

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



“Evaluación de un sistema de riego por goteo en el cultivo de ajo (*Allium Sativum*) y propuesta de mejoramiento en eficiencia de aplicación”

Por:

ALAN JOSUÉ RIVERA AMARO

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenvista; Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

"Evaluación de un sistema de riego por goteo en el cultivo de ajo (*Allium Sativum*) y propuesta de mejoramiento en eficiencia de Aplicación"

POR:

ALAN JOSUÉ RIVERA AMARO

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador Como

requisito parcial obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por:

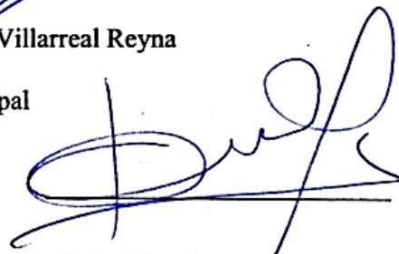
Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna

Asesor principal



Dra. Rosa Elvira Valdez Ramos

Coasesor



Dr. Jesús Ricardo Mercado Gutiérrez

Coasesor



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Coasesor



M.C. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la división de ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México Junio, 2022



DEDICATORIAS

A mis padres:

Alicia Amaro Castillo y **Alberto Rivera García**, por darme la vida, y principalmente por los valores que me inculcaron, por todo el amor que nos dan a mí y a mi hermana. Gracias a ellos he logrado uno de mis más grandes sueños. No me alcanzan las palabras para agradecerles su incondicional apoyo.

A mi hermana:

Ing. **Viridiana Stephany Rivera Amaro**, por el apoyo que me brindo a lo largo de toda mi vida universitaria, hemos aprendido que la unión nos hace fuertes como familia y que si uno se cae siempre estará el otro para ayudarlo a levantarse.

AGRADECIMIENTOS

A **dios**, por la experiencia que me brindo y por darme la fortaleza de concluir mis estudios.

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo merece reconocimiento especial mi **Madre** y mi **Padre** que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por hacerme sentir en un hogar, alimentarme, transportarme y por todas las vivencias en esta gloriosa institución.

Al **Dr. Fernando Augusto Villareal Reyna** agradezco enormemente por todos los conocimientos transmitidos teóricos y prácticos.

A todos los que conforman el **Departamento de Riego y Drenaje** por sus enseñanzas y experiencias en mi formación.

Al **Ing. Eduardo Fuentes Morales** por todo el apoyo brindado durante el levantamiento de datos en el rancho San Francisco.

A mis compañeros y amigos de la carrera **Karyme Yulem Guevara García, Rosa María Ortiz Márquez, Antonio de Jesús Ortiz Aldana.**

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE GRAFICAS	X
1. INTRODUCCIÓN	1
.2. OBJETIVO GENERAL	2
.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3. HIPÓTESIS	2
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 EL AJO	3
2.1.1. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL AJO	5
2.2. EL RIEGO	7
2.2.1. RIEGO POR GOTEO	8
2.2.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO POR GOTEO	9
2.2.1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RIEGO POR GOTEO	10
2.2.1.3. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	11
<i>Fuente de abastecimiento de agua.....</i>	<i>12</i>
<i>Cabezal de riego</i>	<i>13</i>
<i>Equipos de bombeo</i>	<i>14</i>
<i>Sistema de filtrado.....</i>	<i>17</i>

<i>Unidad de fertilización</i>	21
<i>Aparatos de control</i>	25
2.2.1.4. GENERALIDADES DEL DISEÑO DEL RIEGO LOCALIZADO	30
2.2.1.5. EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	31
2.2.1.6. EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	32
2.2.1.7. EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO POR GOTEO	33
2.2.1.8. EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN.....	35
2.2.1.9. EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	37
2.2.1.10. EFICIENCIA DE APLICACIÓN	39
2.2. ACOLCHADO	39
2.3. AUTOMATIZACIÓN	44
SENSOR DE NIVEL.....	48
PLC (PROGRAMADOR MÚLTIPLE Y COMPLEJO)	49
2.4. USO CONSUNTIVO	50
2.5. HUMEDAD APROVECHABLE.....	50
2.6. DÉFICIT PERMISIBLE DE HUMEDAD	52
2.7. LAMINA DE RIEGO D	52
2.8. EL INTERVALO DE RIEGO F'	53
2.9. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	53
2.9.1. CILINDROS INFILTRÓMETROS.....	54
2.10. EVAPORACIÓN POTENCIAL	54
3. MATERIALES Y MÉTODOS	55
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	55
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO	57
3.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
3.4. MÉTODOS	58

