



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**GUÍA PARA LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO CIVIL EN PROYECTOS
DE RIEGO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Gustavo Adolfo Cárcamo Recinos

Asesorado por el Ing. Jorge Horacio de León de León

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO CIVIL EN PROYECTOS
DE RIEGO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GUSTAVO ADOLFO CÁRCAMO RECINOS

ASESORADO POR EL ING. JORGE HORACIO DE LEÓN DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Andy Williams Alonzo Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio Díaz García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA PARA LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO CIVIL EN PROYECTOS DE RIEGO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 5 de febrero de 2018.



Gustavo Adolfo Carcamo Recinos



SERVICIOS PROFESIONALES DE INGENIERIA CIVIL
ING. JORGE HORACIO DE LEON DE LEON

Villa Nueva, 27 de julio de 2018

Ingeniero

Luis Manuel Sandoval Mendoza

Jefe del Área de Hidráulica

Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala.


Estimado Ingeniero Sandoval:

Es un gusto saludarle, deseándole éxitos en sus actividades diarias, me dirijo a usted para infórmale que he revisado el trabajo de graduación titulado **"GUÍA PARA LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO CIVIL EN PROYECTOS DE RIEGO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA"**, presentado por el estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Civil el Bachiller **GUSTAVO ADOLFO CÁRCAMO RECINOS** que se identifica con número de carné **2009-46289**.

Este trabajo de graduación llena los requisitos deseados para mi **APROBACIÓN**, por lo anteriormente, en mi calidad de asesor, solicito sus buenos oficios para que continúe el proceso de dicho documento.

Sin otro particular,

Atentamente.



Jorge Horacio de León de León
Ingeniero Civil
Colegiado 5,607
Asesor

Jorge Horacio De León De León
Ingeniero Civil
Colegiado No. 5607



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala, 09 de Octubre de 2018

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero

Le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **“GUÍA PARA LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO CIVIL EN PROYECTOS DE RIEGO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA”**, desarrollado por el estudiante de ingeniería civil Gustavo Adolfo Cárcamo Recinos, quien contó con la asesoría del ingeniero Jorge Horacio de León de León.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y habiendo cumplido con los objetivos doy mi aprobación al mismo, solicitando darle el tramite respectivo.

Sin otro particular, me despido atentamente.

Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Jorge Horarcio de León de León y Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza, al trabajo de graduación del estudiante Gustavo Adolfo Cárcamo Recinos GUÍA PARA LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO CIVIL EN PROYECTOS DE RIEGO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2018

/mmm.



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua

Universidad de San Carlos
de Guatemala

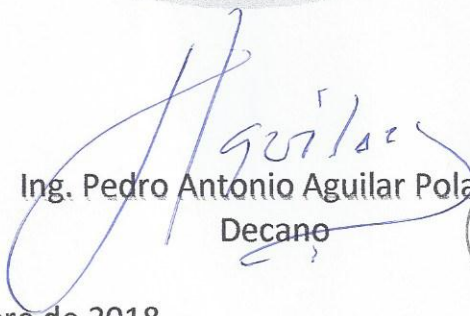


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 482.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil al Trabajo de Graduación titulado: **“ GUÍA PARA LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO CIVIL EN PROYECTOS DE RIEGO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA”** presentado por el estudiante universitario: **Gustavo Adolfo Cárcamo Recinos** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala noviembre de 2018.

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por todas las bendiciones que me ha dado, llenarme de sabiduría para luchar y alcanzar mis metas; por la vida que me ha regalado al lado de mi familia y mis amigos; en cada momento de felicidad y tristeza siempre me ha ayudado a salir adelante.

Mis padres

Gustavo Adolfo Cárcamo Aquino y Emerita Consuelo Recinos de Cárcamo, por su gran amor, comprensión, protección y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Mis hermanos

Manuel Francisco, Ingrid Verónica, Mónica Carolina Cárcamo Recinos, por brindarme su apoyo y amor.

Mis hijos

Gustavo José e Isabella Sofía Cárcamo Samayoa, por ser el motor y el plus en mi vida para poder seguir cosechando frutos.

Mis sobrinos

Andrea de María Cárcamo Martínez, Diego José Sierra Cárcamo, María Fernanda Cárcamo Martínez, Fátima Lucía, Marines Portillo Cárcamo.

Mis tíos y primos

A cada uno con cariño y aprecio.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por todas la bendiciones recibidas a lo largo de mi vida, dándome el valor y la perseverancia para llegar a este momento tan importante en mi vida.
Mis padres	Por todas la bendiciones recibidas a lo largo de mi vida, dándome el valor y la perseverancia para llegar a este momento tan importante en mi vida.
Mis amigos	De la Facultad de Ingeniería, por su valiosa amistad, por acompañarme a lo largo de esta etapa, llena de dificultades, retos y satisfacciones.
Mi asesor	Ing. Jorge Horacio de León de León, por su amistad y el valioso tiempo que dedico a asesorar este trabajo de graduación.
Mis padrinos	Ing. Manuel Francisco e Inga. Mónica Carolina Cárcamo Recinos.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haberme albergado todos estos años en tan prestigiosa casa de estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Formación del ingeniero civil	1
1.2. Áreas de participación del ingeniero civil.....	3
1.3. Recurso hídrico en Guatemala	3
1.3.1. Usos	4
1.3.2. Disponibilidad	8
1.4. Investigaciones en el tema	9
1.4.1. A nivel internacional.....	10
1.4.2. A nivel nacional.....	10
2. PROYECTOS DE RIEGO	11
2.1. Proyectos de riego.....	11
2.1.1. Definición	12
2.1.2. Características.....	13
2.1.3. Clima	13
2.1.4. Calidad del agua en la agricultura	14
2.1.5. Balance hídrico	16
2.2. Sistemas de riego.....	17

2.2.1.	Definición.....	17
2.2.2.	Características	18
2.2.3.	Tipos de sistemas de riego.....	18
2.2.4.	Componentes	24
2.2.4.1.	Tuberías	24
2.2.4.2.	Equipo de impulsión	26
2.2.4.3.	Equipos de control y medida	27
2.2.4.4.	Filtros.....	34
2.2.4.5.	Obra gris.....	38
2.3.	Desarrollo proyectos de riego	40
2.3.1.	Estudios preliminares	44
2.3.1.1.	Ambiental	44
2.3.1.2.	Topografía	46
2.3.1.3.	Diseño hidrológico	47
2.3.1.4.	Marco legal.....	47
2.3.2.	Diseño del sistema de riego	49
2.3.2.1.	Asesoría técnica.....	50
2.3.2.2.	Agronómico	50
2.3.3.	Ejecución del sistema de riego	51
2.3.3.1.	Infraestructura sistema de bombeo	52
2.3.3.1.1.	Casetas	52
2.3.3.1.2.	Reservorios	53
2.3.3.1.3.	Redes de conducción y distribución	53
2.3.3.1.4.	Canales, compuertas, válvulas, obras de arte	54
2.3.3.1.5.	Filtros	57
2.3.3.2.	Equipamiento	57

2.3.4.	Operación y mantenimiento	58
2.3.4.1.	Monitoreo.....	60
2.3.4.2.	Mantenimiento preventivo.....	61
2.3.4.3.	Mantenimiento correctivo.....	61
3.	ESTUDIO	63
3.1.	Antecedentes.....	63
3.2.	Metodología.....	64
3.2.1.	Actividades de campo.....	64
3.2.2.	Planificación.....	64
3.2.3.	Elaboración de instrumentos	65
3.2.4.	Caso práctico.....	66
3.3.	Análisis de resultados.....	85
3.3.1.	Gráficas y tablas	86
	CONCLUSIONES	95
	RECOMENDACIONES.....	97
	BIBLIOGRAFÍA.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Consumo anual del agua en Guatemala (2006-2010)	6
2.	Consumo de agua (riego) en la agricultura en Guatemala período 2001-2010 (millones de metros cúbicos).....	9
3.	Riego por gravedad.....	20
4.	Riego aéreo.....	21
5.	Riego por aspersión	22
6.	Riego por goteo.....	23
7.	Red de tuberías sistema de riego	25
8.	Equipo de impulsión sistema de riego.....	26
9.	Contadores de agua.....	27
10.	Uso de manómetros en sistemas de riego	28
11.	Válvulas de retención	29
12.	Válvulas de pie.....	31
13.	Uso de distintos tipos de válvulas	33
14.	Filtro de arena	35
15.	Filtro de mallas.....	36
16.	Filtro de anillas	37
17.	Tanque semienterrado	39
18.	Necesidad de riego por región en Guatemala. Región con muy alta necesidad de riego.....	41
19.	Necesidad de riego por región en Guatemala. Región con alta necesidad de riego.....	42

20.	Necesidad de riego por región en Guatemala. Región con media necesidad de riego.....	43
21.	Secciones típicas de canales.....	55
22.	Ubicación y topografía área a regar.....	67
23.	Diagrama de flujo proyecto de riego	68
24.	Aspersores marca Naandanjain 280 PC.....	74
25.	Distribución del sistema de riego	77
26.	Curva característica de la bomba Franklin Electric modelo AG 2X2.5-6	83

TABLAS

I.	Consumo anual del agua en Guatemala (2006-2010)	7
II.	Valores recomendados sustancias disueltas en agua para uso agrícola	16
III.	Tipo de filtro según condiciones del agua.....	37
IV.	Detalle planificación	65
V.	Datos necesarios para el diseño del sistema de riego.....	71
VI.	Accesorios utilizados para el cálculo	81
VII.	Presupuesto construcción sistema de riego	84
VIII.	Resultados: edad del entrevistado.....	87
IX.	Resultados: formación académica del entrevistado.....	87
X.	Resultados: ¿Trabaja el entrevistado?	88
XI.	Resultados: ¿El entrevistado ha recibido capacitación o formación en temas relacionados con sistemas de riego?	89
XII.	Resultados: ¿Durante su formación académica, realizó alguna práctica o actividad relacionada con sistemas de riego?	89
XIII.	Resultados: ¿Considera que el ingeniero civil puede participar en proyectos de riego?	90

XIV. Resultados: ¿Cree que deben incluirse actividades académicas relacionadas con sistemas de riego, en la formación del ingeniero civil? 91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
A	Área
d	Día
h	Hora
m	Metro
mm	Milímetro
T	Tiempo
U	Unidad
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

ACAAI	Agencia Centroamericana de Arquitectura e Ingeniería.
ANSI	Instituto Estadounidense de Estándares
Asesoría	Es un servicio independiente requerido por personas, instituciones o empresa privada para llevar conocimientos de un tema interés o actualización, realizada por asesor especializado en el tema.
EIA	Estudio de impacto ambiental.
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
Mercado laboral	Es el conjunto de actividades entre empleadores (oferentes de empleo) y personas que buscan trabajo remunerado.
PMA	Plan de manejo ambiental.

Producción agrícola	Productos cosechados en un tiempo determinado de acuerdo al ciclo de producción de cada cultivo, el cual está destinado para su comercialización o autoconsumo.
QTAA	Caudal total absorbido por los aspersores.
Ramales principales	Son las tuberías que parten de la estación de riego y lleva el agua a todas las tomas de riego del cultivo.
Ramales secundarios	Son las tuberías que se desprenden del ramal principal y conducen el agua a los módulos de riego.
Reservorio	Es un tanque o pileta destinada al almacenamiento de agua, sirve para mantener el normal abastecimiento durante el día.
Riego	Consiste en aportar agua al suelo para que los vegetales tengan el suministro que necesitan favoreciendo así su crecimiento.
Secano	Son las tierras de cultivo que no tienen un riego artificial y su única fuente de abastecimiento de agua es la lluvia.
TAAA	Tasa de aplicación de agua para aspersores.
TARA	Tiempo de aplicación de riego para aspersores.

UMG	Universidad Mariano Gálvez.
URL	Universidad Rafael Landívar.
USAC	Universidad de San Carlos.
UVG	Universidad del Valle.
Válvulas	Dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de un fluido. Accesorios que se utilizan en las redes de distribución para controlar el flujo y se pueden clasificar en función de la acción específica que realizan. Las válvulas más comunes en una red de distribución son las de compuerta y sirven para aislar segmentos de la misma.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se estudia y analiza el funcionamiento de los motores Stirling en busca de proponer un diseño de construcción de un motor Stirling solar para la generación de energía eléctrica.

Los sistemas de riego en Guatemala han servido para promover el desarrollo de las comunidades, muchas zonas del país se caracterizan por hacer de la agricultura su principal actividad económica.

En Guatemala es indudable que el recurso hídrico en la agricultura es un motor de desarrollo importante, ya que permite la diversificación de cultivos y la obtención de los mismos en épocas donde la demanda y el precio son muy rentables

En el presente informe se describen antecedentes que permitan contar con un marco general de información. Se incluyen conceptos importantes de proyectos y sistemas de riego. Al final se presentan los resultados sobre el conocimiento y participación del ingeniero civil en proyectos de riego, así como el de un caso práctico de diseño.

Se presenta información de utilidad práctica para los estudiantes y profesionales de la ingeniería civil; esta muestra la forma de aplicar los principios hidráulicos vistos, a los sistemas a utilizar en los diferentes proyectos.

OBJETIVOS

General

Presentar información sobre la participación del ingeniero civil en proyectos de riego a desarrollarse en Guatemala.

Específicos

1. Conocer los diferentes sistemas y tecnologías de riego existentes en el medio nacional e internacional.
2. Presentar los sistemas de riego, sus componentes, partes principales y el tipo de infraestructura necesaria, para el desarrollo de proyectos de este tipo.
3. Generar información y estadísticas sobre el diseño hidráulico de los sistemas de riego.
4. Identificar los detalles constructivos más relevantes de los sistemas de riego.
5. Conocer sobre la planificación, ejecución y costo de proyectos de riego en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

Por lo general cuando se habla de proyectos de riego se piensa en temas de agronomía, sin embargo la participación de la Ingeniería Civil en los proyectos de riego es fundamental e importante. Ante las nuevas condiciones de competencia en los proyectos de riego, en la actualidad en este tipo de actividades participan de manera activa ingenieros civiles.

La participación del ingeniero civil en el desarrollo y ejecución de este tipo de proyectos va en aumento; el diseño, manejo, y operación de los sistemas de riego son factores cruciales, para lograr un uso eficiente de los recursos hídricos en Guatemala.

En el capítulo uno se presentan los antecedentes sobre el tema de investigación, se incluye la formación y áreas de participación del ingeniero civil, aspectos de los recursos hídricos, e investigaciones desarrolladas en el tema. El capítulo dos aborda el tema de proyectos, sus características, análisis y aspectos importantes en proyectos de riego.

En el capítulo tres se desarrolla el tema de los sistemas de riego, presentando su definición, características, tipos y componentes de sistemas de riego, el desarrollo de proyectos de riego y sus diferentes fases. Finalmente en el capítulo cuatro se presenta un caso práctico y el estudio de campo realizado.

1. ANTECEDENTES

1.1. Formación del ingeniero civil

La ingeniería civil es una de las ramas de la carrera de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). Esta es impartida en la Facultad de Ingeniería; en la escuela de ingeniería civil, que se define, “como la unidad académica encargada de la formación de profesionales a nivel de licenciatura, capaces de aplicar las herramientas cognitivas y tecnológicas propias de la Ingeniería Civil para la satisfacción de la demanda de infraestructura de la población guatemalteca.”¹

En la actualidad el ingeniero civil tiene participación activa en muchas de las transformaciones del desarrollo del país, cabe mencionar su inferencia en la infraestructura, vivienda y servicios; esta situación demanda una sólida formación en ciencias y tecnología básicas, de manera de que los estudiantes cuenten con las herramientas necesarias para su desarrollo profesional, en el desempeño de su vida laboral.

“En la última década, la educación superior en Guatemala ha tenido una expansión sin precedentes. Esta tendencia incluye a la universidad estatal y 15 universidades privadas, más una recientemente aprobada por el Consejo de Enseñanza Privada Superior (CEPS). Ellos atienden a unos 300 mil estudiantes, según las cifras reportadas por cada casa de estudios.”²

¹ Escuela de Ingeniería Civil. *Manual de funciones*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. p.1.

² Portal de noticias. *Noticias universitarias*. <http://noticias.universia.com.gt/en-portada/noticia/2012/03/19/918356/crece-oferta-universitaria.html>. Consulta: febrero de 2017.

De las universidades aprobadas en Guatemala, solamente las siguientes ofrecen la carrera de Ingeniería Civil:

- Universidad Rafael Landívar (URL).
- Universidad Mariano Gálvez (UMG).
- Universidad del Valle de Guatemala (UVG).
- Universidad Da Vinci de Guatemala.
- Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

Es necesario que las Escuelas de Ingeniería Civil tengan una vinculación directa con el sector empresarial, para definir el perfil del egresado y facilitar su inserción y desenvolvimiento satisfactorio en el mercado laboral. “En la actualidad, aquellas Escuelas de Ingeniería Civil que promueven una formación de calidad, desarrollan esfuerzos para que sus programas cuenten con un respaldo o acreditación internacional.”³

Por lo general el pensum de estudios de la carrera de ingeniería civil, suministra conocimientos básicos para orientar al estudiante de ingeniería civil en las diferentes etapas de la carrera; como planeamiento, diseño, ejecución, operación y mantenimiento. La facultad de ingeniería de la USAC, se divide en las siguientes áreas:

- Topografía y transportes
- Estructuras
- Construcciones civiles y materiales de construcción
- Hidráulica
- Planeamiento

³ *Formación de ingenieros civiles.* <https://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/formacin-de-ing-civiles>. Consulta: febrero de 2017.

- Investigación
- Acreditación

1.2. Áreas de participación del ingeniero civil

El ingeniero civil a través de su formación puede participar en el desarrollo de proyectos a nivel nacional e internacional, “La carrera de Ingeniería Civil abarca una amplia gama de trabajos profesionales ya que se integra fácilmente al trabajo multidisciplinario, para evaluar no sólo aspectos de diseño y cálculo de obras sino aspectos que hacen de interés general, enmarcados dentro de consideraciones económicas y sociales.”⁴

Las principales áreas de participación del ingeniero civil son

- Diseño
- Construcción y ejecución
- Asesoría técnica
- Administración
- Docencia e investigación
- Mantenimiento de infraestructura

1.3. Recurso hídrico en Guatemala

De acuerdo con el Glosario Hidrológico Internacional de la UNESCO, “los recursos hídricos son aquellos disponibles o potencialmente disponibles, en

⁴ ALVARADO ESTRADA, Alicia Isabel. *Investigación del mercado profesional de ingenieros civiles egresados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.* p. 69.

cantidad y calidad suficientes, en un lugar y en un período de tiempo apropiados para satisfacer una demanda identificable.”⁵

El recurso hídrico contribuye a la economía de Guatemala en una gran medida, su uso se vincula estrechamente con la salud, agricultura, energía, industria y el turismo; el agua se está convirtiendo en uno de los problemas más críticos de los recursos naturales; esta situación se agrava porque la población aumenta, también contribuye a esta crisis la creciente contaminación de los recursos hídricos.

En Guatemala, “el aprovechamiento hídrico participa en el 70 % de las actividades que conforman el PIB y que la generación directa del valor agregado del agua es equivalente al 5,6 % del PIB, expresado en una suma cercana a Q13 400 millones anuales. El riego sirve además como insumo para el 18 % del total de las exportaciones.”⁶

1.3.1. Usos

El agua posee una infinidad de usos para el desarrollo de las actividades del ser humano; se utiliza en la producción de energía eléctrica, agricultura (riego), crianza de peces, industria, turismo, recreación, pesca, así como en el hogar.

Con el aumento de la población mundial, se considera que el 69 % de la extracción anual de agua para uso humano se destina a la agricultura (principalmente para riego); la industria representa el 23 % y el consumo doméstico representa aproximadamente el 8 %.

⁵ Glosario Hidrológico Internacional de la UNESCO.

⁶ Gobierno de la República de Guatemala. *Política Nacional del agua y su estrategia*. p. 4.

