gobierno Provincial para la ejecución del mismo.

El entorno de la intervención está supeditado a trámites administrativos para lograr su financiamiento, y posteriormente a trámites administrativos y constructivos para la ejecución.

El análisis de sostenibilidad está sujeto a dos puntos; el primero el financiamiento, y el segundo la fase constructiva.

5.18.1 ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL Y RIESGOS

Cada vez que se realiza un proyecto existen efectos externos en el ámbito geográfico próximo, los que determinan cambios irreversibles sobre la fauna, flora y sobre las organizaciones sociales. Este proyecto no es la excepción.

Para el análisis ambiental se consideran dos niveles de aproximación. El primero es el impacto negativo al medio ambiente y en función de un análisis financiero, económico y social.

El segundo nivel evalúa la forma cómo se analizan los proyectos que se promueven y diseñan con un deliberado objetivo de mejorar, recuperar, reivindicar, mitigar, efectos nocivos sobre algunos bienes ambientales. Para ello se busca la sensibilización de los actores sociales.

Se trata de tener en cuenta en forma explícita los efectos que sobre el medio ambiente genera cualquier clase de proyecto. Se busca entonces prever, mitigar o controlar esos efectos nocivos que afectan las condiciones de vida de la población presente y futura, evitando la depredación de los llamados bienes ambientales. Después de la evaluación y valoración ambiental se consideran los efectos negativos que se desprenden de un proyecto sobre el medio ambiente.

Tomando en cuenta una lógica económica ambiental (racionalidad en la utilización de los recursos naturales), se analiza el proyecto desde dos puntos de vista:

- Recursos y su adecuada utilización.
- Impactos generados y la disposición final de los desechos propios del proceso insumo -productos- consumo.

Para la elección de las alternativas se toman en cuenta las variables cuyo dinamismo depende en gran parte de la actividad humana, la relación con la disponibilidad del recurso, con la generación de residuos, y con la inversión de recursos económicos.

La naturaleza es fundamental en el proceso económico y en la formación del valor, por ello es fundamental considerar la parte económica para que las medidas implementadas sean auto sostenidas.

El análisis considera la relación beneficio-costos que busca ponderar los efectos positivos y negativos de una decisión de inversión, que se puede manifestar internamente o en forma externa al proyecto.

El propósito del análisis de alternativas es otorgar beneficios a los costos que se manifiestan por alteraciones al medio ambiente y producen externalidades hacia los proyectos o hacia la comunidad, tales como el calentamiento global y el efecto invernadero. Queda claro entonces que la ejecución y operación de un proyecto puede afectar el nivel de bienestar de ciertos grupos sociales, así como el estado de la naturaleza, y en algunos casos el funcionamiento de otros proyectos.

5.19 SOSTENIBILIDAD SOCIAL

El proyecto logró beneficiar a la comunidad en el manejo integral del agua, así como potenciar el resto de actividades sociales y culturales que ya existen. De igual manera, se enfocó en la distribución equitativa del agua, proporcionando un desarrollo productivo equitativo en donde tener agua en sus parcelas es un primer motivo de trabajo. El siguiente paso será la construcción, y finalmente la puesta en marcha y uso adecuado del agua.

5.20 PRESUPUESTO

Todo proyecto debe presentar un presupuesto. El presupuesto estimado de este proyecto se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 18.

Presupuesto

ITEM	RUBRO / DESCRIPCIÓN	TOTAL
1.00	RESERVORIO	151360.01
2.00	CERRAMIENTO	22246.94
3.00	ESTRUCTURA DE SALIDA RESERVORIO	73375.33