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1. RESULTADOS OBTENIDOS DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	62
4.2. APLICACIÓN DEL MÉTODO FAOPENMANMONTEITH	63
4.3. ANÁLISIS DE UNIFORMIDAD	64
5. CONCLUSIÓN	67
6. RESUMEN	70
7. LITERATURA CITADA	71
8. ANEXOS	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 DESCRIPCIÓN DE ETAPAS DE DESARROLLO DEL AJO ASÍ COMO SU REQUERIMIENTOS CLIMATOLÓGICOS (SENAMHI, JULIO 2019)	4
ILUSTRACIÓN 2 DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AJO EN EL MUNDO (FAOSTAT, 2017).	5
ILUSTRACIÓN 3 PRODUCCIÓN DE AJO EN EL MUNDO DURANTE EL PERIODO 2007- 2017 (FAOSTAT, 2017).	6
ILUSTRACIÓN 4 SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO (PROSAP, 2015)	12
ILUSTRACIÓN 5 MEMBRANA PARA ALMACENAR AGUA DE RIEGO (FUENTE PROPIA).	13
ILUSTRACIÓN 6 CABEZAL DE RIEGO DE LA MARCA KILEMA CON TODOS SUS ADITAMENTOS DE CONTROL (FUENTE NOVAGRIC)	13
ILUSTRACIÓN 7 TÍPICA BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL (FUENTE, JIMÉNEZ, 2017).	14
ILUSTRACIÓN 8 BOMBA CENTRÍFUGA VERTICAL (FUENTE, JIMÉNEZ, 2017).	15
ILUSTRACIÓN 9 BOMBA TURBINA VERTICAL (FUENTE, JIMÉNEZ, 2017)	16
ILUSTRACIÓN 10 BOMBA SUMERGIBLE (FUENTE, JIMÉNEZ, 2017).	17
ILUSTRACIÓN 11 FILTRO DE TIPO HIDROCICLÓN DE LA MARCA NETAFIM (FUENTE, NETAFIM)	18

ILUSTRACIÓN 12 BATERÍA DE FILTROS DE GRAVA Y ARENA DE LA MARCA YARDNEY (FUENTE PROPIA)	19
ILUSTRACIÓN 13 FILTRO DE MALLA DE CUERPO FABRICADO EN ACERO INOXIDABLE (FUENTE, TORO).	20
ILUSTRACIÓN 14 FILTRO DE ANILLOS DE LA MARCA AZUD (FUENTE PROPIA).	21
ILUSTRACIÓN 15 TANQUES DE 1000 LITROS PARA UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE FERTILIZANTE TIPO GABISH (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	22
ILUSTRACIÓN 16 CLÁSICO VENTURY PARA INYECCIÓN DE FERTILIZANTE (FUENTE INSUMOS DE RIEGO).	23
ILUSTRACIÓN 17 TANQUE DE FERTILIZACIÓN DE MARCA YAMIT (FUENTE CATALOGO YAMIT)	24
ILUSTRACIÓN 18 CAUDALIMETRO DE LA MARCA RIME (FUENTE: RIME).	26
ILUSTRACIÓN 19 CONTROLADOR DE LA MARCA RAIN BIRD (FUENTE RAIN BIRD).	27
ILUSTRACIÓN 20 TUBERÍA DE PVC (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	28
ILUSTRACIÓN 21 TÍPICOS EFECTOS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL CULTIVO BAJO RIEGO	38
ILUSTRACIÓN 22 ROLLO DE PLÁSTICO ACOLCHADO NEGRO PLATA CAL 90 DE 915 M DE LARGO POR 1.20 DE ANCHO (FUENTE AGRIPLASTIC)	40
ILUSTRACIÓN 23 ACOLCHADO INCOLORO (TRANSPARENTE) (FUENTE AGRIPLASTIC)	41
ILUSTRACIÓN 24 ACOLCHADO OSCURO (OPACIDAD TOTAL) (AGRIPLASTIC)	41
ILUSTRACIÓN 25 ACOLCHADO PLATA / NEGRO (BICOLOR) (FUENTE INAGRIMEX)	42
ILUSTRACIÓN 26 ACOLCHADO AGRÍCOLA METALIZADO (FUENTE OPTIGRUP)	42
ILUSTRACIÓN 27 ACOLCHADOS FOTOSELECTIVOS (MARRÓN O VERDE) (FUENTE AGROPLASTICS)	43
ILUSTRACIÓN 28 PLÁSTICOS BIODEGRADABLES PARA LA AGRICULTURA (FUENTE AGROPLASTICS).	44
ILUSTRACIÓN 29 CONTACTOR DE LA MARCA SIEMENS (FUENTE AUTYCOM)	46
ILUSTRACIÓN 30 MÉTODO DE CILINDROS INFILTRÓMETROS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	54
ILUSTRACIÓN 31 CARTA TOPOGRÁFICA G14-7 MONTERREY (SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL)	56
ILUSTRACIÓN 32 VALLE DE" SAN ANTONIO DE LAS ALAZANAS" SIERRA DE ARTEAGA COAHUILA	57
ILUSTRACIÓN 33 AFORO DE LAS LATERALES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	59
ILUSTRACIÓN 34 ESQUEMA DE TOMA DE AFOROS (FUENTE PROSAP, 2016)	60
ILUSTRACIÓN 35 MEDICIÓN DE LA PRESIÓN AL INICIO DE LAS LÍNEAS REGANTES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	60