De acuerdo a la información consultada,

“La proporción en la extracción de agua para satisfacer las demandas en Guatemala es similar a la del resto del mundo: el uso agropecuario es el mayor, equivale al 41% de la demanda hídrica total y al 77% de los usos consuntivos; el uso doméstico representa el 9% de la demanda total y el 16% de los usos consuntivos; el industrial el 3% de la demanda total y el 7% de los consuntivos. Los usos no consuntivos corresponden casi totalmente al uso con fines hidroeléctricos.”⁷

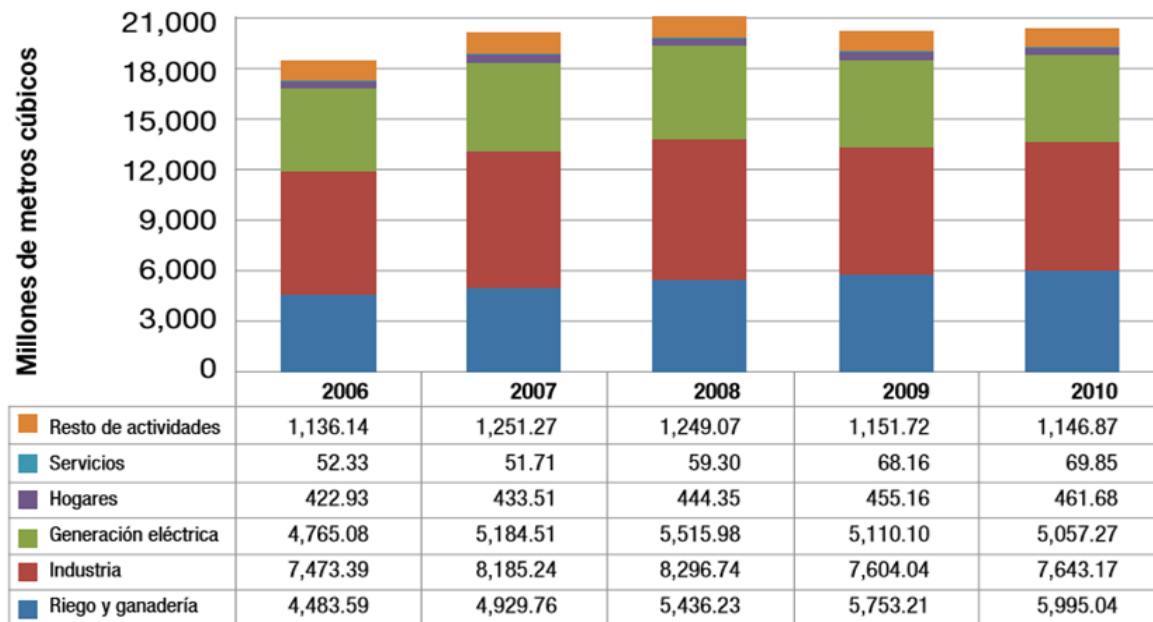
En Guatemala las aguas superficiales cubren cerca de 1 000 km² de los 108 900 km² de su superficie terrestre, aunque los recursos hídricos superficiales son abundantes, están distribuidos de forma desigual, altamente estacional, y en general están contaminadas.

La demanda de agua potable en Guatemala se cubre principalmente con aguas superficiales; en las zonas urbanas, el 70 % del agua es cubierta con aguas superficiales, cifra que se eleva al 90 % en las zonas rurales; el resto de las necesidades de agua se cubre con aguas subterráneas. “El principal empleador de agua en el país es el sector agropecuario. La demanda va en aumento, pues solo en el período 2001-2006 el uso del agua con fines de riego se elevó un 28 por ciento.”⁸

⁷ Wikipedia. *Estadísticas del riesgo*. https://es.wikipedia.org/wiki/Estad%C3%ADsticas_del_riego_agr%C3%ADcola. Consulta: marzo de 2017.

⁸ Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. *Política de Promoción del Riego 2013-2023*. p. 13.

Figura 1. **Consumo anual del agua en Guatemala (2006-2010)**



Fuente: INE-Banguat / IARNA-URL. 2013

Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. *Manual de Educación Ambiental sobre el Recurso Hídrico en Guatemala.* p.18.

El agua subterránea que proviene de pozos y manantiales forma un recurso esencial y una fuente importante de agua potable, se utiliza también para responder a la demanda del sector agrícola, industrial, público y doméstico.

Las aguas subterráneas son ampliamente utilizadas como fuentes de abastecimiento público en Guatemala; el agua subterránea es generalmente abundante en los acuíferos de sedimentos de las llanuras, valles y tierras bajas del país.

De acuerdo con el Perfil del Agro y la Ruralidad de Guatemala 2014, en el mundo, el uso del riego como herramienta de cultivo se ha incrementado en los últimos 40 años. Aunque el porcentaje del uso de agua de riego en las superficies cultivadas sigue siendo bajo en América Latina, entre 1970 y 2012 esta proporción casi se duplicó a un 13,1 por ciento de las superficies cultivadas que utilizaban un sistema de riego. En Centroamérica y el Caribe, 14,6 por ciento de la superficie cultivada era abastecida con un sistema de riego durante el 2012.

Tabla I. **Consumo anual del agua en Guatemala (2006-2010)**

Cultivos	Hectáreas	%
Banano	22 400	7,18
Caña de azúcar	168 490	54,00
Flores y follajes	2 800	0,90
Limón	3 500	1,12
Mango	3 500	1,12
Berries	350	0,11
Palma africana	30 800	9,87
Papaya	980	0,31
Piña	2 100	0,67
Plátano	8 400	2,69
Pasto	14 000	4,49
Otros permanentes	2 170	0,70
Melón	5 530	1,77
Tomate	2 800	0,90
Cebolla	1 320	0,42
Otras hortalizas y cultivos anuales	42 900	13,75
Totales	312 040	100,0

Fuente: elaboración propia.

1.3.2. Disponibilidad

De acuerdo con la Política Nacional del agua y su estrategia, se estima que Guatemala tiene una disponibilidad de más de 97 mil millones de metros cúbicos anuales de agua, cantidad 7 veces mayor al límite de riesgo hídrico establecido por estándares internacionales al relacionarla con su población.

En Guatemala, “Del volumen total de agua disponible anual se estima que sólo se aprovecha cerca de 9 700 millones de m³ que equivalen al 10 % de dicho total. Sin embargo, la cantidad de agua disponible estimada del mes más seco del año es aproximadamente 4 800 millones de m³, que se distribuye naturalmente de forma irregular en 3 vertientes y 38 cuencas.”⁹

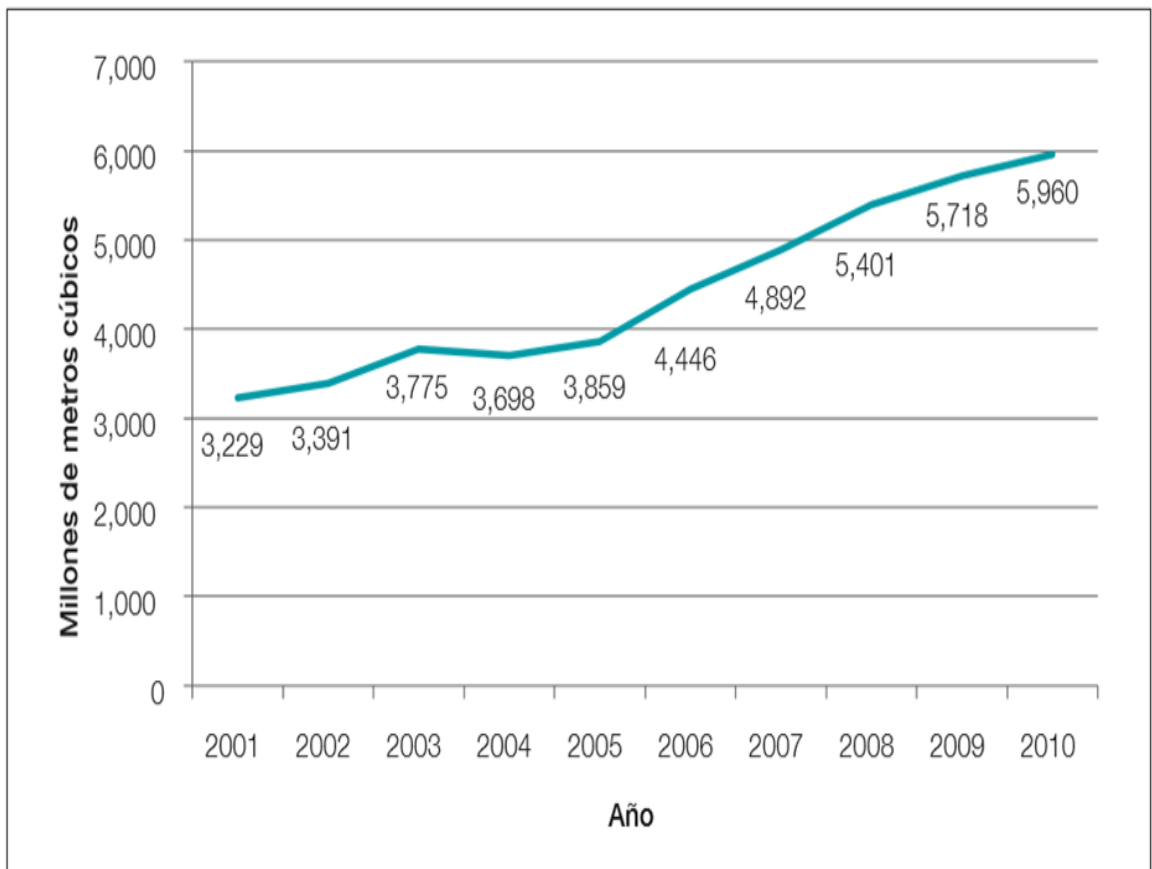
El cambio y la variabilidad climática son factores determinantes en el agro y en el área rural, las principales proyecciones sugieren que en Centroamérica aumentaría la frecuencia de estaciones extremadamente secas en los siguientes 80 años; algunos de los efectos en el ciclo del agua derivados del cambio climático son los siguientes:

- Épocas secas más extendidas y con evidencia de extremas temperaturas.
- Lluvias más fuertes y concentradas en menos tiempo, lo que provoca suelos más vulnerables.
- Cambio de ubicación de las lluvias.
- Temporales más fuertes.

⁹ Gobierno de la República de Guatemala. *Política Nacional del agua y su estrategia*. p. 3.

- Menos disponibilidad de agua dulce.

Figura 2. **Consumo de agua (riego) en la agricultura en Guatemala período 2001-2010 (millones de metros cúbicos)**



Fuente: Universidad Rafael Landívar. Perfil del Agro y la Ruralidad de Guatemala 2014. p.158.

1.4. Investigaciones en el tema

El manejo eficiente del recurso hídrico requiere que se realice investigación constante y actualizada en el tema; Guatemala es un país localizado en una posición vulnerable, se estima que el cambio climático

impacte en el suministro de agua, lo que ha motivado que este sea un tema de interés y estudio a nivel mundial.

En esta investigación se tomaron en cuenta proyectos relacionados con el tema, desarrollados en diferentes universidades, como proyectos de investigación, tesis de grado o de seminario, relativos al tema.

1.4.1. A nivel internacional

De acuerdo con la información consultada, en varias universidades de América, se ofrecen programas de ingeniería civil con especialidad, orientación o aplicaciones relacionadas con sistemas de riego. En otras, la carrera de ingeniería civil y de ingeniería agrícola estudian parte de la hidráulica, durante su formación universitaria toman cursos comunes como mecánica de fluidos, hidráulica de tuberías o flujo a presión, hidráulica de canales abiertos e hidrología.

En algunas universidades existe la carrera de ingeniería hidráulica, que es la rama de la ingeniería civil que se ocupa de la proyección y ejecución de obras relacionadas con el agua; con el desarrollo de software la carrera de ingeniería hidráulica ha tenido un gran avance.

1.4.2. A nivel nacional

En esta investigación se tomaron en cuenta proyectos relacionados con el tema, elaborados en la Universidad de San Carlos y otras universidades de Guatemala, los que incluyen proyectos de investigación, tesis de grado o de seminario, relativos al tema.

2. PROYECTOS DE RIEGO

2.1. Proyectos de riego

Los proyectos de riego son aquellos que manejan las fuentes de agua a fin de promover la producción agrícola; hay diferentes tipos de riego, dependiendo de la fuente del agua (superficial o subterránea), su forma de almacenamiento, los sistemas de transporte y distribución, y los métodos de entrega (aplicación en el campo).

Algunas alternativas para un proyecto de riego, su diseño y su manejo son:

- Mejorar la eficiencia de los proyectos existentes y restaurar las tierras degradadas, antes que establecer un proyecto de riego nuevo.
- Desarrollar sistemas de riego de pequeña escala, de propiedad individual, como alternativas para los grandes programas públicos.
- Desarrollar sistemas de riego que utilicen las aguas freáticas, porque tienen menos probabilidad de causar daños ambientales que los sistemas que utilizan las aguas superficiales.
- Desarrollar, donde sea posible, los sistemas de riego que emplean, conjuntamente, las aguas superficiales y freáticas, para aumentar la flexibilidad del suministro de agua y reducir los impactos hidrológicos negativos.

- Usar riego por aspersión o goteo, como alternativas para el riego superficial, a fin de reducir el riesgo de saturación, salinización, erosión y uso ineficaz del agua.
- Ubicar el proyecto de riego de tal manera que se reduzcan los impactos sociales y ambientales.
- Utilizar las aguas servidas tratadas, donde sea apropiado, a fin de dejar una mayor cantidad de agua para los otros usuarios, o reducir los impactos ambientales del retiro del agua de las fuentes superficiales y freáticas.

En Guatemala en las últimas décadas, la agricultura bajo riego ha tenido un mayor auge debido a que las áreas de cultivo han aumentado, “La superficie cultivada en Guatemala con prácticas de riego se duplicó en el período 1996-2006, llegando a alcanzar aproximadamente 3,100 km², que equivalen al 25% del área potencial nacional.”¹⁰

2.1.1. Definición

“Riego: consiste en la dotación de agua hacia el suelo de los cultivos con el objetivo de brindar un suministro suficiente que permita un crecimiento de las plantaciones.”¹¹

¹⁰ Gobierno de la República de Guatemala. *Política Nacional del agua y su estrategia*. p. 3.

¹¹ GUERRA MOSCOSO, Miguel Andrés. *Manual de diseño de sistemas de riego a gravedad y por aspersión*. Universidad San Francisco de Quito. p.14.

2.1.2. Características

El riego consiste en aportar agua al suelo para que los vegetales tengan el suministro de agua que necesitan favoreciendo así su crecimiento, se utiliza en la agricultura y en jardinería.

En Guatemala se encuentran tres categorías principales de proyectos de riego:

- Riego privado
- Riego público
- Miniriego con asistencia pública

Los métodos de riego se utilizan para distintos cultivos y por distintas razones, se mencionan los más importantes:

- Riego de superficie o por gravedad
- Riego por aspersión
- Riego por micro aspersión
- Riego por goteo
- Riego por tuberías emisoras
- Riego por subirrigación

2.1.3. Clima

El clima se puede definir como la caracterización estadística del conjunto de condiciones atmosféricas propias de una región a lo largo del tiempo. Entre los rasgos climáticos que inciden en los sistemas de riego y en el desarrollo de

la planta se tienen, la temperatura, humedad ambiental, precipitaciones, luminosidad, vientos, entre otros.

Todos estos factores no actúan aisladamente sino que se condicionan mutuamente, constituyendo una unidad climatológica donde algunos de los elementos pueden actuar como limitante.

2.1.4. Calidad del agua en la agricultura

El agua es un recurso de vital importancia para desarrollar la actividad agrícola, los sistemas de riego y drenaje manejan las fuentes de agua a fin de promover la producción agrícola y el desarrollo de las comunidades.

La calidad del agua para riego se define como el conjunto de propiedades del agua, en relación con parámetros físicos, químicos, biológicos y organolépticos, que la hacen adecuada para este uso; debe ser interpretada desde un punto de vista físico y químico.

La calidad del agua de riego para agricultura es muy importante ya que afecta a la planificación del riego y sistema de regadío; está ligada a la terna suelo-agua-planta, porque, además de considerar el efecto sobre la nutrición de la planta, se debe de considerar el efecto que la calidad del agua produce en el equilibrio del suelo.

El agua será de buena calidad para el riego agrícola cuando, cumpliendo con sus funciones básicas hacia la planta de manera que garantice un rendimiento óptimo, no produzca efectos perjudiciales al suelo. Por lo general el agua de riego se distribuye por acequias o por tuberías a presión, se obtiene de diferentes fuentes como:

- Ríos, lagos o corrientes continuas de agua naturales
- De pozos (que obtienen el agua de acuíferos subterráneos)
- De plantas de tratamiento de aguas residuales
- Por procesos de desalinización del agua del mar
- Embalses que acumulan las aguas de lluvia

Las aguas que se pueden emplear para riego, sean de origen superficial o subterráneo, a diferencia de la de lluvia contienen sales en solución; mientras el agua de lluvia solo puede arrastrar partículas y gases desde la atmósfera, la de riego tiene una concentración total de sales y composición variable.

La calidad del agua puede variar significativamente según el tipo y cantidad de sales disueltas, el efecto de la salinidad sobre las plantas es diverso y variable. En el agua para uso agrícola las sustancias disueltas no deberán sobrepasar los valores que se presentan a continuación.

Tabla II. **Valores recomendados sustancias disueltas en agua para uso agrícola**

Referencia	Expresado como	Valor (*)
Aluminio	Al	5,0
Arsénico	As	0,1
Berilio	Be	0,1
Cadmio	Cd	0,01
Zinc	Zn	2,0
Cobalto	Co	0,05
Cobre	C	0,2
Cromo	Cr ⁶⁺	0,1
Flúor	F	1,0
Hierro	Fe	5,0
Litio	Li	2,5
Manganeso	Mn	0,2
Molibdeno	Mo	0,01
Níquel	Ni	0,2
pH	Unidades	4,5-9,0
Plomo	Pb	5,0
Selenio	Se	0,02
Vanadio	V	0,1

Fuente: *Calidad de agua para uso*. https://es.wikipedia.org/wiki/Calidad_del_agua#Calidad_del_Agua_para_uso_.Agr.C3.ADcola. Consulta: 14 de marzo de 2017.

2.1.5. Balance hídrico

De manera natural, las cuencas reciben aportes (lluvia) y descargan un volumen de agua; estos factores deben equilibrarse a lo largo de una unidad de tiempo, en lo que se llama balance hídrico.

El balance hídrico se realiza para cuantificar la cantidad de agua que entra a una región o zona determinada en un tiempo dado y ésta es igual a la

cantidad de agua que sale de dicha región o zona en el mismo período, más o menos el cambio de almacenamiento dentro de la zona durante este período. El balance hídrico de un cultivo, se calcula con la fórmula siguiente:

$$DA = ETM - (PE + CA + N), \text{ donde:}$$

Donde:

DA = demanda de agua (mm).

ETM = evapotranspiración máxima (mm/día).

PE = Precipitación efectiva (% agua).

CA = diferencia de la lámina de la capacidad de almacenamiento del suelo inicial y final del período considerado. El valor de CA se considera cero, para efectos de planificación de riego, dado que el objetivo es conocer la demanda total.

N = aporte del nivel freático.

2.2. Sistemas de riego

Los sistemas de riego son parte esencial para el desarrollo de la producción agrícola, se utilizan en la agricultura y en jardinería; de manera general aportan agua al suelo para que los cultivos tengan el suministro de agua que necesitan favoreciendo así su crecimiento.

2.2.1. Definición

“Son el conjunto de estructuras, que hacen posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. El sistema de riego consta de una serie de componentes, aunque no

necesariamente el sistema de riego debe constar de todas ellas, ya que el conjunto de componentes dependerá de si se trata de riego superficial (principalmente en su variante de riego por inundación), por aspersión, o por goteo.”¹²

2.2.2. Características

En la antigüedad el hombre desarrollo diferentes métodos de riego empíricos como el riego de superficie o por gravedad; en la actualidad existen muchos y variados sistemas de riego.

Los sistemas de riego tradicionales consumen un alto porcentaje de agua, que se desperdicia o se pierde en el traslado de la captación hacia la distribución. La tecnificación de riego incrementa el ahorro del agua a través de la modernización y tecnificación de la agricultura bajo riego.

Actualmente, con la introducción de diversas tecnologías los sistemas de riego y de almacenamiento posibilitan el uso efectivo del agua, tanto a nivel de pequeños como de grandes productores.

2.2.3. Tipos de sistemas de riego

De acuerdo con su forma de conducir el agua los sistemas de riego se clasifican de la siguiente forma:

¹² *Sistema de riego*. https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_riego. Consulta: 14 de noviembre de 2017.

- Bombeo de agua: cuando en el terreno agrícola se necesita captar aguas subterráneas; es necesario utilizar equipos para conducir el agua de la fuente hacia el terreno.
- Por gravedad: sistemas en los que el agua puede conducirse desde la fuente hasta el terreno por su propio peso, se distribuye a los suelos mediante acequias, canales y conductos.

Existen varias técnicas de riego, cada una con ventajas y desventajas de acuerdo a sus características, los métodos de riego se diferencian por la forma de aplicar el agua en el suelo.

Para escoger el método más adecuado se deben de considerar las condiciones locales existentes, la tecnología disponible, la experiencia con sistemas de riego, mano de obra disponible, el costo y los beneficios.

- Riego superficial: sistema de riego que utiliza la superficie del terreno como parte del sistema de distribución, sólo necesita que el agua llegue a la parcela con energía gravitatoria. Este sistema no necesita accesorios ni inversiones fuertes, pero requiere una sistematización de la superficie para el uso del agua.

Estos sistemas conducen el agua por canales abiertos, el agua se aplica directamente sobre el terreno ya sea por inundación total, controlada por bordos o a través de surcos donde la inundación es parcial, considerando el tipo de cultivo a sembrar.

Figura 3. **Riego por gravedad**



Fuente: *Tipos de riego en la agricultura y ventajas*. <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-riego-en-la-agricultura-y-ventajas/>. Consulta: octubre de 2018.

El diseño de un riego de superficie dependerá de la topografía, la infiltración, el gasto, entre otros. En este método la mayoría del agua se pierde, en general se usa en el caso de cultivos que cubren el terreno de un modo continuo, y el riego por surcos cuando se trata de cultivos sembrados en líneas.