4.00	RED DE DISTRIBUCIÓN	499154.12
5.00	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE PVC	23032.12
6.00	HIDRANTES TOMA USUARIOS	54865.55
7.00	CAJA VALVULA REDUCTORA DE PRESIÓN (1 UNIDAD)	12024.10
8.00	CAJAS DE VÁLVULAS SECTORIALES:CONTROL MODULAR (3 UNIDADES DE 6" ; 5 UNIDADES DE 8")	65209.80
9.00	CAJAS DE VÁLVULAS DE DESAGÜE (10 UNIDADES)	3875.62
10.00	TANQUE ROMPE PRESIÓN	11311.21
11.00	ESTRUCTURAS VÁLVULAS DE AIRE (UNIDADES=24)	12619.22
12.00	PASO SUBFLUVIAL	2120.60
13.00	PASO ELEVADO L=100M	18401.80
14.00	ALCANTARILLADO	58757.59
15.00	POZOS DE SALTO (3 UNIDADES)	15717.25
16.00	ESTRUCTURA DE DESCARGA (1 UNIDADES)	3057.76
17.00	LÍNEA DE CONDUCCIÓN EXISTENTE	28478.63
18.00	DESARENADOR EXISTENTE	2689.73
19.00	VERTEDERO LATERAL DE CAPTACIÓN EXISTENTE	65.90
20.00	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	
	PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS	1072.00
	PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS	1790.50
	PLAN DE COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN, EDUCACIÓN AMBIENTAL Y RELACIONES COMUNITARIAS	2000.00
	PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS	1040.00
	PLAN DE SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL	806.50
	SUB-TOTAL	1065072.29
		127808.44
		1192878.79

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.21 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

El presente cronograma de ejecución está elaborado para la construcción de las obras, desde el reservorio hasta la rehabilitación de la infraestructura existente.

Tabla 19

Cronograma de ejecución

Rubro / Descripción	Total	Cronograma (mes)					
		1	2	3	4	5	6
RESERVORIO	\$151,360.02	\$75,680.01	\$75,680.01				
CERRAMIENTO	\$22,246.94	\$11,123.47	\$11,123.47				
ESTRUCTURA DE SALIDA RESERVORIO	\$73,375.34	\$36,687.67	\$36,687.67				
RED DE DISTRIBUCIÓN	499153.74	83192.3	83192.3	83192.3	83192.3	83192.3	83192.3
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DE PVC	\$23,032.12	3838.7	3838.7	3838.7	3838.7	3838.7	3838.7
HIDRANTES TOMA USUARIOS	54865.54			13716.4	13716.4	13716.4	13716.4

CAJA VALVULA REDUCTORA DE PRESIÓN (1 UNIDAD)	\$12,024.10	3006.0	3006.0	3006.0	3006.0
CAJAS DE VÁLVULAS SECTORIALES:CONTROL MODULAR (3 UNIDADES DE 6" ; 5 UNIDADES DE 8")	\$65,209.82	16302.5	16302.5	16302.5	16302.5
CAJAS DE VÁLVULAS DE DESAGÜE (10 UNIDADES)	3875.62	968.9	968.9	968.9	968.9
TANQUE ROMPE PRESIÓN	\$11,311.21	2827.8	2827.8	2827.8	2827.8
ESTRUCTURAS VÁLVULAS DE AIRE (UNIDADES=24)	\$12,619.22	3154.8	3154.8	3154.8	3154.8
PASO SUBFLUVIAL	\$2,120.93	530.2	530.2	530.2	530.2
PASO ELEVADO L=100m	\$18,400.86	4600.2	4600.2	4600.2	4600.2
ALCANTARILLADO	\$58,757.59	14689.4	14689.4	14689.4	14689.4
ESTRUCTURA DE DESCARGA (1 UNIDADES)	\$3,057.80	764.5	764.5	764.5	764.5
LÍNEA DE CONDUCCIÓN EXISTENTE	\$28,478.63	7119.7	7119.7	7119.7	7119.7
DESARENADOR EXISTENTE	5379.46	1344.9	1344.9	1344.9	1344.9
VERTEDERO LATERAL DE CAPTACIÓN EXISTENTE	\$65.09	16.3	16.3	16.3	16.3
PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS	\$1,072.00				
PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS	1790.5				
PLAN DE COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN, EDUCACIÓN AMBIENTAL Y RELACIONES COMUNITARIAS	\$2,000.00				
PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS	\$1,040.00				
PLAN DE SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL	\$806.50				

Nota. Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

5.22 ESTRATEGIA DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

El proyecto contempla un plan de seguimiento con varios actores. El primero y más importante desde el punto de vista de la sostenibilidad es la población beneficiaria. Se debe realizar un constante seguimiento al proceso y acompañar a las instituciones para la ejecución del proyecto.

También se debe hacer un seguimiento continuo a las instituciones públicas entre las que están, por orden de importancia: el Gobierno Provincial de Imbabura, y el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, ello con la finalidad de realizar los trámites administrativos correspondientes para conseguir el dinero para la construcción del proyecto, así como los permisos para su ejecución.