ILUSTRACIÓN 36 CALCULO DE ETO POR EL MÉTODO FAO PENMAN-MONTEITH CON AYUDA DEL PROGRAMA CROPWAT	63
ILUSTRACIÓN 37 DIAGRAMA DE TABLERO	69
ILUSTRACIÓN 38 ILUSTRACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIA ACTUALMENTE CON DOS SUB-SECCIONES DE RIEGO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	69
ILUSTRACIÓN 39 PROPUESTA DE NUEVAS SUB-SECCIONES DE RIEGO PARA MEJORAR EFICIENCIA DE RIEGO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	69
ILUSTRACIÓN 40 PRIMERA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB-UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG	78
ILUSTRACIÓN 41 SEGUNDA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG	79
ILUSTRACIÓN 42 TERCERA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG	80
ILUSTRACIÓN 43 CUARTA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG	81
ILUSTRACIÓN 44 QUINTA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG	82
ILUSTRACIÓN 45 SEXTA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG	83

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 PRODUCCIÓN DE AJO EN MÉXICO POR ESTADOS EN 2018 (SIAP, 2018).....	6
TABLA 2 PARÁMETROS PARA DETERMINAR LA UNIFORMIDAD (FUENTE MERRIAM AND KELLER, 1978).	38
TABLA 3 SE MUESTRAN VALORES APROXIMADOS DE HUMEDAD APROVECHABLE (HA) PARA ALGUNAS CLASIFICACIONES DE SUELO (USD, 1964).....	51
TABLA 4 DATOS DEL COMPLEJO AGRÍCOLA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	57
TABLA 5 MUESTRA DE PLANTILLA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO	61

TABLA 6 RESULTADO DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	62
TABLA 7 AFOROS DE PRIMERA SUB-UNIDAD.....	73
TABLA 8 AFOROS DE SEGUNDA SUB-UNIDAD.....	73
TABLA 9 CÁLCULO DE LÁMINA DE REQUERIMIENTO.....	73
TABLA 10 PARÁMETROS USADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CUC DE LAS PRIMERAS 3 LECTURAS CON AYUDA DE EXCEL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	74
TABLA 11 PARÁMETROS USADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CUC DE LAS ÚLTIMAS 3 LECTURAS CON AYUDA DE EXCEL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	75
TABLA 12 PARÁMETROS USADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CUC DE LAS PRIMERAS 3 LECTURAS DE LA SEGUNDA SUB SECCION CON AYUDA DE EXCEL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	76
TABLA 13 PARÁMETROS USADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CUC DE LAS SEGUNDAS 3 LECTURAS DE LA SEGUNDA SUB SECCION CON AYUDA DE EXCEL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	77

ÍNDICE DE GRAFICAS

GRÁFICO 1 CURVA DE INFILTRACIÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	63
GRÁFICO 2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UNIFORMIDAD A LO LARGO DE LAS CAMAS AFORADAS PRIMERA SECCIÓN UNIFORMIDAD PROMEDIO 63.27% (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	64
GRÁFICO 3 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UNIFORMIDAD A LO LARGO DE LAS CAMAS AFORADAS DE LA SEGUNDA SECCIÓN UNIFORMIDAD PROMEDIO 82.14% (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	65
GRÁFICO 4 EFICIENCIA DE REQUERIMIENTO VS EFICIENCIA DE APLICACIÓN VS UNIFORMIDAD (PARA LA ELABORACIÓN DE ESTA TABLA SE USARON DATOS PROMEDIOS) (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	65
GRÁFICO 5 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LÁMINA DE RIEGO APLICADA EN EL PERFIL DEL SUELO CONTRA LAMINA REQUERIDA (EA=100%, ER=70.14% CUC=72.7%) (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	66

1. INTRODUCCIÓN

La importancia del agua para el desarrollo económico de un territorio es evidente. Sin embargo, al tratarse de un recurso limitado y en muchas zonas de México escaso, se hace necesario adoptar diversas estrategias para hacer más eficiente su uso.

México cuenta con una superficie aproximada de 18 millones de hectáreas usadas para la producción agrícola, de dicha superficie solamente un 22,9% está equipada para riego el cual depende en su gran mayoría de la extracción de agua subterránea, el resto es agricultura de temporal.

Aunado a lo anterior el 77% del agua concesionada en México es utilizada en la agricultura, por tal razón se hace urgente incrementar la eficiencia en el uso del recurso hídrico, con técnicas modernas tales como sistemas de riego localizados completamente automatizados ligados a un análisis RASPA (Relación Agua Suelo Planta Atmosfera).

En las últimas décadas el riego ha presentado notables avances como consecuencia de la introducción de nuevas tecnologías al campo, mejorando la gestión del recurso hídrico que a su vez es cada vez más limitado, así mismo al introducirlas se hace notar un incremento en el consumo energético, esto debido a los equipos utilizados, más específicamente a equipos de bombeo instalados en pozos profundos y rebombes, así como controladores, sensores, programadores entre otros. El uso de estos equipos de manera inconsciente por parte de los productores puede ocasionar un incremento notable en el costo de producción y a su vez reducir la eficiencia de aplicación de los sistemas de riego, malgastando toda la inversión tecnológica.