- Riego subsuperficial: sistema de riego por conductos soterrados que aplican el agua en las inmediaciones del sistema radicular de las plantas. También se le conoce por riego soterrado.

- Subterráneo: es uno de los métodos más modernos, se está usando incluso para césped en lugar de aspersores y difusores en pequeñas superficies enterrando un entramado de tuberías.

Se trata de tuberías perforadas que se entierran en el suelo a una determinada profundidad, entre 5 y 50 cm según sea la planta a regar (hortalizas menos enterradas que árboles) y si el suelo es más arenoso o arcilloso.

- Aéreo: son aquellos en los que el agua se aplica a los cultivos en forma de lluvia, mojando la totalidad de la planta así como la del sustrato o superficie. Se incluyen aspersion, micro aspersion, nebulización, pulverización, tren de riego, entre otros.

Figura 4. **Riego aéreo**



Fuente: *Métodos de riego*. <http://www.agroes.es/agricultura/agua-riegos-regadios/302-metodos-de-riego-regadios-agricultura>. Consulta: octubre de 2018.

- Riego tecnificado
 - Por aspersión: es un sistema de riego en el que el agua se aplica en forma de una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela, con el objetivo de que se infiltre en el mismo punto donde cae.

Para ello es necesaria una red de distribución que permita que el agua de riego, llegue con presión suficiente a los elementos encargados de aplicar el agua (aspersores o difusores).

Figura 5. **Riego por aspersión**



Fuente: *Tipos de riego en la agricultura y ventajas*. <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-riego-en-la-agricultura-y-ventajas/>. Consulta: 1 de octubre de 2018.

- Por goteo: es el proceso mediante el cual se aplica una cantidad de agua calculada lenta y regularmente a la zona de la raíz de una planta. Este proceso mantiene la humedad en el suelo dentro de un rango óptimo para el crecimiento sano y el mínimo de estrés.

El riego por goteo puede ahorrar tiempo y dinero, aumentar la productividad y controlar las malezas. Sus principales características son: uso de pequeños caudales a baja presión, localización del agua en la proximidad de las plantas a través de un número variable de puntos de emisión, al reducir el volumen de suelo mojado, y por tanto su capacidad de almacenamiento, se debe operar con una alta frecuencia de aplicación, a dosis pequeñas.

Figura 6. **Riego por goteo**



Fuente: *Tipos de riego en la agricultura y ventajas*. <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-riego-en-la-agricultura-y-ventajas/>. Consulta: 1 de octubre de 2018.

2.2.4. Componentes

Los elementos que componen un sistema de riego son muy variados, por lo general un sistema de riego está conformado por obras civiles, un conjunto de equipos de riego y una red de tuberías de conducción, distribución y de laterales para la aplicación del riego y otros.

De ser necesario se debe de considerar la construcción de una bocatoma, o captación, que es una estructura hidráulica destinada a derivar el agua desde la fuente hasta las instalaciones del proyecto o canales.

2.2.4.1. Tuberías

Son conductos que cumplen la función de transportar agua u otros fluidos, se fabrican en diversos materiales en función de consideraciones técnicas y económicas; el uso más común de las tuberías de PVC es la conducción de agua o también denominada línea, tanto en la succión como en la impulsión.

La red de tuberías en un sistema de riego, lo integran la conducción del agua desde la fuente de abastecimiento hasta el área de los cultivos, pueden ser fijas o portátiles, dependiendo del tipo de sistema de riego. De acuerdo a su posición y a la función que realizan en el sistema se clasifican en:

- Tuberías de conducción: son las encargadas de conducir el agua de la fuente de abastecimiento hasta las líneas principales.
- Tuberías principales: se conectan de la conducción y son las encargadas de suministrar el agua a las tuberías laterales del sistema.

- Tuberías laterales: son aquellas que conducen el agua a los aspersores utilizados para el riego de un cultivo.

Se utilizan elementos de unión entre tramos de tubería para la continuidad del fluido; el anclaje es la técnica más frecuentemente utilizada para soportar los esfuerzos de empuje hidráulico de una tubería.

Figura 7. **Red de tuberías sistema de riego**



Fuente: *Sistema de riego*. <http://www.novagric.com/es/riego/sistemas-de-riego/riego-por-goteo>.

Consulta: octubre de 2018.

2.2.4.2. Equipo de impulsión

Está compuesto por las siguientes partes: una bomba centrífuga y un motor. En los sistemas de riego, las bombas adicionan energía al agua para que pueda moverse por las tuberías desde la fuente de agua hasta el punto de interés; actualmente existen en el mercado una amplia variedad de marcas y modelos de bombas.

Figura 8. **Equipo de impulsión sistema de riego**



Fuente: *Sistema de riego*. <http://www.novagric.com/es/riego/sistemas-de-riego/riego-por-goteo>.

Consulta: 2 de octubre de 2018.

2.2.4.3. Equipos de control y medida

Los sistemas de riego utilizan diferentes equipos para control y medida del volumen agua que se maneja para garantizar su funcionamiento adecuado; a continuación se presentan algunos:

- Contadores de agua: sirven para medir el consumo del agua usada (instantáneo y acumulado); imprescindible en una instalación de riego para detectar fugas de agua en el sistema.

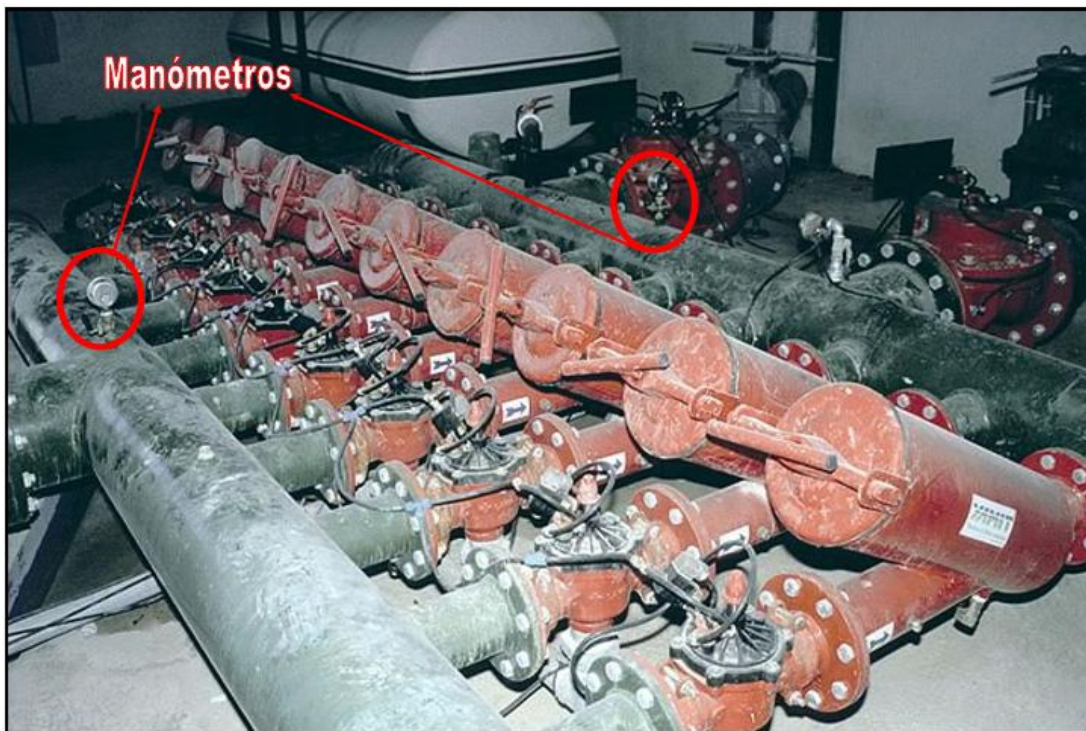
Figura 9. Contadores de agua



Fuente: *Sistema de riego*. <https://listado.mercadolibre.com.mx/sistemas-turbo-riego>. Consulta: 4 de abril de 2018.

- Manómetros: son los encargados de medir la presión del agua en la red de riego, útiles para el control de la instalación; permiten ver si la red está trabajando a la presión adecuada sin pérdidas o sobrepresión peligrosa en el sistema.

Figura 10. **Uso de manómetros en sistemas de riego**



Fuente: *Equipo de riego*. <http://www.redagricola.com/cl/equipos-riego-fertirriego-recomendaciones-uso-mantenimiento/>. Consulta: 4 de diciembre de 2017.

- Reguladores de presión: mantienen constante la presión en el sistema, la función que realizan es la de disminuir la presión, para no tener rupturas en el sistema.

- Compuertas: son estructuras de control hidráulico utilizadas en canales abiertos, su función es la de conseguir el represamiento aguas arriba de los canales y el aumento de la velocidad aguas abajo del mismo.
- Válvulas hidráulicas: son mecanismos que se utilizan para abrir y cerrar el paso de agua en las distintas zonas de la instalación de riego. Cuando una válvula hidráulica se comanda mediante un sistema eléctrico se convierte en una electroválvula, dando según la necesidad del sistema un cierre o paso del agua automáticamente.

Figura 11. **Válvulas de retención**



Fuente: elaboración propia.

- Válvulas de *check*, también llamadas de retención o anti retorno, tienen el fin de evitar la descarga del agua en dirección a la bomba en el sistema de riego; esto evita daños por la rotación inversa de la bomba, además de impedir el vaciado de la tubería permitiendo que la puesta en marcha del sistema sea más rápida y segura, además protegen a la bomba durante las sobre presiones.

Se ubican inmediatamente después de la bomba o del cono de ampliación excéntrico, no requieren mantenimiento solamente chequear ocasionalmente.

- Válvulas de compuerta: el cierre se produce mediante un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento; su cuerpo suele ser de hierro o acero fundido y los órganos de cierre pueden ser de bronce o de acero inoxidable, también se fabrican en PVC para presiones más bajas que las metálicas.

Durante el período de operación, deben permanecer totalmente abiertas o totalmente cerradas, no se recomiendan para la regulación de caudales en la red o equipos. Se caracterizan por su cierre hermético, bajo costo, diseño y funcionamiento sencillo y poca resistencia a la circulación.

- Válvulas de pie: es un tipo de válvula de cheque, instalada en el extremo de la línea de succión de las bombas. Tienen la función de mantener la línea de succión cebada cuando la bomba está sobre el nivel del agua, para permitir que la bomba funcione correctamente. La entrada de la válvula suele estar protegida con un filtro, para impedir la entrada de elementos extraños que puedan existir en agua aspirada.

Figura 12. Válvulas de pie



Fuente: elaboración propia.

- Válvulas de globo: son unidireccionales, el cierre se logra por medio de un disco o tapón que cierra o corta el paso del fluido, sirven para regular o limitar el flujo de agua. Para diámetros mayores de 300 mm, estas válvulas son poco usadas, debido al gran esfuerzo que se requiere para operarlas.
- Válvulas de bola: se fabrican para diámetros pequeños, hasta 110 mm, pueden ser de metal y de materiales plásticos. El mecanismo de cierre de las válvulas de bola es una esfera perforada con el diámetro igual al del conducto, la apertura se produce por un giro de 90° para orientar el

orificio en el sentido del conducto y el cierre girando el orificio en sentido perpendicular.

Las pérdidas de carga de este tipo de válvulas son las más bajas entre las válvulas de cierre.

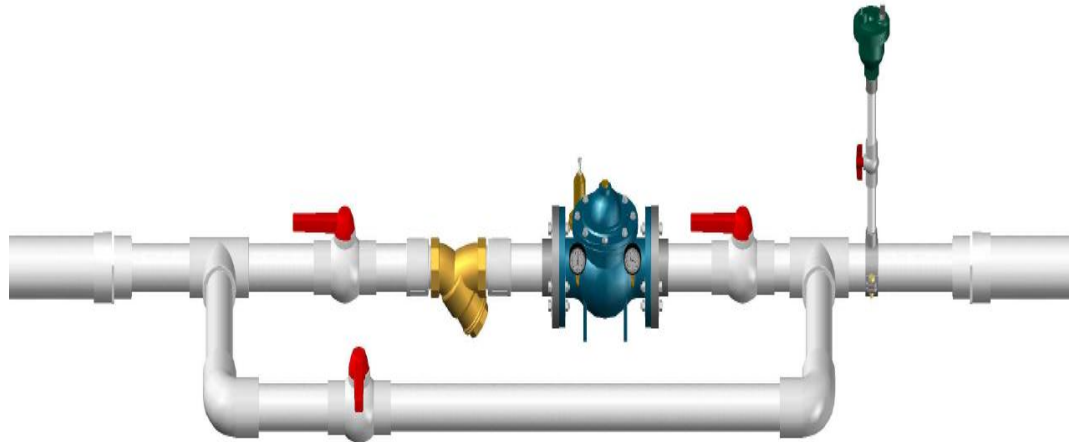
- Válvulas de mariposa: su mecanismo de cierre es un disco circular que gira un ángulo de 90° para abrir y cerrar, al igual que en la válvula de bola, la manivela indica su estado. Se fabrican en gran variedad de modelos, materiales y en diámetros mayores a 50 mm.

Son muy útiles en lugares de poco espacio, como ocurre en las estaciones de bombeo y cabezales de riego.

- Válvulas de control: el mecanismo de cierre es por medio de un pistón o diafragma que cierra la salida. La regulación se logra limitando el grado de apertura del pistón, para reducir el área de paso y de esta forma provocar las pérdidas necesarias. El cierre y apertura se produce por presión hidráulica.

Se utilizan en los sistemas de riego localizado en la cabecera de los campos, para impedir el exceso de presión y garantizar la presión adecuada, en cada uno de los campos del sistema. También a la entrada de los filtros para protegerlos de las altas presiones.

Figura 13. **Uso de distintos tipos de válvulas**



Fuente: *Productos*. <http://www.helbertycia.com/productos>. Consulta: 7 de abril de 2018.

- Válvulas de aire (ventosas): son elementos que sirven para expulsar e ingresar dentro de las tuberías, también existen modelos denominados esto se denomina doble efecto, permiten la entrada de aire cuando la red no tiene presión y expulsarlo cuando el agua no pasa en las tuberías.
- Válvulas de alivio: también llamadas de seguridad o sobre presión, tienen la función de abrir el sistema a la atmósfera cuando la presión superó ciertos límites preestablecidos, reduciendo de esta forma la sobre presión subsiguiente, protegiendo las tuberías y equipos de la red, de una operación anormal del sistema.

Deben colocarse próximas a los equipos más sensibles del sistema, como hidrociclón, filtros. El diámetro de la válvula debe seleccionarse de modo tal que las presiones no dañen a los componentes.

2.2.4.4. Filtros

Los filtros son esenciales para evitar incrustaciones, el tipo de filtración necesaria depende de la calidad del agua y de otros factores, cada filtro es efectivo para determinados tamaños y tipos de sólidos suspendidos, en los flujos de agua, y tienen capacidades específicas de recolección de sedimentos. Actualmente se usa el Hidrociclón, que es un dispositivo separador de arenas que puede eliminar hasta el 98% de los sólidos disueltos en el agua; consiste en un recipiente cilíndrico colocado en posición vertical.

Generalmente la estación de filtrado se halla habitualmente anexa o integrada en la estación de bombeo, entre las principales técnicas de filtrado se tienen las siguientes.

- Filtro de grava o arena: se emplean fundamentalmente por la presencia de algas acuáticas y materia orgánica en el agua de riego. Consisten en un depósito metálico, de forma cilíndrica generalmente y recubierto internamente de una capa anticorrosiva.

En su interior se colocan capas de grava de varios tamaños, actuando unas como agentes filtrantes y otras como soporte.

Figura 14. Filtro de arena



Fuente: *Productos*. <http://www.mapama.gob.es/es/ministerio>. Consulta: abril de 2018.

- Filtros de malla: están formados por un cartucho en cuyo interior va uno o más cilindros concéntricos de mallas, que pueden ser metálicos o plásticos.

Entre más densas sean las mallas, menor será el tamaño de partículas que dejen pasar, esta densidad se expresa en mesh, que es la densidad de mallas por pulgada cuadrada. Las mallas normalmente utilizadas varían entre 30 y 120 mesh.

Figura 15. **Filtro de mallas**

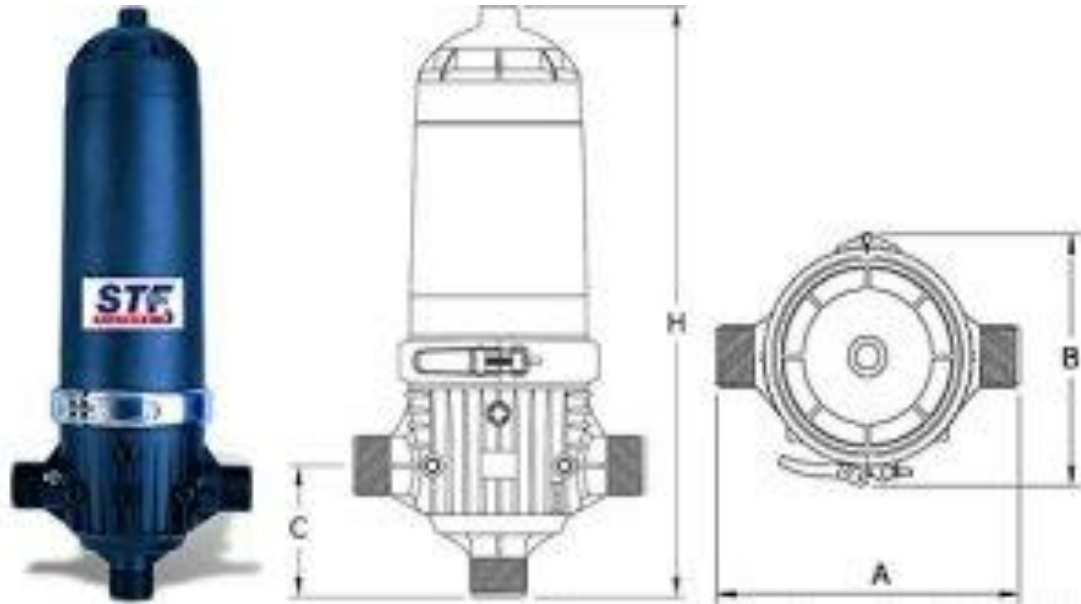


Fuente: *Productos*. <http://www.mapama.gob.es/es/ministerio>. Consulta: abril de 2018.

- Filtro de anillas: es un tipo de filtro que realiza filtración en profundidad, y cuyo elemento filtrante está compuesto de una pila de anillas ranuradas o con superficie rugosa, entre cuyas caras quedan retenidas las partículas contaminantes.

Tienen un funcionamiento especialmente positivo frente a algas y partículas orgánicas.

Figura 16. **Filtro de anillas**



Fuente: *Productos*. <http://www.mapama.gob.es/es/ministerio>. Consulta: abril de 2018.

Para seleccionar el tipo de filtro a utilizar en un sistema de riego y de acuerdo a las características del agua, se puede utilizar la siguiente tabla:

Tabla III. **Tipo de filtro según condiciones del agua**

Necesidades de filtrado según condiciones del agua				
Tipo Filtro	Arena	Algas	Partículas inorgánicas	Partículas orgánicas
Hidrociclón	+++	--	+	--
Arena	--	+++	++	++
Malla	--	+	++	++
Anillas	--	++	++	++

Fuente: elaboración propia.

2.2.4.5. Obra gris

Las obras civiles necesarias para la instalación del sistema de riego incluyen las siguientes unidades:

- Obras de arte: son estructuras menores utilizadas en los diversos trabajos de construcción.
- Caseta: se construyen con el objetivo de proteger los equipos y para instalaciones especiales, entre otros usos.
- Cajas de válvulas: es el elemento estructural de las obras mediante el cual se protegen las válvulas instaladas en el sistema.
- Caja de captación: es el elemento estructural de las obras donde se retiene o capta el caudal diseño, el caudal remanente es retornado al río a través de una tubería de PVC.
- Caja rompe presiones: es el elemento estructural donde se rompen presiones altas dentro del sistema, al ponerlo en contacto con la presión atmosférica.
- Canal de derivación: se construye para conducir al agua desde la bocatoma hasta el punto de interés; deben construirse cuidando que la velocidad no ocasione erosión ni sedimentación de material.
- Tanque distribución: es la parte del sistema que recibe un gasto desde la fuente de abastecimiento por gravedad o bombeo, para satisfacer las demandas en las horas pico y el día.

Existen los siguientes tipos de tanques:

- De metal (elevado)
- De mampostería
- De concreto reforzado

Su funcionamiento depende del tipo de conducción del agua (gravedad o bombeo), su ubicación debe ser en una cota más alta que la ubicación del sistema de riego.

Figura 17. **Tanque semienterrado**



Fuente: elaboración propia.