La evaluación debe llevarse a través de los parámetros del marco lógico y según el desarrollo de cada componente. El principal en términos económicos y de importancia social es el de infraestructura, pero a través de este se debe buscar la integralidad del sistema de riego.

El paso más importante a desarrollar es el proyecto de riego, el mismo que deberá ser presentado al Gobierno Provincial de Imbabura, con la finalidad de que sea aprobado, y posteriormente presentado al Ministerio del Ambiente y Transición Ecológica. En dicho ministerio se deberá evaluar y considerar su financiamiento.

6. CONCLUSIONES

El proyecto ha contado con el apoyo de la comunidad en las fases de levantamiento de información, socialización y seguimiento, que implica la realización de los trámites para lograr la ejecución del estudio.

Se actualizó el padrón de usuarios del sistema de riego de todos los usuarios con derecho y se identificó la superficie real de riego de 93.34 Ha con un caudal ficticio continuo de 0.25l/s/ha.

Se contó con el 100% del apoyo de los usuarios y sus dirigentes para la elaboración del estudio, iniciando por el levantamiento de información, catastros, planteamiento hidráulico, socializaciones etc.

Se realizó la programación de riego con las necesidades hídricas del sitio considerando la parte social del sector, verificando al agua concesionada a la junta de usuarios.

Se realizó todos los diseños hidráulicos de las redes y tomas de entrega para los usuarios con EPANET, respetando las velocidades de diseño entre 0.60-1.80 m/s.

La distribución del agua se realizó mediante turnos de riego para cada sector, como son 7 comunidades se determinó social y técnicamente que cada comunidad regara un día por semana según la programación de riego.

El presente proyecto ha buscado generar varios criterios y ha logrado que tenga un consenso social, comprensión del planteamiento hidráulico y aceptación por parte de la comunidad ya que posee un alto nivel de equidad y sostenibilidad social, económica y ambiental.

El reparto equitativo del recurso hídrico analizado y trabajado desde principios técnicos y sociales, es decir consensuados con la comunidad, permite establecer un mecanismo adecuado para el uso eficiente y óptimo del recurso hídrico; para esto, la interacción entre ambiente y desarrollo social son fundamentales para lograrlo.

Las comunidades son parte activa de este tipo de proyectos, por eso al momento de socializar los problemas, la comunidad comprende la importancia de ingresar en un proceso de programación y reparto de agua, lo cual facilita el desarrollo del proyecto.

El modelo productivo de la zona de Azama caracterizado por priorizar la agricultura de autoconsumo determina que los actores involucrados en la comercialización sean los mínimos y característicos de un circuito corto como los son: productores y compradores y un escaso número de intermediarios.

REFERENCIAS

- Alduán, A., & Montserrat, J. (2009). Estudio comparativo entre la organización a la demanda o por turnos en redes de riego a presión. *Ingeniería del agua*, 16(3).
<https://doi.org/10.4995/ia.2009.2951>
- Allen, R. G., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje , 56, FAO, Roma.
- Arévalo Pulla, P. S., & Barahona Barahona, R. I. (2013). *Tesis de titulación: Diseño comparativo de tanques para el almacenamiento de agua de hormigón armado, enterrados hasta el nivel de la tapa*. Universidad de Cuenca.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4267>
- Basso, B., Liu, L., & Ritchie, J. (2016). A comprehensive review of the CERES-wheat, -maize, and -rice models' performances. *Advances in Agronomy*, 136, 27-132.
- Bernard, R., & Ryan, G. W. (1998). *Text Analysis Qualitative and Quantitative Methods*. Rand Corporation.
- Calera, A., Campos, I., & Garrido, J. (2016, 11). *Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales*. Jornada técnica de innovación en gestión del regadío mediante redes agroclimáticas, teledetección y sistemas de información. CENTER.
- Cachipundo Ulcuango, C. J. (2021). AGUA PARA LE GENTE (1ra edición ed., Vol. 1). (P. M. Manosalvas, Ed.) Quito, Pichincha, Ecuador: Editorial Universitaria Abya-Yala.
<https://doi.org/059841>

Calera, A., Campos, I., & Garrido-Rubio, J. (noviembre 2016). Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales. Jornada técnica de innovación en gestión del regadío mediante redes agroclimáticas, teledetección y sistemas de información. .