Debido a lo anterior se hace evidente la importancia no solo del uso de nuevas tecnologías en la distribución del recurso hidráulico si no también el choque cultura en el uso inconsciente de los equipos instalados.

.2. Objetivo general

Realizar una evaluación técnica de un sistema de riego manual por goteo en acolchado ya instalado en el cultivo de AJO (*Allium Sativum*) cuyo objetivo general es satisfacer el requerimiento del cultivo en base a la disponibilidad de los recursos naturales (suelo y agua), comparando Eficiencia de Requerimiento (ER) contra Eficiencia de Aplicación (EA) y volúmenes de bombeo, usando como referencia el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC).

.2.1. Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia de aplicación en un sistema de riego localizado a partir de la tasa de goteo promedio y de la velocidad de infiltración del suelo.
- Indicar con tablas y graficas los comportamientos de la eficiencia de aplicación, eficiencia de requerimiento y CUC.
- Proponer una metodología para la optimización del recurso hídrico

1.3. Hipótesis

Dado la manera de irrigar el cultivo del Ajo en la Región del valle de San Antonio de las Alazanas bajo el sistema de riego por goteo en surcos acolchados, considero que es una manera ineficiente ya que se maneja de forma manual sin considerar la relación agua suelo planta

atmosfera (RASPA) representando un excedente de humedad en el suelo perdiendo gran cantidad en volumen de agua. Con este antecedente considero que se puede incrementar la Eficiencia de Aplicación (EA) a través de un sistema automatizado que incluya sensores de humedad, para que su Intervalo y Duración del riego obedezcan a la deflexión de humedad permisible y no a un control manual.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 El Ajo

El ajo (*Allium Sativum*) es una especie tradicional clasificada dentro de la familia de las liliáceas pero que actualmente se encuentra en la de las amarilidáceas, proveniente de Asia es una planta perene con hojas planas y delgadas, el bulbo de piel blanca forma una cabeza dividida en gajos que comúnmente son llamados dientes cada uno de estos pueden dar origen a una nueva planta.

Taxonomía

Clase: Liliopsida

Subclase: Liliidae

Superorden: Liliianae

Orden: Amaryllidales

Familia: Alliaceae

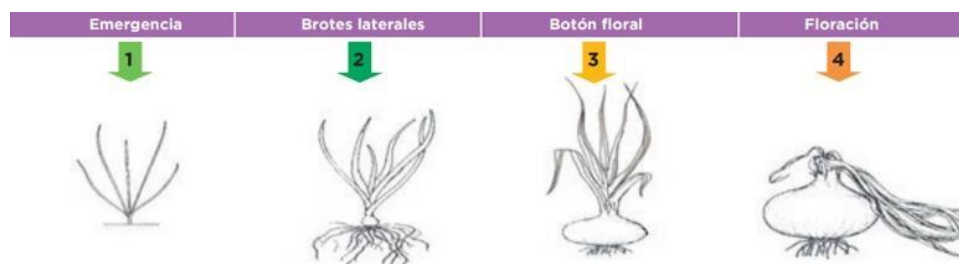
Subfamilia: Allioideae

Tribu: Allieae

Género: Allium

El ajo es una planta anual de reproducción vegetativa que al finalizar el ciclo de vida muere, quedando con vida las yemas que se forman en los dientes, mediante las cuales realiza su reproducción. Las raíces son adventicias y crecen del tallo verdadero, alcanzan una profundidad de 5-45 cm. El tallo es compuesto, presenta túnicas exteriores e interiores, disco o plato, tallo verdadero de la planta madre y dientes. Las hojas se forman después de terminado el estado de reposo de los dientes y constan de limbo y vaina en forma de canal (Cuba MINAG, 1983; Glaconi, 1993). El bulbo es el órgano donde se acumulan las sustancias nutritivas; túnicas externas envuelven el bulbo entero y las internas a los dientes, estos últimos se componen de túnica apergaminada, túnica carnososa, yema y tallo verdadero. Los dientes en el bulbo pueden ser simples o compuestos; los simples tienen una sola yema y los compuestos dos o más y su número en el bulbo o cabeza depende de la variedad (Cuba MINAG, 1983; Glaconi, 1993).

ILUSTRACIÓN 1 DESCRIPCIÓN DE ETAPAS DE DESARROLLO DEL AJO ASÍ COMO SU REQUERIMIENTOS CLIMATOLÓGICOS (SENAMHI, JULIO 2019).



- 1** **APARICION DE HOJAS:** Cuando después del trasplante las plántulas comienzan a brotar nuevas hojas de forma tubular que pueden variar entre 12 a 16 hojas dependiendo de la variedad.
- 2** **FORMACION DE BULBO:** Comienza cuando cesa la aparición de nuevas hojas y empieza la acumulación de reservas en el bulbo, el mismo que comienza a engrosar los catáfilos.
- 3** **BOTON FLORAL:** Aparecen los botones florales de la primera inflorescencia visible del tallo principal
- 4** **MADURACION INICIAL:** Los bulbos están desprovistos totalmente de sus hojas y listos para comercializar.