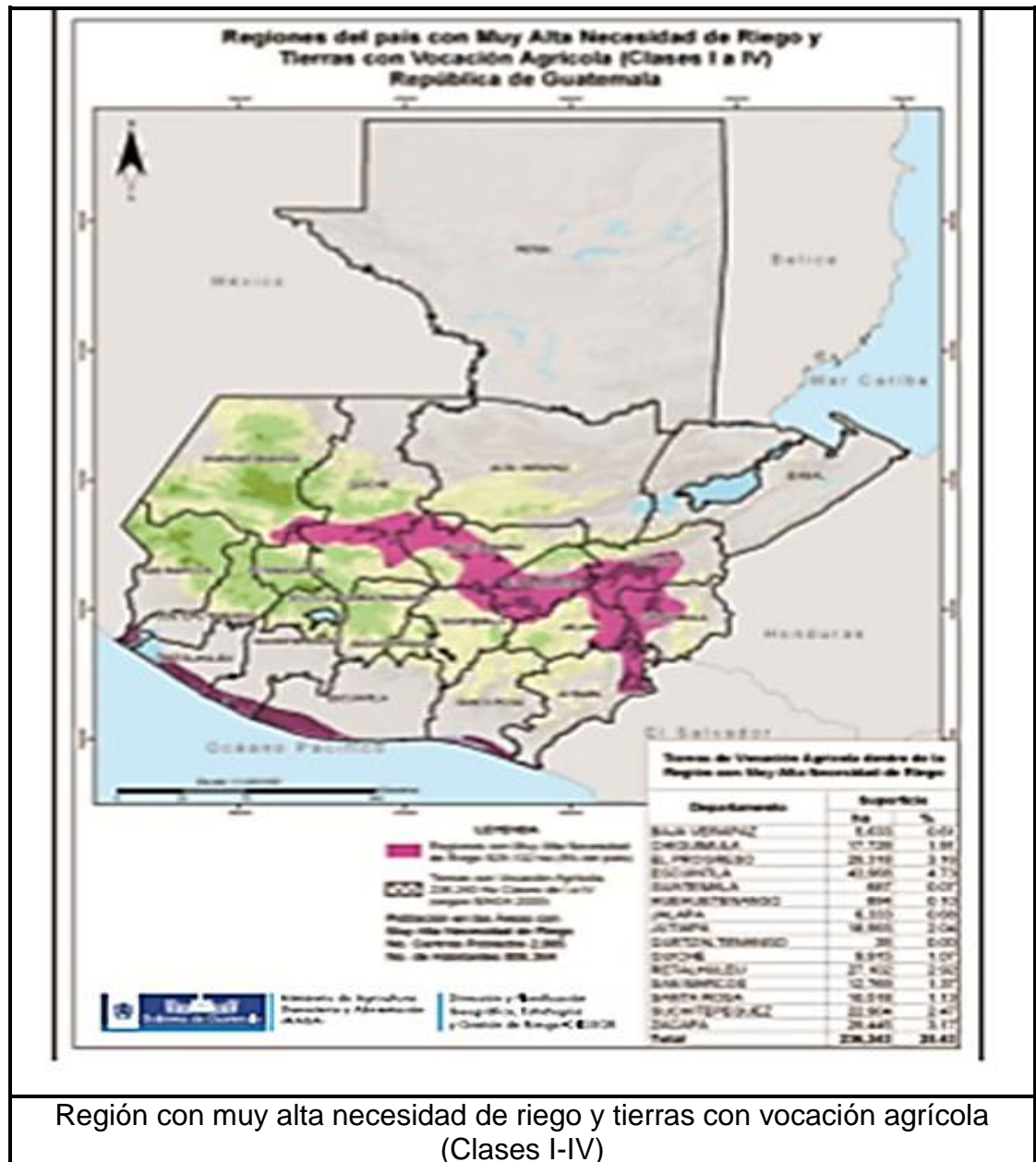
De ser necesario, se debe de considerar la construcción de compuertas de represamiento y de captación; para controlar las velocidades en tramos de alta pendiente se pueden utilizar combinaciones de rampas y escalones, siguiendo las variaciones del terreno.

2.3. Desarrollo proyectos de riego

Con las técnicas tradicionales de producción el déficit de agua para riego es una de las principales características, lo que ocasiona un limitante en el aumento de la producción y el ingreso. “Guatemala tiene un amplio potencial de riego, ya que actualmente solo el 29 por ciento de las áreas agrícolas con muy alta y alta necesidad de riego cuentan con agua.”¹³

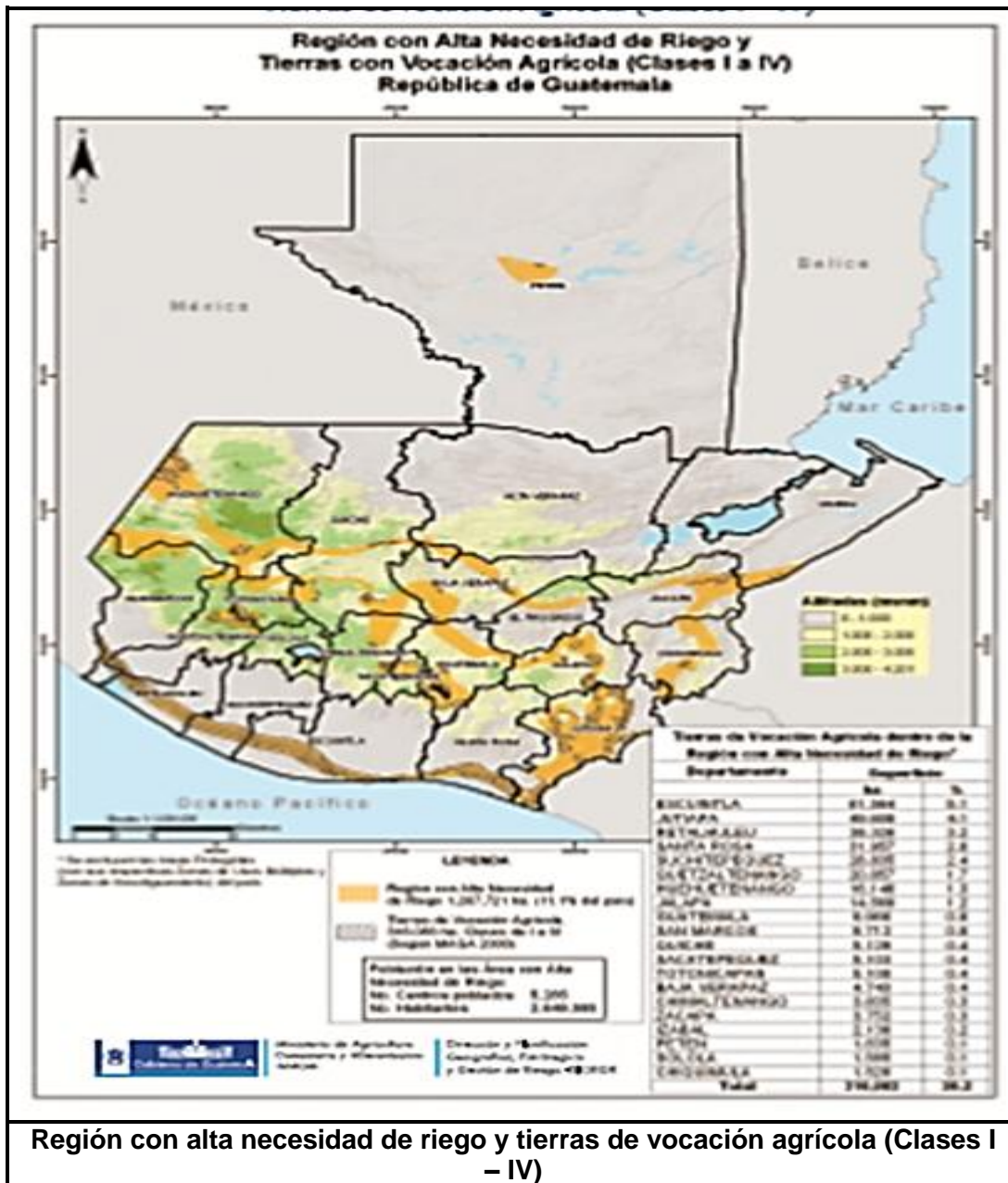
¹³ Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. *Política de Promoción del Riego 2013-2023*. p. 1.

Figura 18. Necesidad de riego por región en Guatemala. Región con muy alta necesidad de riego



Fuente: elaboración propia, con base en la Política de Promoción del Riego 2013-2023. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. p. 22.

Figura 19. Necesidad de riego por región en Guatemala. Región con alta necesidad de riego

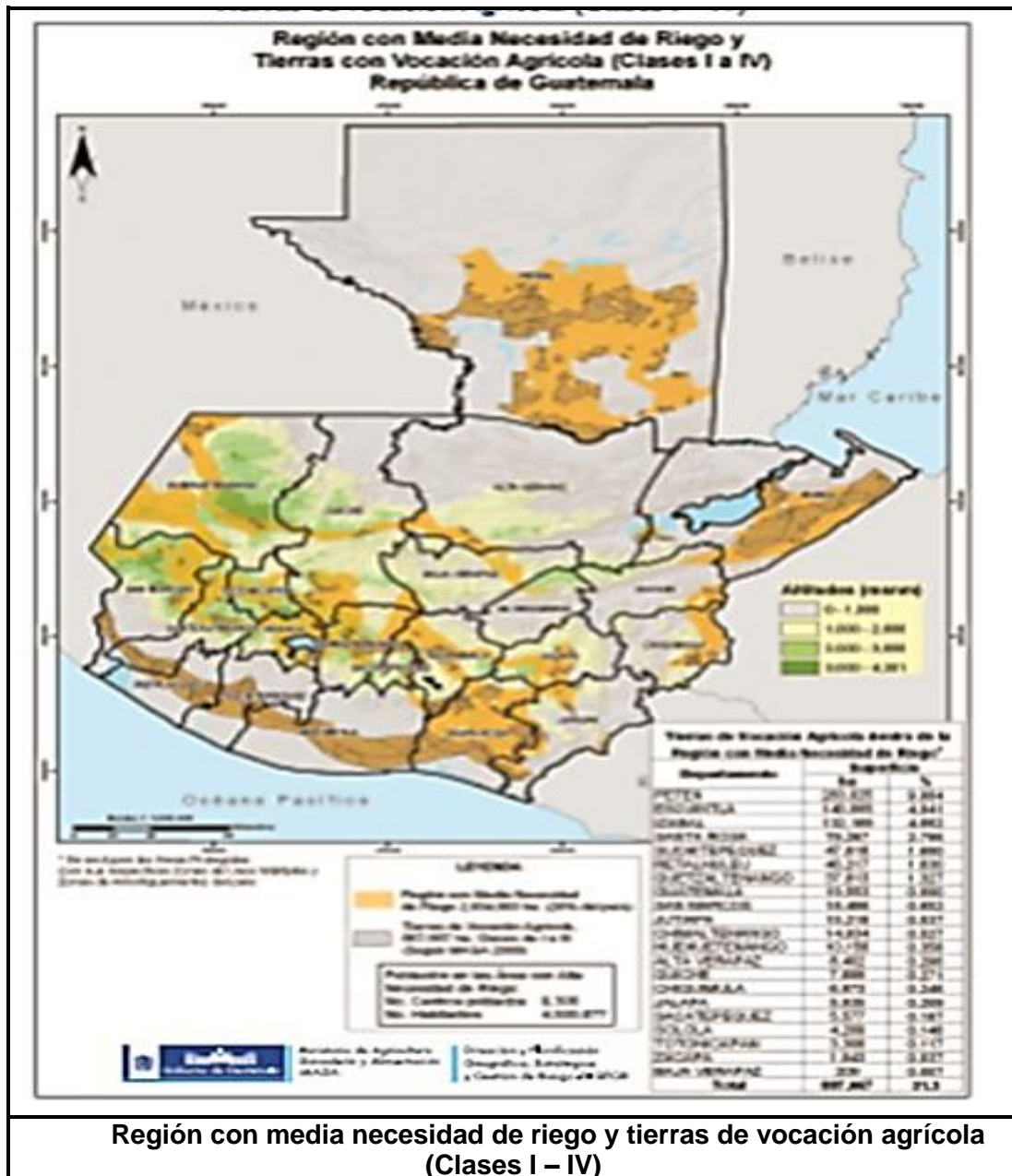


Región con alta necesidad de riego y tierras de vocación agrícola (Clases I – IV)

Fuente: elaboración propia, con base en la Política de Promoción del Riego 2013-2023.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. p. 22.

Figura 20. Necesidad de riego por región en Guatemala. Región con media necesidad de riego



Fuente: elaboración propia, con base en la Política de Promoción del Riego 2013-2023. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. p. 22.

2.3.1. Estudios preliminares

Al realizar un estudio para la implementación de un sistema de riego, se deben considerar una serie de elementos para saber cuál es el sistema de riego más conveniente, para las condiciones del terreno y la planta. Los proyectos de ingeniería como los sistemas de riego, necesitan de una evaluación de pre factibilidad así como los siguientes estudios previos.

2.3.1.1. Ambiental

El estudio de impacto ambiental (EIA), de un proyecto de riego incluye el tipo de obra que se vaya a realizar, los materiales utilizados, procedimientos constructivos, trabajos de mantenimiento en la fase operativa, tecnologías utilizadas, entre otros.

En los proyectos de riego se tiene como principal impacto ambiental el efecto de la saturación de los suelos y la salinización de los mismos, además de la incidencia de enfermedades relacionadas al agua tanto en las plantas como en las personas, la aparición de plagas, la contaminación del agua superficial y subterránea por el uso de biocidas agrícolas y una potencial causa de mayor erosión, si no se hace una rotación de cultivos o se siembran especies que deterioran el suelo con mayor facilidad.

En el EIA se debe considerar que un proyecto de riego puede disminuir el caudal disponible aguas abajo del río, para lo que se deben tomar las medidas necesarias para evitar el menor impacto posible. En cuanto al uso de agua freática, el problema reside cuando se utiliza una cantidad mayor de agua de la recuperable, causando una disminución del nivel freático, hundimiento del suelo y disminución de la calidad del agua.

La identificación de los aspectos e impactos ambientales en un proyecto de riego, tiene por objeto determinar aquellas actividades que tengan o puedan tener un impacto significativo en el ambiente; se consideran las condiciones normales y anormales de construcción, operación, mantenimiento, abandono y las condiciones emergentes en lo que respecta a identificación de riesgos ambientales y operacionales.

En la evaluación ambiental se consideran las siguientes actividades:

- Estudios iniciales: incluyen el diseño del proyecto, proceso de acuerdos con las comunidades y otros.
- Construcción: se deben considerar aspectos como el ingreso de maquinaria y personal al sitio del proyecto, movilización de los mismos, movimiento de tierras, excavación, montaje y colocación de tubería, obra civil, construcción de infraestructuras.
- Operación y mantenimiento: se deben analizar todas las actividades necesarias para la operación y mantenimiento del sistema de riego.
- Finalización y retiro del proyecto: incluyen las actividades de desmontaje de equipos y estructuras, readecuación de construcciones civiles, revegetación de áreas no ocupadas.

El Plan de Manejo Ambiental (PMA, presenta las normas, procedimientos, especificaciones y/o medidas encaminadas a prevenir, controlar, mitigar y de ser el caso compensar los potenciales impactos negativos que pueden ser generados durante las actividades de construcción, operación/mantenimiento y abandono del proyecto. El PMA debe incluir los siguientes programas:

- Programa de prevención y mitigación de impactos
- Programa de salud ocupacional y seguridad industrial
- Programa de manejo de desechos
- Programa de rehabilitación de áreas afectadas

2.3.1.2. Topografía

El desarrollo de proyectos de riego debe contemplar los estudios de topografía, estos son un elemento esencial, proporcionando la exactitud de la información que a continuación se describe:

- Realizar los trabajos de campo que permitan elaborar los planos topográficos, mediante estudios de viabilidad y trazo de infraestructuras.
- Aportar información base para los estudios de hidráulica, hidrología, geología, geotecnia, ecología y los efectos en el medio ambiente.
- Proporcionar la ubicación precisa de los elementos estructurales.
- Establecer puntos de referencia para el replanteo durante la construcción. Replanteo es la localización de un proyecto en el terreno en base a las indicaciones de los planos y libretas topográficas de los estudios realizados, como paso previo a la construcción.

Con la libreta de campo que se obtiene del estudio topográfico del proyecto, se realiza el diseño del sistema, la línea de conducción y distribución, de los terrenos posibles a regar, en base al caudal a usar en el proyecto, y criterios técnicos para lograr un trabajo efectivo.

Estos trabajo debe realizarse utilizando equipo de precisión (estación total, teodolitos, otros), tomando en cuenta que la libreta debe contar con la información necesaria para el diseño del sistema de riego.

2.3.1.3. Diseño hidrológico

Es la concepción hidráulica del proyecto, incluye el diseño de las obras de captación, tuberías, obras de arte, entre otros. El diseño define los costos del proyecto y el comportamiento del agua en el recorrido, desde la fuente de captación hasta los aspersores de riego.

Los estudios hidrogeológicos abarcan: la evaluación de las condiciones climáticas de una región, su régimen pluviométrico, la composición química del agua, la geología del área, entre otros. También incluye los valores de consumo de agua (horas, día, mes).

2.3.1.4. Marco legal

En Guatemala no se cuenta con un régimen legal e institucional especial; “El país carece de un régimen jurídico coherente con la Constitución Política de la República que regule los derechos de propiedad y de aprovechamiento general del agua; por lo tanto, también se carece de un marco jurídico para normar los derechos de uso de agua con fines de riego.”¹⁴

¹⁴ Gobierno de Guatemala. *Política de Promoción del Riego 2013-2023*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. p. 4.

En 1986 la Constitución Política de la República incorpora el criterio del uso sostenido, que busca equilibrar las demandas económicas con las sociales y ambientales, declara pública todas las aguas y manda se emita una ley especial en la materia basada en el interés social y la necesidad de conservar el recurso

En la actualidad en Guatemala el régimen legal e institucional del agua vigente se integra por un conjunto de disposiciones dispersas en leyes generales, ordinarias y especiales, emitidas entre el año de 1932 y el año 2010; a continuación se presentan algunas:

- Constitución Política de la República: Artículos 97, 119, 121, 127 y 128
- Ley de Expropiación
- Ley de Reservas Territoriales del Estado
- Código Civil (1933, 1963): Capítulo V, De la Propiedad de las Aguas Artículos 579, 584, 585 y 588.
- Código Penal.
- Código Municipal: Artículo 3.
- Código de Salud.
- Ley de Transformación Agraria.
- Ley de Minería.

- Ley de Hidrocarburos.
- Ley de Pesca.
- Ley General de Energía.
- Ley orgánica del INGUAT.
- Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.

2.3.2. Diseño del sistema de riego

Es la disposición de los distintos elementos con el objetivo de maximizar su efectividad de la forma más económica. Estos incluyen obras civiles, equipos de riego, una red de tuberías de conducción, distribución y de laterales, para la aplicación del riego; incluyendo el diseño agrícola, hidráulico y de la obra gris.

Los factores que se tienen en cuenta para el diseño del sistema de riego son los siguientes:

- La localización de los recursos hídricos, pozos, pantanos, entre otros
- La forma de gestión del riego, manual o automatizada
- Los posibles obstáculos que puede tener la finca, como conducciones de gas o de agua, líneas de tensión, entre otros.
- La pendiente del terreno.

- Las pérdidas de carga producidas por el rozamiento que realiza el agua con la pared de las tuberías.

2.3.2.1. Asesoría técnica

Los sistemas de riego deben ser diseñados de manera que sus elementos sean fácilmente accesibles y desmontables, para su limpieza, mantenimiento y buen funcionamiento; el mantenimiento, conjuntamente con la operación, está ligado al diseño.

De acuerdo al tipo y características del proyecto, el diseño hidráulico se puede realizar como redes abiertas, cerradas y combinadas. Los cálculos deben realizarse tomando en cuenta los diámetros internos reales de las tuberías.

El diseño de proyectos de riego, debe evaluar como mínimo los siguientes componentes:

- Viabilidad económica
- Viabilidad ambiental
- Viabilidad social
- Viabilidad técnica

2.3.2.2. Agronómico

El diseño agronómico consiste primordialmente en determinar las necesidades hídricas del cultivo, es decir se calcula la cantidad de agua que necesita el cultivo para su normal desarrollo sin ocasionar un déficit hídrico,

dependiendo primordialmente de factores edafológicos y climatológicos básicamente y otros propios del cultivo.

Los estudios agronómicos son parte fundamental del proyecto de riego, presentando ciertas dificultades, tanto de tipo conceptual como de cuantificación de ciertos parámetros, por el gran número de condicionantes que ha de tener en cuenta (suelo, clima, cultivos, parcelación, otros); se puede determinar que se desarrollan en tres fases:

- Estimación de las necesidades de agua de los cultivos
- Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia o intervalo entre riegos, durante del riego, numero de emisores por postura, caudal necesario, entre otros.
- Disposición de los emisores en el campo.

Para iniciar el diseño agronómico se debe tener conocimiento de las condiciones topográficas, edafológicas, agronómicas, hidrológicas y climáticas de la zona de estudio.

2.3.3. Ejecución del sistema de riego

Los problemas ambientales que se tienen en la actualidad, obliga al sector de la construcción a disminuir el impacto ambiental de sus actividades; en la ejecución de un proyecto de riego, se deben definir aspectos como la ejecución, administración, la supervisión de obra, contratistas, el aporte gubernamental y el aporte comunitario.

Para la realización de proyectos de todo tipo, se hacen los diseños respectivos, estos son plasmados en los presupuestos elaborados, después de todos los pasos de pre factibilidad del mismo. Es necesario el uso de especificaciones y normas nacionales e internacionales relacionadas, para su control y desarrollo.