Chavarri, E. (2004). Evapotranspiración -Clase VII. Universidad Nacional Agraria La Molina , Departamento de Recursos de Agua y Tierra.

CONGOPE. (2011). *Estatuto del Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador*. CONGOPE. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/Estatuto-CONGOPE.pdf>

CONGOPE. (2016). Estatuto del Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador . CONGOPE, Quito.

Dufumier, M. (2004). *Agricultures et paysanneries des Tiers mondes*.

El-Shirbeny, M., Saleh, N., & Abdelraouf, A. (1 de noviembre de 2014). Estimation of Potential Crop Evapotranspiration Using Remote Sensing Techniques. 10th International Conference of AARSE.

Enciso Medina, J. (1993). *Cuándo y cuánto regar: Anexo técnico*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://hdl.handle.net/20.500.12013/1630>

FAO. (1978). El Estado mundial de la agricultura y la alimentación. ONU.

FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia: <https://doi.org/10.1590/198340632015v4529143>.

FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. FAO/.

Foro Peruano para el Agua. (2011). *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico* [Cartilla Técnica.]. Foro Peruano para el Agua.

Freire, P. (2012). *Pedagogía de la autonomía: Saberes necesarios para la práctica educativa*. Siglo Veintiuno.

Guime Baldión, K., & Freire Serrano, C. (2019). *Tesis de maestría: Diseño de estructura de gobierno comunitario que permita alcanzar un sistema de riego sostenible*. Espol.

Instituto Geográfico Nacional de España. (2009). *Evotranspiración Potencial (ETP) Media Anual*. Instituto Geográfico Nacional de España.
<https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-riego-en-horticultura.pdf>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2007). *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. 7.

Llerena Cepeda, L., Zamora Sánchez, R., Sánchez Herrera, B., & Abril Porras, V. (2017). La administración de las Juntas de Agua de Riego: Factor clave para la sostenibilidad del sector agrícola en la provincia de Tungurahua. *Revista digital de Medio Ambiente "Ojeando la agenda"*, 48.

Loaiza, W., Carvajal, Y., & Baquero, O. (2015). Índice estandarizado de precipitación (SPI) para la caracterización de sequías meteorológicas en la cuenca del río Dagua-Colombia. *Estudios Geográficos*, 76(279), 557-578.

Marini, F., Santamaría, M., Oricchio, P., Di Bella, C., & Basualdo, A. (2017). Estimación de evapotranspiración real (ETR) y de evapotranspiración potencial (ETP) en el

sudoeste bonaerense (Argentina) a partir de imágenes MODIS. Teledetección(48), 29-41.

Mays, L. W. (2003). *Manual de sistemas de distribución de agua*. McGraw-Hill.

PRONAMACHCS. (2005). *Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos—PRONAMACHCS*.
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/conservacion-suelos-nivel-nacional-hectareas-2002-2004>

Sánchez Martínez, M., & Carvacho Bart, L. (2011). Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 50, 171-186.

Sanchez-Toribio, M. I. & Sociedad Española de Geomorfología. (1992). *Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración*. Sociedad Española de Geomorfología: Geoforma.

Sanvicente, H., & Frausto, J. (2003). Optimización de los diámetros de las tuberías de una red de distribución de agua mediante algoritmos de recocido simulado. *Revista interdisciplinaria de ciencia y tecnología del agua*, 18(1).

Servín, M., Tijerina, L., Medina, G., Palacios, O., & Flores, H. (2017). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2).

Soto Baquero, F., Fazzone, M. R., Falconi, C., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Latin America and the Caribbean, & Inter-American Development Bank. (2007). *Políticas para la agricultura familiar en*

América Latina y el Caribe. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.

Villafáfila, E. J., & Wyss, V. F. (2009). *Guía para la instalación de Pequeños Sistemas de Riego*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Yanangómez Agila, L. V. (2018). *Tesis de pre-grado: Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado (Zea mays l.) en la parroquia Malacatos sector "San José"*. Universidad Nacional de Loja.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21176/1/LUIS%20VICENTE%20YANANG%20C3%93MEZ%20AGILA.pdf>

ANEXOS

- RESPALDOS DEL PROYECTO
- TOPOGRAFÍA
- CATASTROS
- DISEÑOS HIDRÁULICOS Y DE OBRA CIVIL
- MEMORIAS DE CALCULO
- PLANOS DEFINITIVOS
- PRODUCTOS FINALES