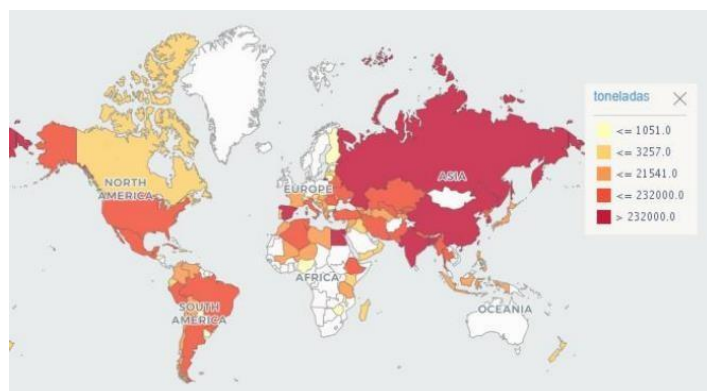
Periodo Fenológico	Crecimiento Vegetativo		Crecimiento reproductivo	
			Maduración	
Parte aérea	Aparición de hojas (1)	Formación del bulbo (2)	Maduración Inicial (3)	Maduración completa (4)
Parte radicular	Formación, desarrollo y crecimiento de raíces y tallos			
Ocurrencia de la fase (dds) ¹	50	50 - 90	90 - 110	110 - 140
Temperatura Óptima	18°C a 23°C	18°C a 23°C	18°C a 23°C	18°C a 25°C
Temperatura Crítica	< 15°C a 28°C >	< 15°C a 28°C >	< 15°C a 28°C >	< 15°C a 28°C >
Humedad óptima	65% - 80%	65% - 80%	65% - 80%	65% - 80%
Déficit hídrico	Sensible	Sensible	Tolerante	Tolerante

Cuenta con un ciclo vegetativo de 190 días con una siembra recomendada a partir del 15 de octubre pudiendo extenderse dicha fecha hasta diciembre, en cuanto a labores a realizar se tornan indispensables los riegos durante todo el ciclo debido a su raíz poco alargada se requieren riegos cortos y frecuentes con láminas pequeñas aplicadas directo en la zona radicular siendo el riego por goteo uno de los mejores métodos, deshierbes y manejo de plagas y enfermedades. Por otra parte, la aplicación de abonos orgánicos y composta funge como parte importante para un desarrollo vigoroso en el cultivo.

2.1.1. Importancia económica del ajo

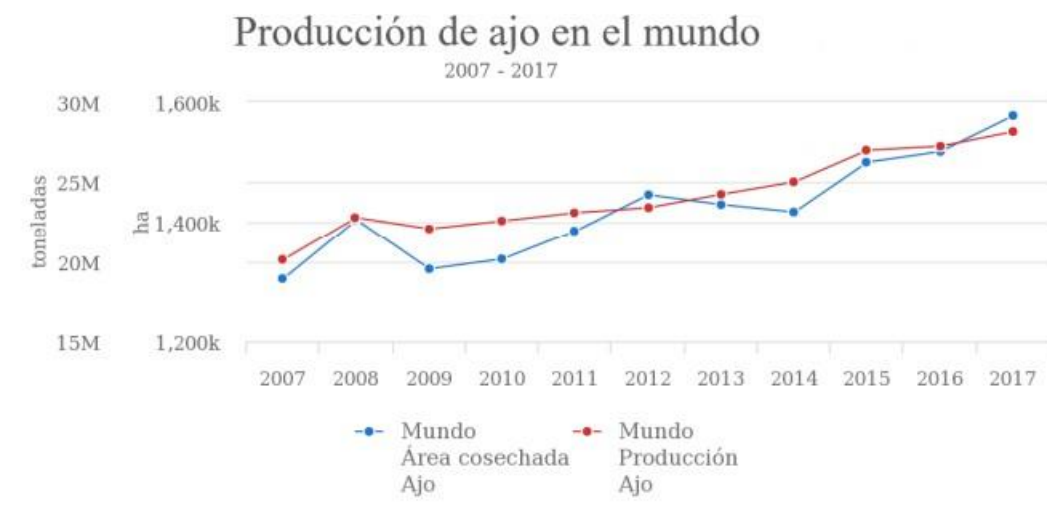
Esta planta ha sido cultivada alrededor del mundo desde épocas pasadas, y en la actualidad se cosecha en más de 100 países, sus principales productores son China con más de 21.1 millones de Toneladas, le sigue India con 1.4 millones y Bangladesh con 381 mil Toneladas al año (Ilustración 2).

ILUSTRACIÓN 2 DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AJO EN EL MUNDO (FAOSTAT, 2017).



Así mismo podemos observar que su importancia en los últimos 10 años ha incrementado ya que la superficie cultivada es cada vez mayor.