Luego de esta fase, se llevan a concurso de licitación para su ejecución, a través de contratistas tanto en la iniciativa privada y el sector público.

2.3.3.1. Infraestructura sistema de bombeo

Las estaciones de bombeo son estructuras destinadas a elevar un fluido desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor, su uso es muy extendido en los campos de la ingeniería.

Para su buen funcionamiento, los sistemas de bombeo incluyen diferentes instalaciones de infraestructura (de acuerdo al tipo de método de riego que se trata); las que permiten el manejo del agua de la captación al tanque de almacenamiento, distribución (reservorios), y luego por gravedad al resto del sistema de riego.

2.3.3.1.1. Casetas

La caseta y malla perimetral brindan protección y seguridad contra el clima, robos y daños por animales a equipos e instalaciones del sistema, la protección mínima es contra los efectos de la radiación solar. Son necesarias en diferentes condiciones en el sistema de bombeo.

2.3.3.1.2. Reservorios

Son las estructuras para almacenar un determinado volumen de agua, de acuerdo a su capacidad y condiciones en el lugar, pueden ser de mampostería, concreto armado, elevado (metal), entre otros.

Se ubican en un punto alto de modo que el agua pueda llegar a regar el terreno cotas abajo, y el agua llega por medio del sistema de bombeo; incluye entrada y salida del agua, rebalse, válvulas, entre otros.

2.3.3.1.3. Redes de conducción y distribución

La red de conducción es el conjunto de tuberías y accesorios necesarios, para conducir el agua desde la captación hasta el tanque o reservorio. La red de distribución es el conjunto de tuberías y accesorios necesarios, para conducir el agua desde el tanque hacia los aspersores y el área de riego.

Las tuberías usualmente empleadas en redes de agua pueden ser de los siguientes materiales: PVC (Cloruro de Polivinilo), PE (Polietileno), fibrocemento, hormigón, aluminio y acero. Se deben seguir las instrucciones del fabricante para su manejo e instalación, para que la tubería no sufra daño.

Terminado este proceso hay que probarla con presión hidrostática de acuerdo a la clase de tubería que se trate, de preferencia las pruebas deben ejecutarse entre nodo y nodo.

En las redes de distribución y conducción puede ser necesario el uso de disipadores de energía, estas son estructuras que se diseñan, para generar reducción de cargas en los caudales; su objetivo es reducir la velocidad para no producir rupturas o movimientos en las redes en puntos críticos del diseño.

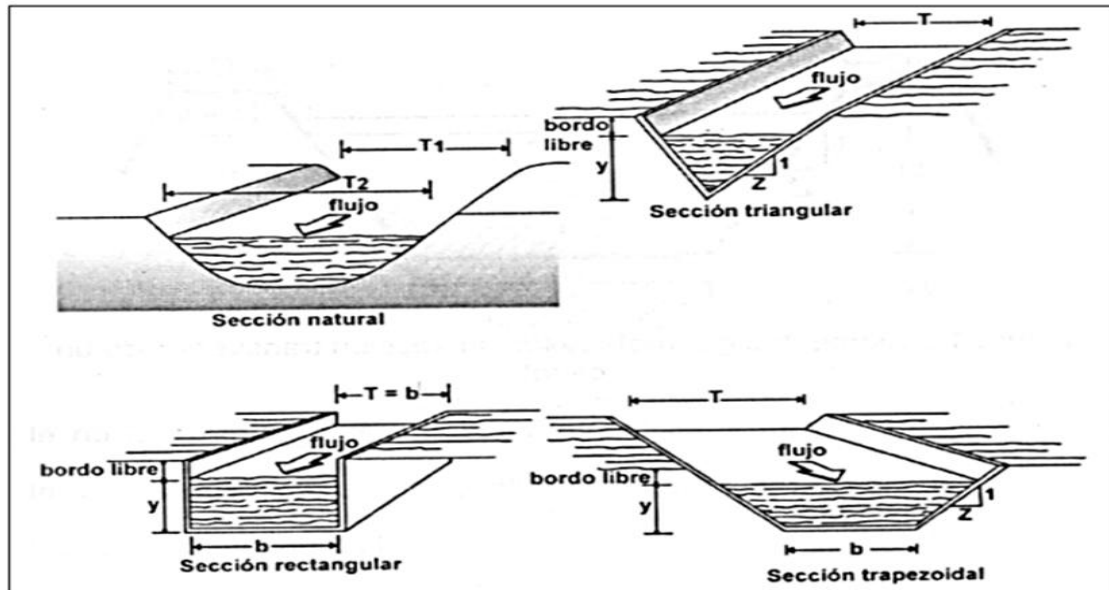
Las bases y anclajes de concreto para tubería y accesorios, son estructuras especiales, que sirven de apoyo intermedio en tramos largos de tubería; evitan rupturas o movimientos en las redes. Se usan también para anclar tuberías y accesorios en cambios de dirección de las redes del sistema de riego.

2.3.3.1.4. Canales, compuertas, válvulas, obras de arte

A continuación se describen los tipos de canales, desarenador, compuertas y válvulas utilizados en sistemas de riego.

- Canales: son conductos donde el agua fluye con una superficie libre, de ellos existen:
 - Los canales naturales: son aquellos hechos por la escorrentía del agua, son muy irregulares, con secciones naturales por lo general irregulares (ríos, quebradas de invierno, otros).
 - Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante un diseño, con secciones de figuras geométricas regulares.

Figura 21. Secciones típicas de canales



Fuente: elaboración propia.

- El desarenador es un tanque sedimentador cuyas dimensiones dependen del caudal de diseño de la toma, de la distribución granulométrica de los sedimentos en suspensión que transporta la corriente natural y de la eficiencia de remoción, que oscila entre el 60 y el 80% del sedimento que entra al tanque.

El largo de las unidades deben ser aproximadamente de 10 a 12 veces la profundidad, siempre que la velocidad longitudinal se mantenga en alrededor de 0,10 m/s. El ancho mínimo debe ser de 0,6 m con el objeto de facilitar la limpieza manual.

Las estructuras de entrada y salida del desarenador deben asegurar una buena distribución de agua de la unidad, reduciendo al mínimo la posibilidad de que se presenten zonas muertas o cortocircuitos hidráulicos.

La velocidad horizontal no deberá ser mayor de 0,3 m/s, la velocidad de asentamiento vertical se calculará tomando en cuenta, el peso especificado y diámetro de las partículas.

- Compuertas: son estructuras de control hidráulico, su función es la de presentar un obstáculo al libre flujo del agua, con el consiguiente represamiento aguas arriba de la estructura y el aumento de la velocidad aguas abajo.
- Las válvulas son accesorios que se utilizan en las redes de distribución, para controlar el flujo y se pueden clasificar en función de la acción específica que realizan. Las válvulas más comunes en una red de distribución son las de compuerta y sirven, para aislar segmentos de la misma.

Las válvulas hidráulicas de acuerdo a sus características poseen diferentes aplicaciones en sistemas de riego agrícola. Tienen la función de controlar el caudal y la dirección del flujo (válvula de compuerta y de bola), permitir el retro lavado del filtros (válvula de compuerta y de bola), impedir que el agua sea devuelta hacia el equipo de bombeo, evitar el golpe de ariete (válvula de retención), permitir la entrada y salida del aire del sistema (válvulas de aire).

- Las cajas de válvulas son parte del sistema de riego, es necesario construir las cajas donde se instalarán válvulas, purgas y desfuegos. Se

deben especificar sus características en dimensiones, tipo de material a emplear y su colocación definitiva de manera que se permita la correcta operación. Todas las válvulas deberán contar con cajas para fines de protección, operación y mantenimiento.

Las válvulas de riego deberán disponer de su regulador de presión, dispositivos de control de presión y válvulas de aire, para su correcto funcionamiento.

- Las obras de arte son estructuras que facilitan la conducción, salvando pasos de ríos, quebradas o depresiones apreciables, respetando las secciones de las conducciones a fin de no provocar interferencias que alteren la circulación de los caudales descargados.

2.3.3.1.5. Filtros

De acuerdo a las características del agua en el lugar del proyecto, es importante colocar un sistema de filtrado seguro, dado que la vida de las mangueras de goteo dependerá fundamentalmente del uso de agua de calidad y de las labores de operación y mantenimiento; el lavado del sistema de filtrado es un aspecto importante para la sostenibilidad del sistema.

2.3.3.2. Equipamiento

El equipo de impulsión juega un papel importante en los sistemas de riego porque entrega la energía necesaria, para que el sistema funcione; se compone de una bomba, la mayoría de las veces centrífuga y un motor que la hace trabajar.

El equipo de bombeo seleccionado debe entregar un caudal igual o mayor al determinado, a su vez la presión que debe entregar el equipo de bombeo debe tener la misma condición que la del caudal, ser igual o mayor a la obtenida.

- Bombas centrífugas: son las más utilizadas en los sistemas de riego, existen infinidad de modelos, los que dependen de la cantidad de agua a bombear por unidad de tiempo, la presión necesaria para hacer funcionar el sistema de riego o altura a elevar el agua y las características físicas del terreno donde se instala el equipo.

Todas las bombas poseen una curva de funcionamiento llamada curva característica de la bomba, la que se construye de acuerdo a dos variables la altura de impulsión (H) y el caudal (Q).

2.3.4. Operación y mantenimiento

El manejo correcto del sistema de riego es fundamental para asegurar su sostenibilidad y rentabilidad, para aumentar su vida útiles necesario proteger y conservar sus obras y equipos mediante actividades de operación y mantenimiento.

- Operación: es una labor permanente que realizan los usuarios en el manejo de las diferentes obras hidráulicas de una infraestructura de riego, con el fin de lograr la distribución de agua según los derechos y obligaciones que corresponde a cada usuario, acorde a los requerimientos de las plantas y tratando de optimizar la eficiencia del uso de agua.

Las actividades de operación más comunes en los sistemas de riego tecnificado son: apertura y cierre de válvulas, cargado de tubería, verificación de salida de aire, control de presiones, control de funcionamiento de emisores, evaluación de sectores de pérdidas.

- Mantenimiento: es la tarea continua y/o periódica, cuya finalidad es conservar y prolongar en buen estado el conjunto de obras hidráulicas y equipos de riego. El mantenimiento es importante en los proyectos de riego, porque es frecuente que estos no funcionen adecuadamente solo por falta de mantenimiento, impidiendo un rendimiento óptimo de costosas obras de infraestructura.
 - En sistemas tradicionales, estas actividades suelen efectuarse como procedimientos rutinarios, de acuerdo con reglas no escritas.
 - En sistemas de riego tecnificado, los requerimientos de operación y mantenimiento son más específicos y a la vez más importantes, para el funcionamiento del sistema.

Para la operación y mantenimiento del proyecto de riego, deben considerarse aspectos como el tamaño y características del sistema de riego, número de usuarios, tipo de unidades agrícolas, experiencia y cultura de riego de los usuarios, demanda de agua de cultivos, caudales disponibles en relación a la demanda.

Las actividades de mantenimiento se diferencian en función del objetivo, el período en el cual se ejecutan y las actividades que implican, se incluyen mantenimiento rutinario, preventivo y mantenimiento de emergencia.

Para los trabajos de mantenimiento u operación, hay que tomar en cuenta la accesibilidad hacia las obras, la disponibilidad de materiales y productos necesarios, los cambios en la calidad de agua, volúmenes disponibles y mano de obra local libre para las actividades planificadas.

2.3.4.1. Monitoreo

En el manejo de un sistema de riego es fundamental determinar el momento más adecuado para regar y la cantidad de agua a aplicar en función de varios factores, por esta razón es necesario contar con información sobre las condiciones en las que opera el sistema, adaptándolos a las condiciones específicas de clima y suelo en el lugar del proyecto.

Se define al monitoreo, como el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa en pos de la consecución de sus objetivos, y para guiar las decisiones de gestión. A rasgos generales, consiste en la observación del curso de uno o más parámetros para detectar eventuales anomalías; entre los objetivos del monitoreo se incluyen los siguientes:

- Mantener los registros de operación de manera actualizada y constante aun cuando los equipos de riego están operando en diferentes sitios.

- Reducir las fugas del agua, aumentar la eficiencia del agua, automatizar las lecturas de los medidores y controlar la calidad del agua y la posición del riego, para poder asegurar la calidad de la labor realizada.

2.3.4.2. Mantenimiento preventivo

Es una actividad ejecutada en forma permanente, destacando la limpieza de la infraestructura de riego en general y la reparación de las partes dañadas; las reparaciones más frecuentes son: resanes del material concreto, soldaduras de compuertas y válvulas, reemplazo de empaques de válvulas, sustitución de redes rotas o con fisuras y sustitución de emisores.

Permite prevenir daños en el futuro, mediante limpiezas periódicas de desarenadores, reservorios, cámaras de carga y/o rompe presión, filtros, engrasado y repintado de partes metálicas y válvulas, de redes y emisores.

2.3.4.3. Mantenimiento correctivo

Son actividades que se ejecutan cuando se presentan daños ocasionados por factores externos (clima, hombre, animales, otros), que comprometen el funcionamiento de la infraestructura de riego. Algunas de las causas de estas actividades son la limpieza de los deslizamientos en los canales y reservorios, reposición inmediata de tuberías rotas, válvulas, filtros, bombas, líneas móviles de riego y emisores.

3. ESTUDIO

3.1. Antecedentes

En Guatemala se encuentran tres categorías principales de sistemas de riego: riego privado, riego público y mini-riego con asistencia pública. Los proyectos de mini riego han sido transferidos paulatinamente a los COCODES locales. “El sector privado a lo largo de los años ha desarrollado proyectos de riego para cultivos de exportación y se estima que representa el 90% del área regada en Guatemala; las unidades de riego estatales han sido paulatinamente transferidas a los usuarios de riego.”¹⁵

En la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos, se forman profesionales que pueden diseñar, calcular, elaborar los planos para la ejecución de proyectos de riego, sin embargo la participación del ingeniero civil en este tipo de proyectos es bajo.

A continuación se presentan los resultados del estudio sobre la participación del ingeniero civil en proyectos de riego; y el desarrollo de un proyecto de riego, identificando las principales áreas y actividades en las que el ingeniero civil puede participar profesionalmente; entre las que se incluyen: hidráulica, topografía, diseño de estructuras, estudios ambientales, planificación y construcción del proyecto.

¹⁵ OROZCO PÉREZ, Darwin Idilio. *Inventario y caracterización de sistemas de mini riego ubicados en la microrregión centro del municipio de Esquipulas Palo Gordo, del departamento de San Marcos.* p. 49.

3.2. Metodología

En la metodología utilizada en el trabajo, se incluyen las siguientes actividades.

- Elaboración de marco teórico
- Programación de actividades
- Entrevistas con profesionales
- Realización de encuesta dirigida a profesionales recién graduados o estudiantes con pensum cerrado de la carrera de ingeniería civil.
- Análisis y tabulación de resultados
- Desarrollo de caso típico proyecto de riego

3.2.1. Actividades de campo

De acuerdo a los objetivos del trabajo, se realizó un estudio preliminar sobre el estado del conocimiento y la participación del ingeniero civil en proyectos de riego en Guatemala, para esto se utilizó un cuestionario. También se realizaron entrevistas con profesionales relacionados con el tema de estudio.

3.2.2. Planificación

De acuerdo a la metodología establecida, se realizó la planificación de las actividades necesarias.

Tabla IV. **Detalle planificación**

Actividad	Objetivos
Elaboración de marco teórico	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión referencias • Entrevistas
Programación de actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Listado de actividades • Elaboración de cronograma • Identificar y elaborar herramientas necesarias.
Entrevistas	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer criterios de expertos y profesionales en el tema.
Encuesta	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar la muestra de interés. • Conocer información relacionada con el tema.
Análisis y tabulación de resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar y tabular resultados de las encuestas. • Elaborar base de datos.
Desarrollo de caso típico proyecto de riego	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer detalles relacionados con los diseños agronómico e hidráulico, así como la fase de construcción de un proyecto de riego.

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. **Elaboración de instrumentos**

Como parte del estudio sobre la participación del ingeniero civil en proyectos de riego, se elaboró un cuestionario dirigido a estudiantes de cierre y profesionales recién graduados.

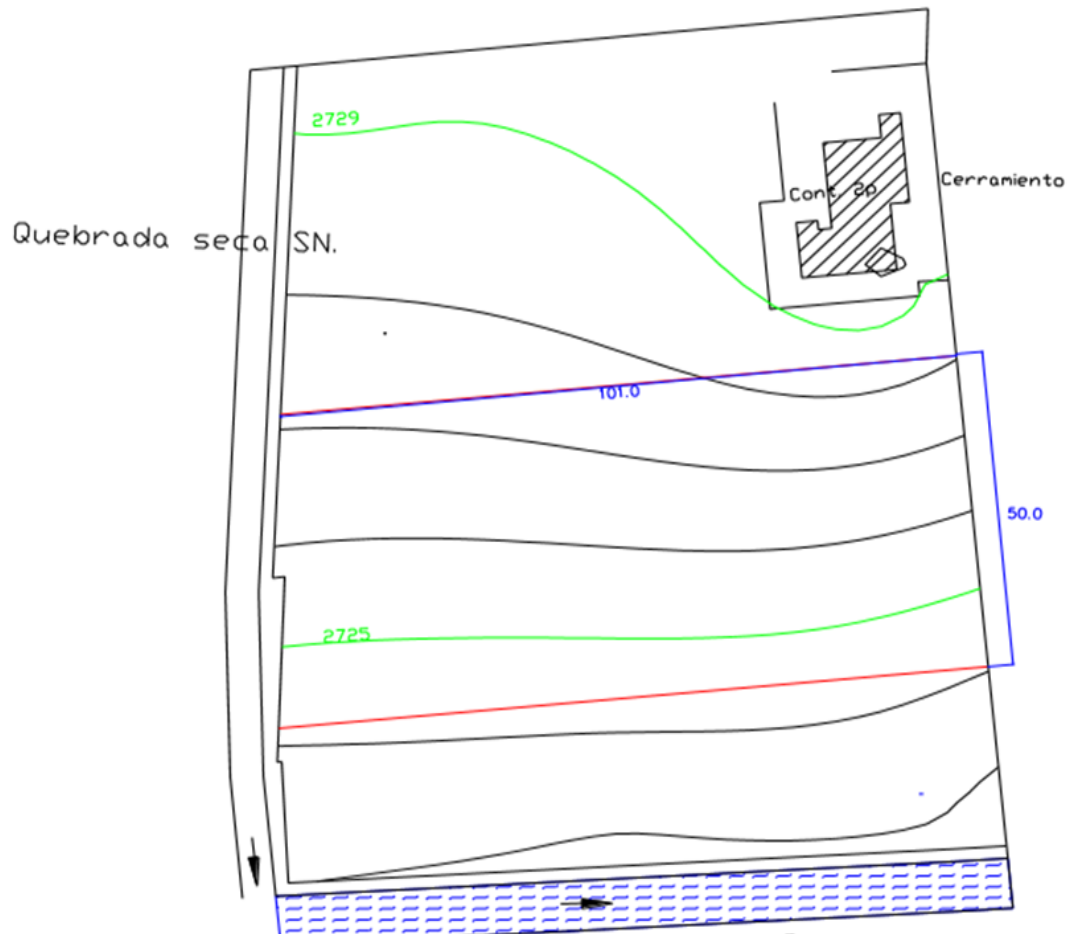
3.2.4. Caso práctico

Se busca mediante el desarrollo de un sistema de riego por aspersión, optimizar el uso del agua que existe en el proyecto y que esta se puede aprovechar para mejorar el proceso de cultivo; el estudio presenta recomendaciones de diseño generales para sistemas de riego.

El propietario del terreno desea cultivar una parcela que actualmente se encuentra sin producción ya que no cuenta con riego. El proyecto tiene como objetivo llevar agua de riego a un cultivo de tomate (para consumo), ubicado en una finca del departamento de Santa Rosa, en un terreno de 50 x 100 metros; en la región se tiene una baja humedad y alta evapotranspiración (ver planos anexo No. 2).

De acuerdo con la información, una hectárea de tomates sin riego genera 1 714 cajas con un valor de Q 27,130.00 (3,555 dólares), otra sí irrigada producirá 4 286 cajas por valor de más de Q 90,000.00 (11,795.00 dólares).

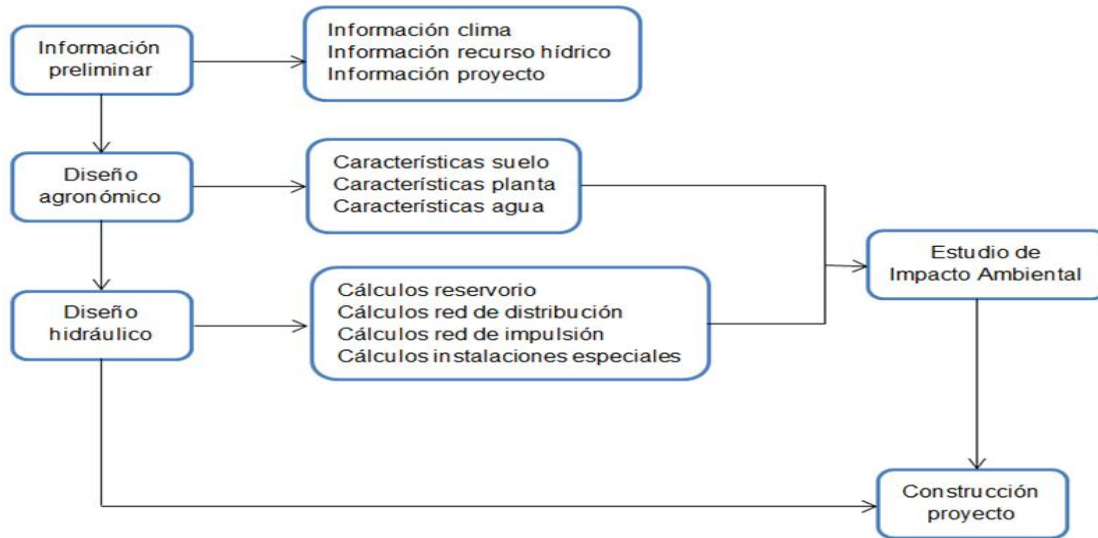
Figura 22. Ubicación y topografía área a regar



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

A continuación se presenta el flujo del proyecto de riego, se incluyen los diseños agronómico e hidráulico, y la fase de construcción del proyecto.

Figura 23. Diagrama de flujo proyecto de riego



Fuente: elaboración propia.

Los principales criterios utilizados en el diseño del proyecto son los siguientes.

- El método de riego a utilizar en el proyecto será de aspersión, lo que significa que el sistema de riego trabajará a presión; de acuerdo a las características del proyecto, la línea de impulsión se divide en línea principal, secundaria y ramal.
- El cálculo de la pérdida de carga se puede hacer de manera individual para cada línea, expresándola en función de caudal o de manera general utilizando la siguiente fórmula:

$$H_f = \left(10.665 * \frac{Q^{1.852}}{c^{1.852} * D_i^{4.87}} \right) * L$$

Donde:

Q= Caudal en metros³ /segundo

Di= Diámetro Interior de la tubería en metros

L= Largo total de tubería en metros

C= Constante que depende del material de la tubería

Hf= Pérdida de carga en m.c.a.

$$Hf_{\text{línea principal}} = \left(10,665 * \frac{Q^{1,852}}{c^{1,852} * Di_{\text{línea principal}}^{4,87}} \right) * L_{\text{línea principal}}$$

$$Hf_{\text{línea secundaria}} = \left(10,665 * \frac{Q^{1,852}}{c^{1,852} * Di_{\text{línea secundaria}}^{4,87}} \right) * L_{\text{línea secundaria}}$$

$$Hf_{\text{ramal}} = \left(10,665 * \frac{Q^{1,852}}{c^{1,852} * Di_{\text{ramal}}^{4,87}} \right) * L_{\text{ramal}}$$

- Elección del diámetro en tuberías: uno de los factores que influye en la pérdida de carga, es el diámetro de la tubería y sus accesorios. Es recomendable que el diámetro de la tubería sean 1,5 a 2 veces el diámetro de salida de la bomba, dependiendo del largo de la línea.
- Pérdida de carga en accesorios: se les denomina también pérdidas secundarias (cambios de dirección, codos, válvulas, otros). La sumatoria de estas pérdidas de carga accidentales o localizadas más las pérdidas de carga por rozamiento, dan como resultado las pérdidas de carga totales.

$$H_{f_{\text{accesorios}}} = \frac{8 * K * Q^2}{D^4 * g * \pi^2} \text{ metros}$$

$$H_{f_{\text{válvula de pie}}} = \frac{8 * K_{\text{válvula de pie}} * Q^2}{D_{\text{válvula de pie}}^4 * g * \pi^2} \text{ metros}$$

$$H_{f_{\text{codo}}} = \frac{8 * K_{\text{codo}} * Q^2}{D_{\text{codo}}^4 * g * \pi^2} \text{ metros}$$

Dónde:

Hfa= Pérdida de carga accesorio (secundaria) en m.c.a.

K= Constante de accesorios (dato)

Q= Caudal en m³/s (incógnita)

g= 9,81 m/s²

D= Diámetro interior del accesorio (dato)

La pérdida secundaria total de la línea es:

$$H_{fa(\text{Pérdida total})} = H_{fa(\text{válvula de pie})} + H_{fa(\text{codo})} + H_{fa(\text{otros accesorios})}$$

- Tipo de riego a utilizar: de acuerdo con el tipo de cultivo y condiciones locales, se elige el tipo de emisor. Por requerimiento del propietario se va a considerar una línea principal y una secundaria para abarcar toda el área de regadío.

Para la realización del diseño agronómico e hidráulico se utilizó la siguiente información:

Tabla V. **Datos necesarios para el diseño del sistema de riego**

Tipo de cultivo	Tomate
Kc de Cultivo	0,85 (0,80 a 0,90)
Profundidad de raíces	0,50 m
Criterio de riego	0,60
Riego recomendado	Aspersión
Eficiencia de riego	80%
Evaporación de bandeja	6,5 mm/día
Tipo de suelo	Franco limoso
Densidad aparente suelo	1,35 g/cm ³ (1,35 a 1,50 g/cm ³)
Capacidad de campo	18 % (18 % a 26 %)
PMP	8 % (8 % a 12 %)
Distancia del agua al terreno	30 metros
Altura de elevación	5 metros
Disponibilidad de energía	Tensión monofásica (110 v) a 100 m
Datos para la elección del emisor	
Dimensiones del terreno	50 metros por 101 metros
Pendiente terreno	2 %
Velocidad de infiltración	6,4 mm/hora
Velocidad del viento	1,85 m/s

Fuente: elaboración propia.

- **Diseño agronómico**
 - **Fórmula de la evapotranspiración**
 - Aplicando Hargreaves y Samani
 - Datos necesarios:
 - Evapotranspiración potencial diaria, mm/día (Et)
 - Temperatura media (tmed)
 - Radiación solar incidente, convertida en mm/día (Rs)

- Coeficiente (KT)
- Temperatura diaria máxima (tmax)
- Temperatura diaria mínima (tmin)

$$Et = 0.0135 (tmed + 17.78) Rs$$

$$Rs = Ro * KT (tmax - tmin)^{0.5}$$

○ Uso Consumo (UC).

- Datos necesarios:
 - ✓ Kc del cultivo
 - ✓ Evapotranspiración (mm/día)
 - ✓ Formula de la evapotranspiración:

$$UC = Kc * EVT = 0,65 * 6,5 = 4,23 \text{ mm/día}$$

○ Lámina Neta (LN).

- Datos necesarios:
- Capacidad de campo, C.C. (%)
- Punto de marchitez permanente, PMP. (%)
- Densidad aparente, Da, (gr/cc)
- Criterio de riego, Cr, (0,4 ó 0,6)
- Profundidad de las raíces, Pr, (metros)

$$LN = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) * DA * CR * PR * 1000 \text{ (mm)}$$

$$LN = \left(\frac{18 - 8}{100} \right) * 1,35 * 0,40 * 0,5 * 1000 = 27,0 \text{ mm}$$

- Requerimiento Bruto (RB).

Datos Necesarios:

U.C., eficiencia del tipo de riego, η , (0 a 1).

$$RB = \frac{\text{Usos consumo cultivo}}{\eta} = \frac{5,53}{0,75} = 7,37 \text{ mm/día}$$

- Frecuencia de Riego (FR): para no provocar estrés hídrico en la planta la frecuencia recomendada no debe exceder de los 7 días.

Datos necesarios:

- Lámina Neta (L.N)
- Requerimiento Bruto (R.B.)

$$FR = \frac{LN}{RB} = \frac{27}{7,37} = 3,66 \text{ días} \cong 4 \text{ días}$$

- Tipo de aspersor a utilizar: se propone el uso de aspersores marca Naandanjain 280 PC (diámetros boquillas 12.0x8.0 mm).

Figura 24. **Aspersores marca Naandanjain 280 PC**



Fuente: Catálogo técnico aspersores Naandanjain.

Los aspersores 280 PC cuenta con una rosca hembra de 2", por lo tanto la instalación del sistema se va a realizar con tubería de 2" de diámetro en material de PVC.

Los accesorios de conexiones en la base de los cañones van a ser de hierro galvanizado, para evitar cualquier ruptura en el sistema al manipularlo.

Las bases de los cañones son fabricados en acero para un mejor anclaje.

Datos técnicos aspersor:

Diámetro de mojado de 54 metros

Condiciones de 3 bares de presión

Caudal de 13,40 m³/h.

Con estos datos se puede calcular el espaciamiento necesario entre aspersores para no afectar su rendimiento, la determinación de la distancia se hace en base a la velocidad del viento en la zona 1,85 m/s.

Distancia entre aspersores:

$$D_a = 0.60D = 0,3 * 54 = 32,4 \approx 33 \text{ m.}$$

D = diámetro de mojado aspersor

Número de aspersores por línea:

$$\text{No asp} = \frac{101 - \frac{54}{2}}{33} + 1 = 3 \text{ unidades}$$

- Condiciones hidráulicos aspersores
 - Tasa de Aplicación de Agua para aspersores (TAAA)

Datos necesarios:

Caudal de entrega del aspersor Q_a (l/hora)

Distancia entre líneas de aspersores operando DL (m)

Distancia entre aspersores operando por línea D_a (m).

$$TAAA = \frac{Q_a}{DL * D_a} = \frac{13\ 400}{33 * 33} = 12,30 \frac{\text{mm}}{\text{hora}}$$

- Tiempo de Aplicación de Riego para aspersores (TARA).

Datos Necesarios:

Lámina neta

Tasa de Aplicación de Agua del Cañón

$$TAAC = \frac{LN}{TAAA} = \frac{27}{12,3} = 2,2 \text{ horas}$$

- Caudal Total Absorbido por los aspersores (QTAA)

Datos Necesarios:

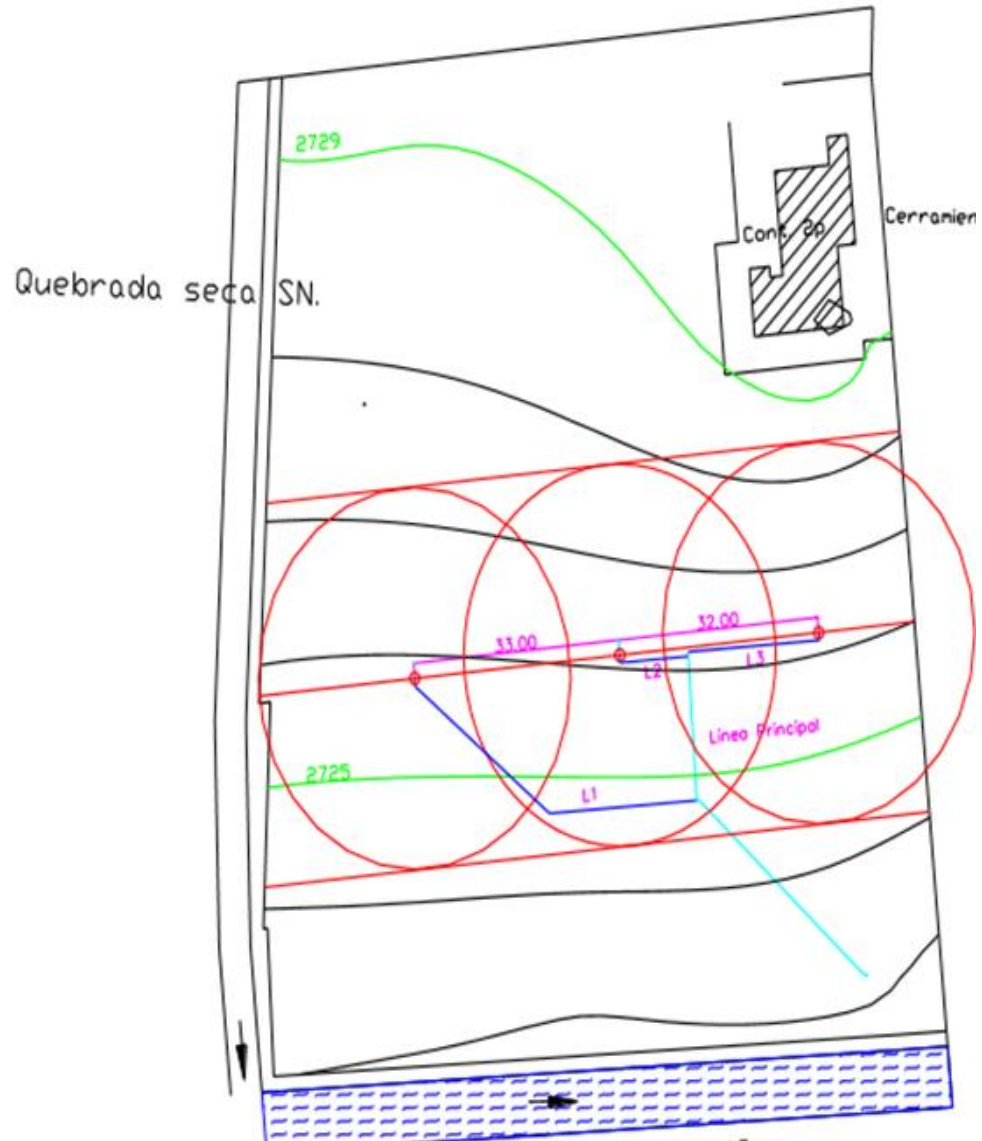
Caudal de Entrega del Aspersor Q_a (l/hora)

Número de líneas de aspersores operando NL

Número de aspersores operando por Ramal N_a .

$$QTAA = Q_a * NL * N_a = 14\ 300 * 1 * 3 = 40\ 200 \frac{l}{\text{hora}}$$

Figura 25. Distribución del sistema de riego



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Diseño hidráulico

- Pérdidas Primarias

- Ramales

$$Q_{\text{ramal}} = \text{No. e} * Q_e = 1 * \frac{13,4}{3600} = 0,00372 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$D = 1,35 * \sqrt{Q} = 1,35 * \sqrt{0,00372} = 82 \text{ mm}$$

Diámetro asumido = 50 mm, verificación de velocidad

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi * D^2}{4}} = 1,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

0,6 < 1,89 < 2,0 m/s, de acuerdo a esto se diseña con un diámetro de 50 mm (2")

Aplicando Hazen-Williams en el ramal

Largo Ramal = L= 1,50 m

Diámetro Ramal = Di=0,0452 m

C de HG = 150

$$H_f = \frac{10,65 * 1,5 * 0,003721^{1,852}}{150^{1,852} * 0,0452^{4,87}} * 3 = 0,503 \text{ m}$$

El valor total de pérdidas de los ramales es 0,503 metros.

- Línea secundaria

$$Q_{\text{secundaria}} = \text{No. ramales} * Q_{\text{ramal}} = 1 * \frac{13,4}{3\ 600} = 0,00372 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Largo ramal

L1= 51,94 m

L2= 12,00 m

L3= 22,13 m

Diámetro ramal (Di=0,047 m)

Aplicando Hazen-Williams en el ramal

C de PVC = 150

$$Hf_{L1} = \frac{10,65 * 51,94 * 0,003721^{1,852}}{150^{1,852} * 0,047^{4,87}} = 4,80 \text{ m}$$

$$Hf_{L2} = \frac{10,65 * 12,0 * 0,003721^{1,852}}{150^{1,852} * 0,047^{4,87}} = 1,11 \text{ m}$$

$$Hf_{L3} = \frac{10,65 * 22,13 * 0,003721^{1,852}}{150^{1,852} * 0,047^{4,87}} = 2,04 \text{ m}$$

El valor total de pérdidas de la línea secundaria es 7,95 metros

- Línea principal y de impulsión

Para esta condición la línea de impulsión tiene las siguientes longitudes desde la bomba hasta las líneas secundarias.

Longitud de la tubería principal:

LP1= 36,98 m

LP2= 19,50 m

El valor del caudal es:

$$Q_{LP1} = 3 * \frac{V}{3600} = 0,0112 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{LP2} = 2 * \frac{V}{3600} = 0,0074 \frac{m^3}{s}$$

$$D = 1,35 * \sqrt{0,0112 * 1000} = 142 \text{ mm}$$

Diámetro asumido = 90 mm, verificación de velocidad

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi * D^2}{4}} = \frac{Q}{\frac{\pi * D^2}{3600}} = 1,76 \frac{m}{s}$$

0,6 < 1,76 < 2,0 m/s, de acuerdo a esto se diseña con un diámetro de 90 mm.

La tubería a utilizarse es de PVC de 90 mm de diámetro exterior y 85,6 mm de diámetro interior, tubería de unión espiga campana.

Aplicando Hazen-Williams en el ramal

Largo Ramal = L= 1.50 m

Diámetro Ramal = Di=0,0452 m

C de HG = 150

$$Hf_{LP1} = \frac{10,65 * 36,98 * 0,0121^{1,852}}{150^{1,852} * 0,0856^{4,87}} = 1,42 \text{ m}$$

$$Hf_{LP2} = \frac{10,65 * 19,5 * 0,0074^{1,852}}{150^{1,852} * 0,0856^{4,87}} = 0,35 \text{ m}$$

El valor total de pérdidas de la línea principal es de 1,77 metros

- Línea de succión

Las condiciones para esta línea son:

Caudal 0,0112 m³/s

Diámetro 100 mm

Distancia es de 5 metros desde el espejo de agua hasta la bomba, con una altura de aspiración de 2 metros

Tubería de neopreno reforzado C= 140

$$H_{f_{\text{Línea succión}}} = \frac{10,65 * 5 * 0,0121^{1,852}}{140^{1,852} * 0,100^{4,87}} = 0,10 \text{ m}$$

El valor total de pérdidas de la línea de succión es 0,10 metros.

- Pérdidas secundarias: los accesorios a utilizarse en la línea de succión son las siguientes:

Tabla VI. **Accesorios utilizados para el cálculo**

Accesorio	K	Cantidad
Válvula de pie	2,5	1
T bifurcación	1,80	2
Válvula de retención (check)	2	1
Codo de 45° de radio normal	0,40	2
Codo de 90° de radio normal	0,75	9
Contracción d/D – ½ = 50/90 = 0,56	0,32	3

Fuente: elaboración propia.

$$Hf_{\text{accesorios 1}} = \frac{8 * Q * D^2}{D^4 * g * \pi^2} \text{ (metros)}$$

$$Hf_{\text{acc 1}} = \frac{8 * 0,0112^2}{g * \pi^2} \left(\frac{2 * 0,75 + 0,40 + 1,80 + 2,50 + 2,0}{0,0856^4} \right)$$

$$Hf_{\text{acc 1}} = 1,55 \text{ m}$$

$$Hf_{\text{acc 2}} = \frac{8 * 0,0074^2}{g * \pi^2} \left(\frac{0,75 + 1,80}{0,0856^4} \right) = 0,24 \text{ m}$$

$$Hf_{\text{acc 3}} = \frac{8 * 0,0037^2}{g * \pi^2} \left(\frac{6 * 0,75 + 0,4 + 3 * 0,32}{0,047^4} \right) = 1,36 \text{ m}$$

El total de pérdidas por accesorios es 3,12 metros.

- Presión total: es la sumatoria de las pérdidas primarias más las pérdidas secundarias más la altura de elevación.

$$Hf_{\text{total}} = 10,32 + 3,12 + 5 = 18,44 \approx 19 \text{ metros}$$

- Elección del equipo de bombeo: el equipo de bombeo debe cumplir con las siguientes condiciones.
 - Que entregue una presión igual o mayor a 19 mca.
 - Que entregue un caudal de (0,0112 m³/s o 40,20 m³/h o 670 L/min).

De acuerdo a las condiciones de diseño, se selecciona el siguiente equipo de bombeo:

Marca Franklin Electric 100% americana

Modelo AG 2X2.5-6.

Diámetro de Entrada 2,5"

Diámetro de Salida 2"

Velocidad nominal 3450 r.p.m

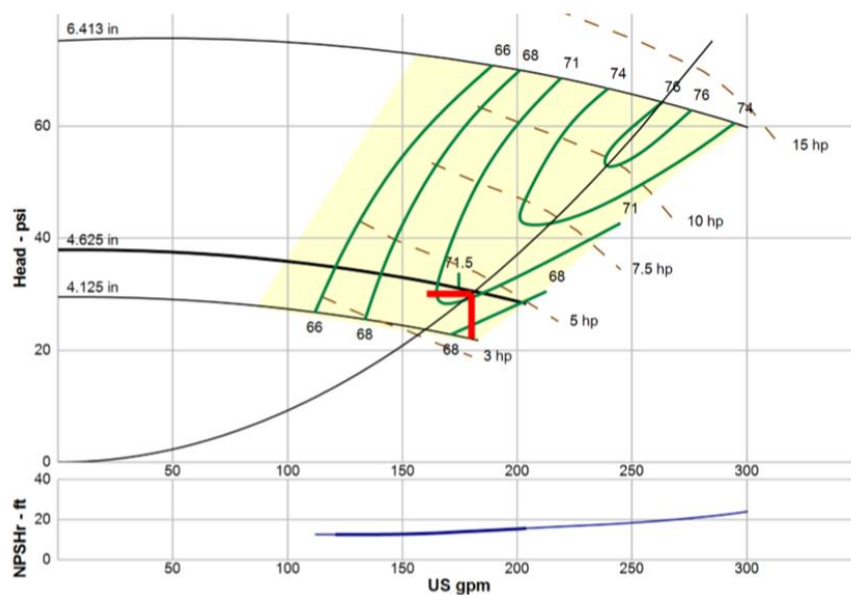
Succión de 2.5"

Descarga de 2"

180 Galones por minuto = 0,0112 m³/s = 670 L/min

30 PSI = 19MCA (factor de conversión 1,422 PSI es igual a 1MCA)

Figura 26. **Curva característica de la bomba Franklin Electric modelo AG 2X2.5-6**



Fuente: ficha técnica proveedor.