ILUSTRACIÓN 3 PRODUCCIÓN DE AJO EN EL MUNDO DURANTE EL PERIODO 2007- 2017 (FAOSTAT, 2017).



México ocupa el lugar número 20 en producción de ajo a nivel mundial (FAOSTAT, 2017). Tiene como principal estado productor a Zacatecas con 55,327 Toneladas de producción, seguido por Guanajuato y Sonora con 10,732 y 5,291 respectivamente (SIAP, 2018) (Cuadro1).

TABLA 1 PRODUCCIÓN DE AJO EN MÉXICO POR ESTADOS EN 2018 (SIAP, 2018).

Estado	Superficie cosechada (has)	Producción (tons)
Zacatecas	3,358	55,327
Guanajuato	981	10,732
Sonora	575	5,291
Puebla	526	4,132
Baja California	312	3,242
Nuevo León	253	2,613
Aguascalientes	135	1,694
Oaxaca	188	1,384
Veracruz	92	1,384
San Luis Potosí	126	1,320
Querétaro	95	814
Hidalgo	79	675
Chihuahua	48	351
Guerrero	75	291
Jalisco	19	279
Tlaxcala	41	153
Baja California Sur	8	75
Coahuila	6	58
Michoacán	4	22
Durango	1	6

El ajo ha tenido un incremento importante durante los últimos 10 años con una diferencia de 36 mil toneladas producidas desde el año 2009 al 2018, y un incremento de la superficie cultivada de 1, 461 hectáreas durante el mismo periodo (SIAP, 2018).

México aporta a estados unidos esta hortaliza con 14 mil toneladas, así como a Australia con 1,341, Brasil 947 y Francia con 475 toneladas; todo esto con un valor de 19 millones de dólares (FAOSTAT, 2017)

2.2. El riego

La tarea de irrigar es un arte tan antiguo como la propia existencia del hombre, esto es respaldado por las múltiples ruinas de riego encontradas en diversas regiones del mundo como lo son Egipto, Irán, China, India y España. En américa también existen indicios de que los habitantes de Perú, México y la parte suroeste de estados unidos practicaban el riego de tierras hace miles de años. Históricamente las civilizaciones han dependo para lograr su desarrollo de la agricultura bajo condiciones de riego y en muchas de esas mismas continúan ofreciendo la base agrícola de la sociedad.

Un buen ejemplo es la antigua civilización de la Mesopotamia la cual floreció en el valle de Tigris Éufrates hace 6000 años. En 2000 años el suelo se hizo tan salino que debido a la mala aplicación de la irrigación y a la ausencia de drenaje que a estas fechas no ha sido posible recobrar esas tierras para la agricultura.

Cuando se suministra agua en cantidades adecuadas y constantes en una región considerada árida se puede obtener buenos resultados en la producción agrícola, asegurándose así ganancias

y prosperidad para el agricultor. Sin embargo, con el tiempo. Sin unas prácticas agronómicas apropiadas que acompañen a la irrigación. Esas tierras se harán improductivas y estériles. Las prácticas agronómicas adecuadas pueden incluir drenaje, fertilización, rotación de cultivos, mejoras de suelo, control de erosión y la selección de las especies mejor situadas para las condiciones locales.

Todas esas consideraciones deben ser integrales dentro de la práctica de la irrigación para lograr el óptimo potencial de la agricultura bajo riego.

2.2.1. Riego por goteo

Medina, define el riego localizado como un medio artificial de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos de forma que ésta pueda ser utilizada al máximo. Riego por goteo es aquel sistema que mantiene el agua en la zona radicular en condiciones de uso más favorables para la planta, aplica el agua gota a gota. Por su parte Fuentes Yagüe, menciona que el riego por goteo es llamado también riego localizado y que es la forma de aplicar agua gota a gota a la zona radicular de los cultivos sin necesidad de mojar toda la superficie del suelo.

El principio hidráulico de estos sistemas es que genera un bulbo de humedad provocado por la fuerza gravitacional (movimiento vertical), y las fuerzas axiales horizontales provocando una figura en donde la descarga del emisor es como la punta de un iceberg.

La deflexión permisible de humedad (DPH) en el suelo es la variable más importante en la programación de este tipo de riegos ya que se tiene la facilidad de dar pequeñas tazas de precipitación con intervalos cortos y depende de la resistencia que presente el cultivo en su

fisiología vegetal al estrés dentro del rango de la humedad aprovechable, es decir el DPH es un balance entre la capacidad de retención de humedad del suelo y la evapotranspiración potencial del cultivo con respecto al tiempo, variables determinadas por propiedades físicas mecánicas tanto del suelo como de la adaptación del cultivo.

Los sistemas modernos se les han llamado automatización múltiple y compleja a aquellos que relacionan o interactúan las variables RASPA y el mecánico hidráulico de riego.

Estos sistemas, aunque son muy eficientes presentan un gran riesgo a su uniformidad ya que dependen de una excelente calidad del agua, que el taponamiento provocado por un mal filtrado o las sales presentes en la calidad del agua dejan en estado de indefensión a los cultivos.