- Potencia requerida para la bomba seleccionada

$$PR = \frac{Ht * \rho * g * Qt}{\eta * 746} = \frac{28,3 * 1000 * 9,81 * 0,0152}{0,95 * 746} = 5,95 \approx 6 \text{ (Hp)}$$

El motor del equipo de bombeo seleccionado tiene 10 HP que es mayor al valor calculado.

- Consumo de combustible y lubricante.

$$CC = \frac{10 * 4,2 * 0,2}{0,8} = 10,5 \text{ litros}$$

Se contempla una temporada de riego de 3 meses y la frecuencia de riego es de 4 días, eso da un valor de 22 riegos por temporada, por lo que el motor va a requerir 1 cambio por temporada.

Tabla VII. **Presupuesto construcción sistema de riego**

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
1	Equipo de riego				
1.1	Línea de riego				
	Aspersor 280 PC U 3	U	3	\$ 340.00	\$1,020.00
				Sub total	\$1,020.00
1.2	Accesorios Hidráulicos				
	Codo 45° PVC 90 mm	U	3	\$10.63	\$ 10.63
	Codo 90° PVC 90 mm	U	3	\$ 7.62	\$ 22.86
	Tee PVC 90 mm	U	2	\$ 8.22	\$ 16.44
	Válvula de pie 4"	U	1	\$ 130.00	\$ 130.00
	Válvula de retención check 3"	U	1	\$ 70.60	\$ 70.60
	Reducción PVC 90mm a 75mm	U	1	\$ 35.00	\$ 35.00
	Reducción PVC 90mm a 50mm	U	3	\$ 36.90	\$ 110.70
	Codo 90° PVC 50 mm	U	6	\$ 1.15	\$ 6.90
	Codo 45° PVC 50 mm U 1 \$ 1.21 \$ 1.21	U	1	\$ 1.21	\$ 1.21
	Unión HG 50 mm	U	3	\$ 3.00	\$ 9.00

Continuación de la tabla VII.

Sub total					\$ 471.12
1.3	Accesorios Hidráulicos				
	Codo 45° PVC 90 mm	U	1	\$ 10.63	\$ 10.63
	Codo 90° PVC 90 mm	U	3	\$ 7.62	\$ 22.86
	Tee PVC 90 mm	U	2	\$ 8.22	\$ 16.44
	Válvula de pie 4"	U	1	\$ 130.00	\$ 130.00
	Válvula de retención check 3"	U	1	\$ 70.60	\$ 70.60
	Reducción PVC 90mm a 75mm	U	1	\$ 35.00	\$ 35.00
	Reducción PVC 90mm a 50mm	U	3	\$ 36.90	\$ 110.70
	Codo 90° PVC 50 mm	U	6	\$ 1.15	\$ 6.90
	Codo 45° PVC 50 mm	U	1	\$ 1.21	\$ 1.21
	Unión HG 50 mm	U	3	\$ 3.00	\$ 9.00
Sub-Total					\$ 413.34
1.4	Filtros				
	Filtro Arkal 3" 120 Mesh	U	1	\$ 351.75	\$ 351.75
Sub-Total					\$ 351.75
2	Equipo de Bombeo				
2.1	Motobomba Briggs&Stratton modelo Vanguard 10 HP	U	1	\$ 700.00	\$ 700.00
Sub-Total					\$ 700.00
2.2	Instalación de equipos	U	3	\$ 36.90	\$ 110.70
2.1	Excavación y relleno de zanjas	m ³	26,28	\$ 5.22	\$ 137.18
2.2	Colocación de tubería	m	147	\$ 0.20	\$ 29.40
2.3	Instalación y prueba equipo bombeo	Horas	4	\$ 10.00	\$ 40.00
2.4	Construcción casa de máquinas	U	1	\$ 280.00	\$ 280.00
Sub-Total					\$ 486.58
Total Inversión Inicial					\$3,442.79

Fuente: elaboración propia.

3.3. Análisis de resultados

Como parte del trabajo se realizó un estudio sobre el nivel de conocimiento y participación de ingenieros recién graduados, o estudiantes de cierre en el tema de proyectos de riego.

Para esto se realizó una encuesta a una muestra aleatoria por medio de un cuestionario elaborado con preguntas sencillas que faciliten la participación del entrevistado; no se busca realizar un análisis estadístico de la información, sino presentar un marco general que permita conocer de manera preliminar la participación del ingeniero civil en el sector (ver anexo 1).

El cuestionario elaborado se dividió en las siguientes secciones:

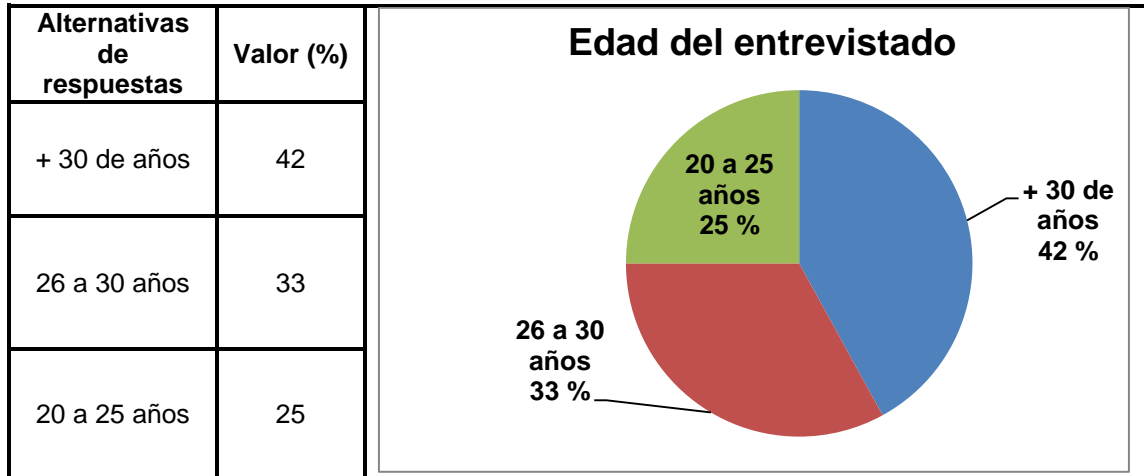
- Datos personales del entrevistado: se incluyen nombre, edad, formación académica, situación laboral y conocimiento en sistemas de riego.
- Datos sobre sistemas de riego: información sobre su formación académica y participación del ingeniero civil en proyectos de riego.

3.3.1. Gráficas y tablas

Para facilitar el manejo de la información se generó una base de datos con los resultados de los cuestionarios, también se elaboraron gráficas y tablas para facilitar su análisis, estas se presentan de acuerdo al orden de las preguntas en el cuestionario.

- Edad del entrevistado

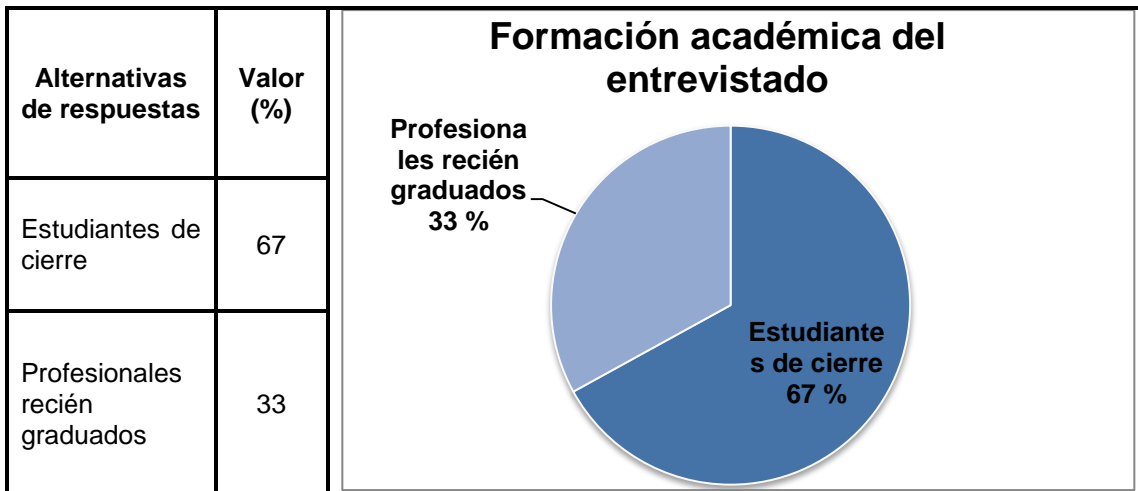
Tabla VIII. Resultados: edad del entrevistado



Fuente: elaboración propia.

- Formación académica del entrevistado

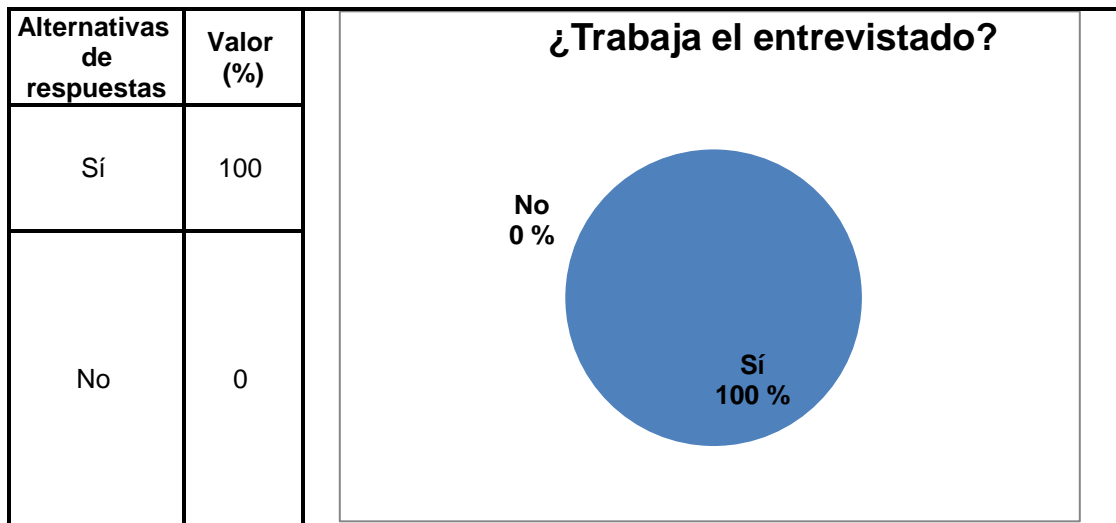
Tabla IX. Resultados: formación académica del entrevistado



Fuente: elaboración propia.

- Trabaja el entrevistado

Tabla X. Resultados: ¿Trabaja el entrevistado?



Fuente: elaboración propia.

- El entrevistado ha recibido capacitación o formación en temas relacionados con sistemas de riego.

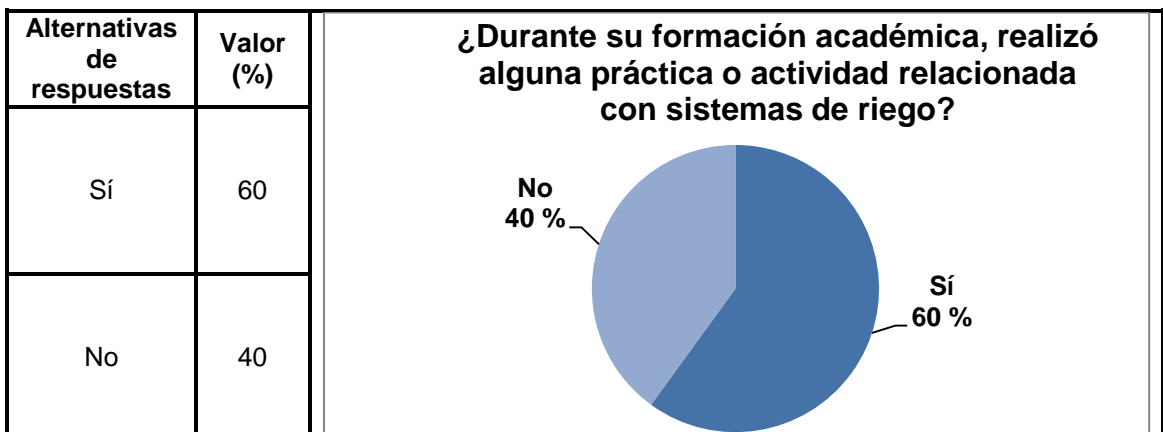
Tabla XI. **Resultados: ¿El entrevistado ha recibido capacitación o formación en temas relacionados con sistemas de riego?**



Fuente: elaboración propia.

- Durante su formación académica, realizó alguna práctica o actividad relacionada con sistemas de riego.

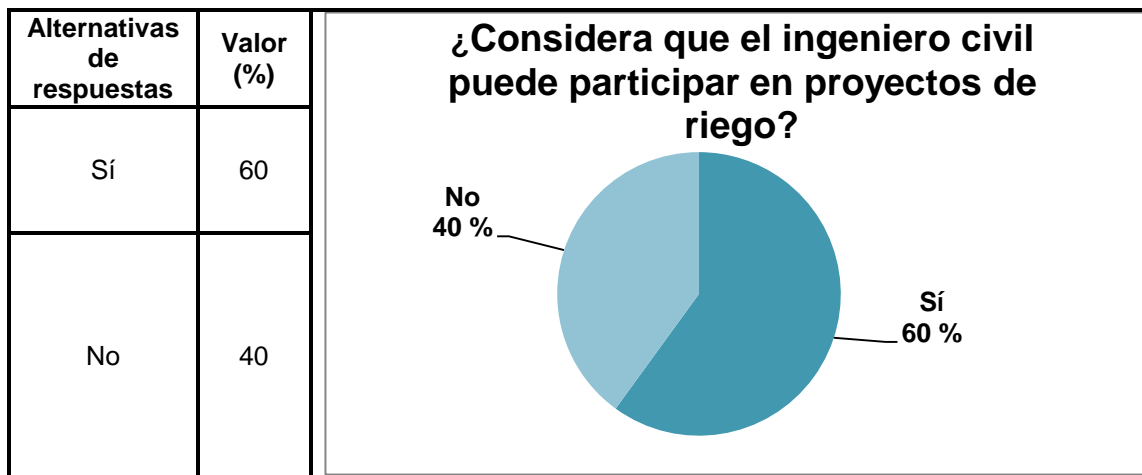
Tabla XII. **Resultados: ¿Durante su formación académica, realizó alguna práctica o actividad relacionada con sistemas de riego?**



Fuente: elaboración propia.

- Considera que el ingeniero civil puede participar en proyectos de riego.

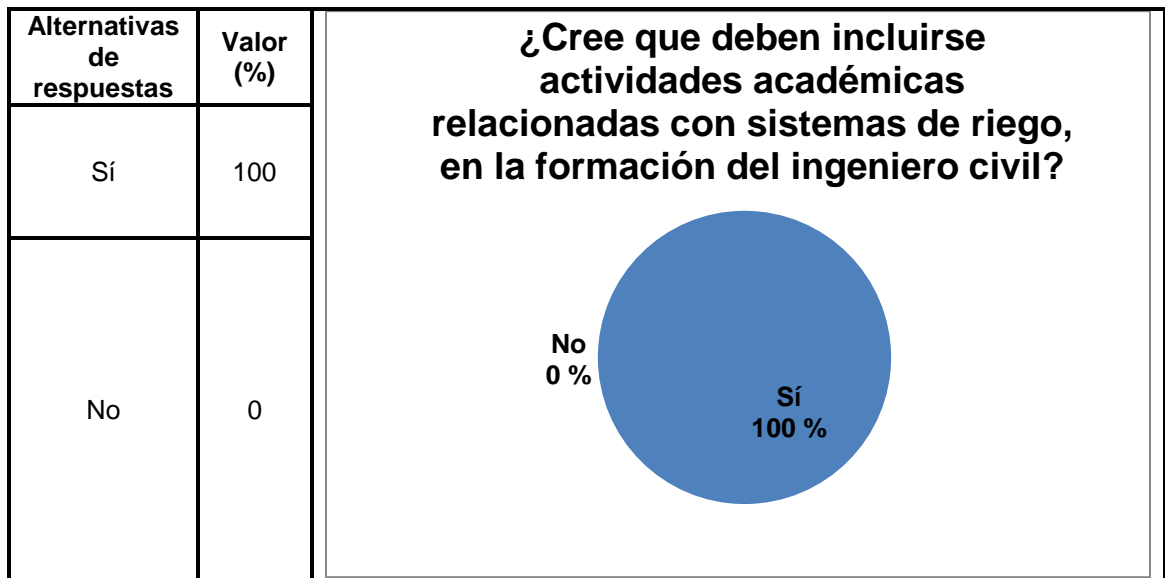
Tabla XIII. **Resultados: ¿Considera que el ingeniero civil puede participar en proyectos de riego?**



Fuente: elaboración propia.

- Cree que deben incluirse actividades académicas relacionadas con sistemas de riego, en la formación del ingeniero civil.

Tabla XIV. **Resultados: ¿Cree que deben incluirse actividades académicas relacionadas con sistemas de riego, en la formación del ingeniero civil?**



Fuente: elaboración propia.

1.1.1. Descripción y análisis de resultados

A continuación se presenta el análisis de los resultados de la encuesta realizada, de acuerdo al orden del cuestionario

- Datos personales del entrevistado
 - Edad: el sector de interés son los estudiantes de cierre y profesionales recién graduados, la información permite conocer la edad de los entrevistados.

De acuerdo a los resultados, la mayoría de los entrevistados se encuentra en el rango de + 30 de años (42 %), el rango 26 a 30 años (33 %), el resto (25 %) se encuentra en el rango de 20 a 25 años.

- Formación académica: uno de los objetivos de la encuesta es conocer el conocimiento y participación del ingeniero civil en proyectos de riego.

De acuerdo a los resultados, la mayoría de los entrevistados son estudiantes de cierre (67 %), el resto son profesionales recién graduados (33 %).

- Trabaja: la información permite conocer la situación del mercado laboral para recién graduados y estudiantes de cierre así como el sector en que se desempeñan y si se relaciona con la ingeniería civil.

De acuerdo a los resultados, todos los entrevistados trabajan (100 %); de los que trabajan el 90 % se relaciona con la ingeniería civil. Aunque la muestra fue aleatoria, se considera que el resultado no refleja la situación del mercado laboral.

- ¿Ha recibido capacitación o formación en temas relacionados con sistemas de riego? La información permite conocer el nivel de capacitación de los recién graduados y estudiantes de cierre en el tema.

De acuerdo a los resultados, el 50 % de los entrevistados indica haber recibido capacitación o formación en sistemas de riego, el resto responde no

tener capacitación o formación en sistemas de riego. Es necesario que se implemente actividades que mejoren esta situación en el sector de estudiantes y profesionales.

- Datos sobre sistemas de riego
 - ¿Durante su formación académica, realizó alguna práctica o actividad relacionada con sistemas de riego? Para conocer si cuenta con experiencia académica en el tema, y en el área del pensum que se trate.

De acuerdo a los resultados, la mayoría de los entrevistados indica, no haber tenido alguna práctica o actividad relacionada con sistemas de riego durante su etapa de estudiante (60 %), el resto responde que no (40 %). Las áreas en las que se realizó alguna práctica o actividad relacionada con sistemas de riego son hidráulica (83 %) y diseño (17 %).

- ¿Considera que el ingeniero civil puede participar en proyectos de riego? Permite conocer la opinión del entrevistado en el tema de acuerdo a su experiencia; el total de los entrevistados responde que si (100 %).
- ¿Ha participado en proyectos de riego? Para conocer la experiencia personal del entrevistado en proyectos de riego. De acuerdo a los resultados, el 50 % de los entrevistados indica haber participado en proyectos de riego, el otro 50 % responde que no.
- ¿Cree que deben incluirse actividades académicas relacionadas con sistemas de riego, en la formación del ingeniero civil? Permite

conocer la opinión del entrevistado en el tema de acuerdo a su experiencia; el total de los entrevistados responde que si (100 %).

CONCLUSIONES

1. Se elaboró un documento que presenta el nivel de conocimiento y participación del ingeniero civil en proyectos de riego en Guatemala.
2. Existen diferentes métodos de riego que incluyen equipos e infraestructura diferentes, el uso de cada uno depende de condiciones ambientales, tipo de cultivo, entre otros factores.
3. Los proyectos de riego requieren instalaciones de obra civil de acuerdo al tipo de sistema de riego y condiciones particulares como, tamaño y topografía del área a regar, tipo de fuente, otros.
4. Los proyectos de riego incluyen el diseño agronómico y el diseño hidráulico, así como la construcción de obra civil.
5. Las condiciones socio-económicas, y características del lugar, como: clima, tipo de suelo y diversidad de cultivos, determinan el tipo de sistema más adecuado a implementar en cada caso.
6. En el desarrollo del caso práctico se consideraron las condiciones climáticas y de cultivo particulares, para el sistema de riego por aspersión diseñado. De acuerdo con las características del sistema de riego, serán su planificación, ejecución y costos.
7. En el caso práctico se presentan los conocimientos hidráulicos y agronómicos necesarios, para realizar el diseño de forma eficiente.