A mayor eficiencia en el uso del agua de riego mayor infraestructura de equipos de filtrado e inyección de nutrientes requiere, provocando unos altos costos de inversión inicial. Si no se tiene este contexto muy claro puede resultar contra productores estos sistemas ya que no hay forma de irrigar al cultivo, y resultando económicamente incosteable.

Los sistemas automatizados georreferenciados vía satelital son la última expresión de la ingeniería ya que combinan desde la electrónica, la biología, las variables climatológicas, los sistemas mecánico-hidráulicos tanto de bombeo como riego a través de un modem de internet.

2.2.1.1. Características del riego por goteo

Las condiciones que hacen posible establecer un sistema de riego por goteo están determinadas por:

Cultivo: el riego por goteo se emplea principalmente a frutales y hortalizas.

Suelo: por su particularidad este sistema de riego, desde suelos poco profundos hasta suelos con erosión.

Pendiente: Es posible utilizar este sistema en cualquier tipo de terreno con difícil topografía con pendientes pronunciadas.

Gastos: Los gastos aplicados por este sistema son relativamente pequeños (Rojas et al, 2001).

2.2.1.2. Ventajas y desventajas del riego por goteo

Ventajas

1. Se puede utilizar en todos los cultivos producidos en hileras.
2. Cuenta con una alta eficiencia en el uso del agua.
3. Se puede utilizar en terrenos con topografía difícil.
4. No es afectado por el viento.
5. Se puede utilizar en zonas donde no se cuenta con alta disponibilidad hídrica.
6. Debido a que el área de mojado es pequeña se evita el crecimiento de malas hierbas.
7. No provoca erosión.

Desventajas

1. Debido a sus pequeños orificios con los que cuentan sus emisores es fácil el taponamiento si no se cuenta con un buen equipo de filtrado.
2. Al ser un sistema que requiere de cuidados específicos su costo inicial es alto.

2.2.1.3. Componentes de un sistema de riego por goteo

De acuerdo con Fuentes Yagüe, un sistema de riego por goteo se compone de los siguientes elementos:

- Equipo de bombeo o gravitacional
- Sistema de filtrado
- Equipo de fertilización
- Red de distribución de agua
- Goteros
- Dispositivos de control
- Equipo de automatización alámbrica o satelital vía internet

El sistema de riego por goteo es un método utilizado en su mayoría en las zonas áridas ya que debido a sus características permite la distribución del agua de manera controlada aplicándola a través de emisores que entregan pequeños volúmenes de agua de forma periódica directamente en la zona radicular del cultivo haciendo uso de manera eficiente del líquido vital y facilitando la aplicación de fertilizantes. Este transporte se lleva a cabo a través de tuberías y mangueras las cuales requieren presión, dicha presión puede ser generada por la pendiente del terreno o bien en la mayoría de los casos es utilizado un equipo de bombeo y desde ahí se conduce el agua hasta la zona radicular del cultivo regando así de manera localizada y mejorando su rendimiento.

ILUSTRACIÓN 4 SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO (PROSAP, 2015)



Fuente de abastecimiento de agua

El abastecimiento de los sistemas de riego puede provenir de diferentes fuentes desde aguas subterráneas extraídas a la superficie mediante bombas de pozo profundo, aguas superficiales recolectadas en cuencas y almacenadas en presas o distritos de riego, Aguas residuales previamente tratadas con la finalidad de ser utilizadas en el campo. Para cualquiera de los casos el agua se almacena en reservorios artificiales como pilas, membranas, embalses entre otros, con la finalidad de contar con su disponibilidad las 24 horas y de esta manera poder satisfacer la necesidad hídrica de los cultivos. La dimensión de estos reservorios depende de la superficie a regar ya que su función es abastecer el sistema de forma permanente durante el ciclo del cultivo evitando el sometimiento a estrés hídrico.

ILUSTRACIÓN 5 MEMBRANA PARA ALMACENAR AGUA DE RIEGO (FUENTE PROPIA).



Cabezal de riego

Se llama cabezal de riego al conjunto de elementos que dominan toda la instalación, siendo este el encargado de proveer la presión y el caudal necesarios, así como de filtrar e inyectar fertilizantes, medir volúmenes y presiones ya sea de manera manual o automática.

ILUSTRACIÓN 6 CABEZAL DE RIEGO DE LA MARCA KILEMA CON TODOS SUS ADITAMENTOS DE CONTROL (FUENTE NOVAGRIC).



Equipos de bombeo

El equipo de bombeo se constituye de una bomba y su motor, a su vez una estación de bombeo se constituye por uno o más equipos de bombeo, estos son los encargados de suministrar el gasto y presión necesaria al sistema, su dimensión y caballaje se verán seleccionados por la superficie a regar, estas deben ser tales que la presión requerida sea suficiente para vencer la diferencia de cotas, así como las pérdidas de carga en la tubería. Las más comunes para presurizar sistemas de riego son de tipo centrifuga ya sea de eje horizontal, eje vertical y las sumergibles.