RECOMENDACIONES

1. A las autoridades académicas y gremiales de la ingeniería civil, realizar actividades relacionadas con sistemas de riego que motiven al ingeniero civil a participar en este tipo de proyectos.
2. Incluir algún tipo de prácticas relacionadas con los sistemas de riego en la formación de los estudiantes de ingeniería civil, que permitan que el estudiante conozca este sector de desarrollo profesional.
3. En los proyectos de riego es necesario capacitar al personal operativo y técnico, para que el sistema trabaje y se mantenga de la mejor forma.
4. Monitorear la calidad del agua de los sistemas de riego periódicamente, para prever y evitar cualquier tipo de contaminación en ella.
5. Implementar el control de calidad y supervisión necesarias en la ejecución del sistema, tanto en mano de obra como en materiales.
6. Cuando se usen sistemas de filtrado, tener un adecuado mantenimiento y control en los filtros, porque éstos son indispensables en la vida útil de los accesorios de riego, tanto en los aspersores como en los goteros; realizar un mantenimiento periódico para evitar taponamientos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO ESTRADA, Alicia Isabel. *Investigación del mercado profesional de ingenieros civiles egresados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2011. 207 p.
2. AQUEVEQUE MEDINA, Emilio Javier. *Bombeo de agua para riego en Cerro Calán utilizando energía solar fotovoltaica*. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile, 2009. 115 p.
3. BARRIOS MOLINA, Marta Patricia. *Diseño del sistema de mini riego para el Cantón Rincón de los Leones*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2004. 144 p.
4. DIAZ NASSI, Carlos Enrique y PRETEL SANCHEZ, Edwin Raúl. *Diseño hidráulico y agronómico para un sistema de riego tecnificado del sector La Arenita, Distrito Paján –Chicama*. Universidad Privada Antenor Orrego. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Bolivia, 2014. 115 p.
5. DURIEZ GONZÁLEZ, Maribel y OBREGÓN, Gabriela. *Educación Superior en Iberoamérica*. Guatemala: Informe Nacional, 2016. 43 p.

6. ENDARA RAMOS, Diego Fernando. El sistema de riego tecnificado y su incidencia en la producción agrícola de las comunidades de Yallachanchí y Teodasín de La Parroquia Angamarca, Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ecuador, 2015. 354 p.
7. GALINDO MORALES, Pedro Pablo. Propuesta de rediseño de la red de abastecimiento y distribución de agua potable de la aldea Los Mixcos. Licenciatura en Ingeniería Civil Administrativa. Universidad Rafael Landívar. Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2000. 52 p.
8. Gobierno de la República de Guatemala. *Política de Promoción del Riego 2013-2023*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2013. 50 p.
9. _____. *Política Nacional del agua y su estrategia*. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2011. 48 p.
10. GUERRA ARANA, Nancy Viviana. Sistema de riego por aspersión para el caserío el descombro de la aldea Lelá Obraje, Municipio de Camotán, Departamento de Chiquimula. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2005. 163 p.
11. GUERRA MOSCOSO, Miguel Andrés. *Manual de diseño de sistemas de riego a gravedad y por aspersión*. Ecuador: Universidad San Francisco de Quito, 2009. 187 p.

12. OROZCO PÉREZ, Darvin Idilio. *Inventario y caracterización de sistemas de mini riego ubicados en la microrregión centro del municipio de Esquipulas Palo Gordo, del departamento de San Marcos*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro Universitario de San Marcos. Guatemala. 2015. 165 p.
13. PÉREZ SOLARES, Ana Elizabeth. *Utilización con fines de riego del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad universitaria, USAC*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional De Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Facultad de Ingeniería, 2012. 78 p.
14. PRIALE JAIME, Alfonso. *Las obras hidráulicas de concreto en el Perú*. Perú: Asociación de Productores de Cemento, ASOCEM, 2003. 63 p.
15. SANTOS PETET, Edilsar Benjamín. *Diseño de puente vehicular para el cantón tululché ii y sistema de miniriego para el cantón Rincón de los Leones, del municipio de Chiché, Quiché*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional De Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Facultad de Ingeniería, 2004. 144 p.
16. Universidad de San Carlos de Guatemala. *Manual de funciones*. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, 2009. 55 p.
17. Universidad Rafael Landívar. *Perfil del Agro y la Ruralidad de Guatemala*. Instituto de Agricultura; Recursos Naturales y Ambiente (IARNA). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Situación actual y tendencias, 2014. 266 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Cuestionario

40

Trabajo de Graduación

GUÍA PARA LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO CIVIL EN PROYECTOS DE RIEGO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

I. Datos personales

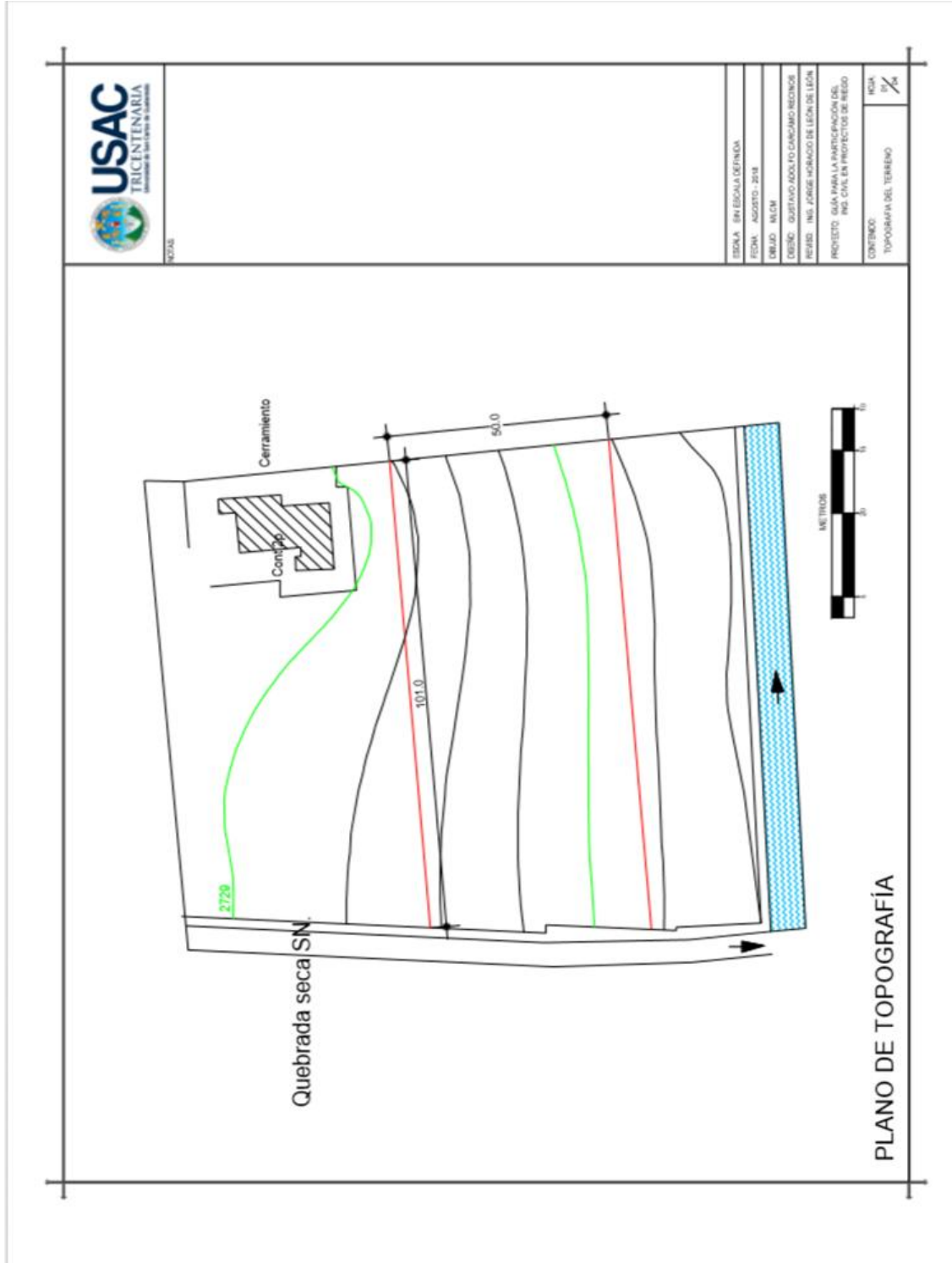
1. Nombre Manoel Francisco Caselano Picinos
2. Edad 42 años
3. Formación académica Ingeniero Civil
Estudiante de cierre Profesional recién graduado
4. Trabaja sí no
Si la respuesta anterior es sí, indique si la actividad se relaciona con la ingeniería civil sí no
5. Ha recibido capacitación o formación en temas relacionados con sistemas de riego sí no

II. Datos sistemas de riego

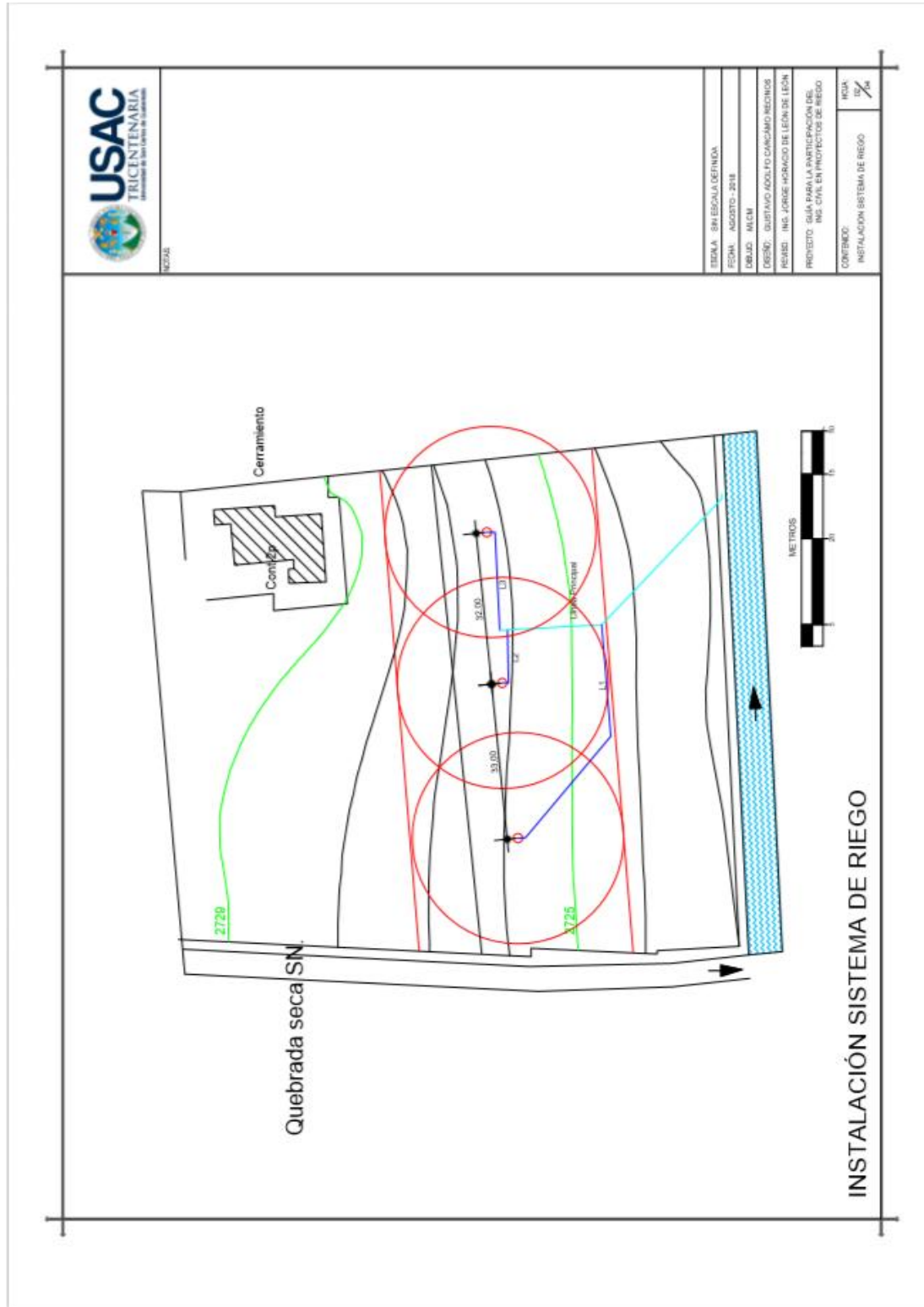
1. Durante su formación académica, realizó alguna práctica o actividad relacionada con sistemas de riego sí no
Si la respuesta anterior fue sí, identifique el área
Topografía Hidráulica Economía Diseño Ambiente Otras
2. Considera que el ingeniero civil puede participar en proyectos de riego sí no
3. Ha participado en proyectos de riego sí no
4. Cree que deben incluirse actividades académicas relacionadas con sistemas de riego, en la formación del ingeniero civil sí no

Fuente: elaboración propia.

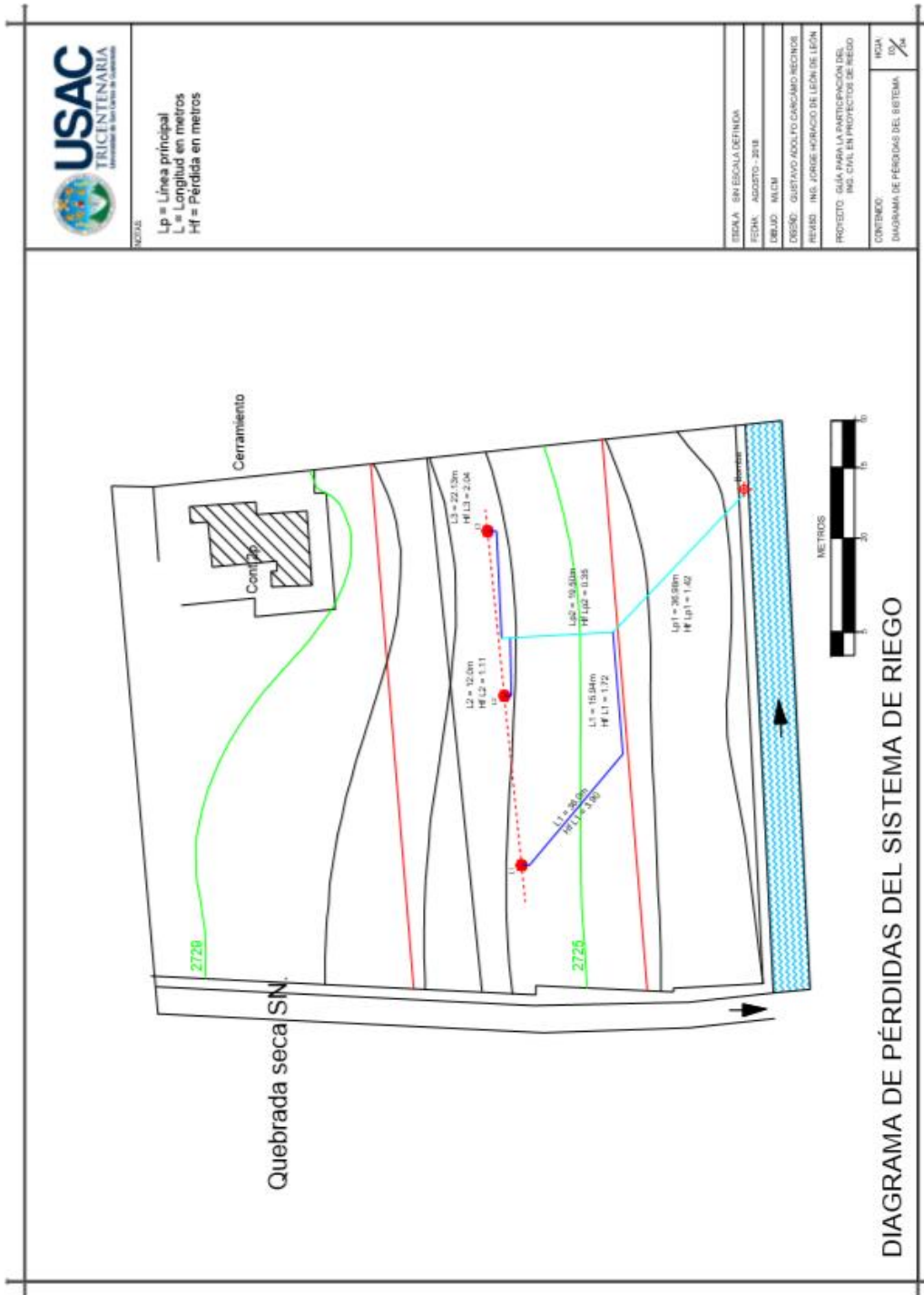
Apéndice 2. Planos sistema de riego



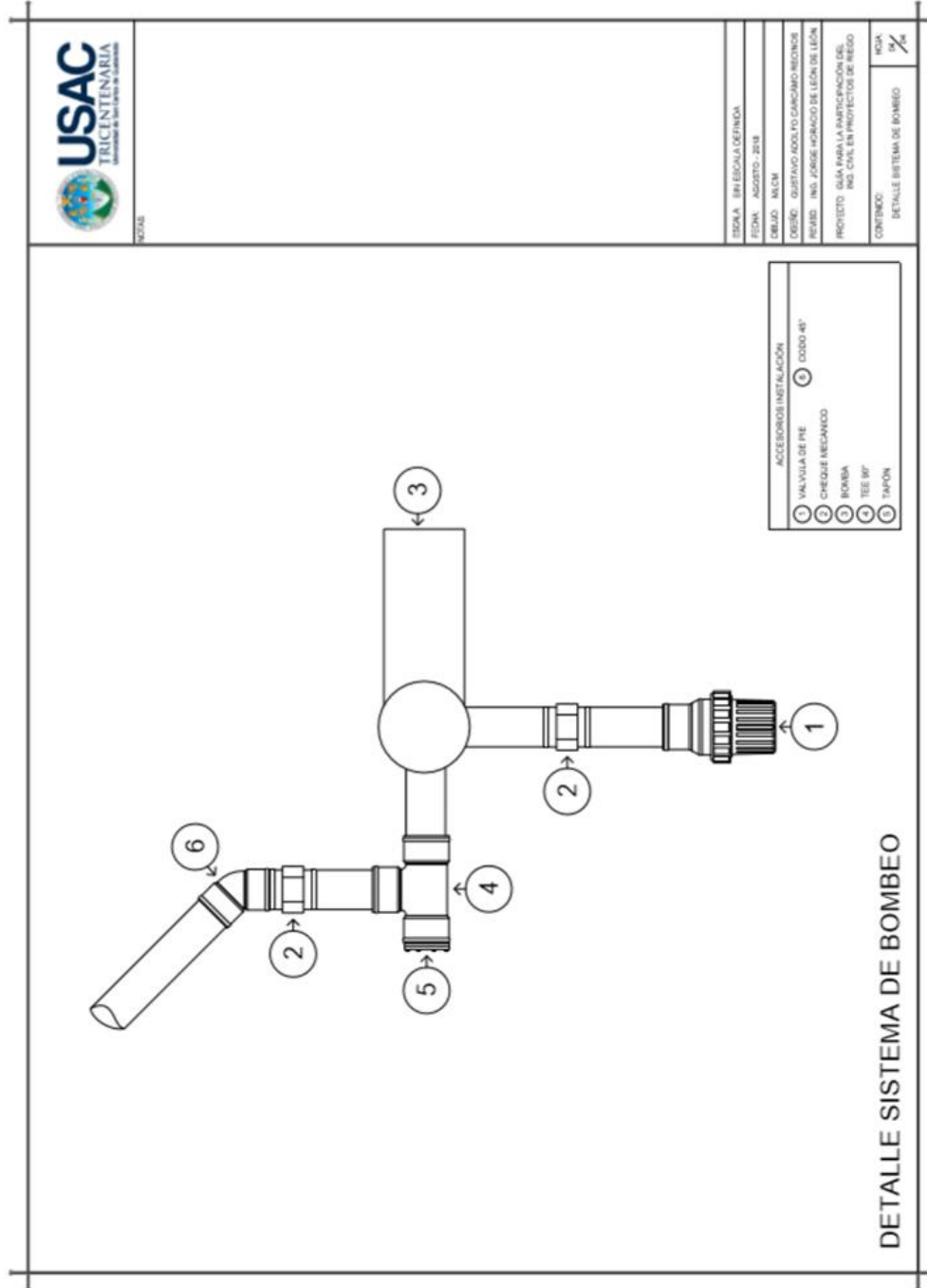
Continuación del apéndice 2.



Continuación del apéndice 2.



Continuación del apéndice 2.



Fuente: elaboración propia.