Las bombas centrifugas de eje horizontal las hay de un solo paso, provistas de un solo impulsor y bombas de paso múltiple, provistas de varios impulsores, en este tipo de bombas se hace necesario cebar la tubería de succión antes de ser operada; normalmente son empleadas en cárcamos con carga estática en la succión pequeña. La mayoría de estas bombas emplean una eficiencia mecánica que va de un 40%-70%.

ILUSTRACIÓN 7 TÍPICA BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL (FUENTE, JIMÉNEZ, 2017).



Las bombas centrífugas verticales poseen características similares a las bombas centrífugas horizontales incluso su eficiencia (menos al 70%).

ILUSTRACIÓN 8 BOMBA CENTRÍFUGA VERTICAL (FUENTE, JIMÉNEZ, 2017).



Las bombas de turbina vertical desarrollan fácilmente una eficiencia mecánica mayor al 80 %. Es común que, este tipo de bomba pueda vencer una carga dinámica mayor de 250 metros, con una eficiencia mecánica de hasta el 85 por ciento. El motor se instala al nivel del terreno natural, transmitiendo su potencia, mediante una flecha vertical (puede ser lubricada con agua o aceite), hasta la bomba que se encuentra suspendida en el extremo inferior de dicha tubería, la tubería de descarga es perpendicular a la flecha, el motor de la bomba se coloca a una altura tal que queda a salvo de inundaciones.

ILUSTRACIÓN 9 BOMBA TURBINA VERTICAL (FUENTE, JIMÉNEZ, 2017).



Las bombas sumergibles se pueden emplear en cárcamos y en pozos profundos. El cuerpo de los impulsores tiene acoplado un motor de alta velocidad de rotación, de 3500 rpm o mayor, por esta razón, los impulsores se fabrican con material de alta resistencia como el acero inoxidable. No se recomienda su uso cuando el agua presenta alta concentración de sólidos en suspensión como la arena. El motor eléctrico y la bomba queda totalmente sumergido en el agua del pozo o del estanque; por lo que es necesario un conductor totalmente aislado el cual comúnmente es cable sumergible.

ILUSTRACIÓN 10 BOMBA SUMERGIBLE (FUENTE, JIMÉNEZ, 2017).



Sistema de filtrado

La estación de filtrado funge como una parte clave del sistema de riego ya que, si esta no hace su función bien, existirán problemas de taponamiento por obstrucción de partículas minerales, materia orgánica o precipitados.

El sistema de filtrado puede ser implementado desde antes de salir del reservorio ya sea que este sea de pozo profundo o de represas, esto con la finalidad de evitar que el reservorio se ensucie y facilitar más adelante el filtrado para el fertilizado.

Filtros de tipo Hidrociclón

Comúnmente los primeros filtros propuestos son de tipo Hidrociclón o también llamados desarenadores usados para la separación de arena y grava consiguiendo separar hasta un 98% de las partículas superiores a 100 micrones. Estos cuentan con un cuerpo metálico en forma cónica y un pequeño reservorio en la parte inferior con la función de almacenar las gravas y arenas segregadas por el filtro.

ILUSTRACIÓN 11 FILTRO DE TIPO HIDROCICLÓN DE LA MARCA NETAFIM (FUENTE, NETAFIM)



Filtros de grava y arena

Los filtros de grava y arena son colocados antes o después del reservorio, son tanques metálicos que contienen en su interior arena o grava tamizadas de un determinado tamaño, filtrando así el agua que pasa por ellos, de acuerdo con la cantidad de agua necesaria a filtrar será el número de filtros requeridos siendo instalados en par y tercios, el tamaño de ellos podría

variar según los lps requeridos. Una ventaja del uso de este tipo de filtros es la posible automatización para su retro lavado, facilitando así su manejo. Es importante señalar que a mayor cantidad de filtrado mayor pérdida de carga y mayor potencia provocado un consumo de energía mayor.

ILUSTRACIÓN 12 BATERÍA DE FILTROS DE GRAVA Y ARENA DE LA MARCA YARDNEY (FUENTE PROPIA)



Filtros de mallas

Los filtros de mallas pueden ser metálicos o de plástico, estos contienen en su interior un cartucho cilíndrico con una malla metálica o plástica, esta puede ser de diferentes diámetros u orificios, el tamaño de los orificios de la malla se define por el número de aperturas por pulgada cuadrada lineal, a esto se le denomina mesh (Un mesh es el número de orificios por pulgada cuadrada), siendo 140-150 mesh el recomendado para el riego por goteo.

***ILUSTRACIÓN 13 FILTRO DE MALLA DE CUERPO FABRICADO EN ACERO INOXIDABLE
(FUENTE, TORO).***



Filtros de Anillos

Los filtros de anillos son similares a los de malla con la diferencia en el interior de que, en lugar de contar con un cilindro con malla filtrante, este cuenta con una serie de anillos con ranuras en ambas caras que superpuestos forman los conductos de paso del agua. Generalmente se utilizan para el filtrado de la mezcla de fertilizantes.

ILUSTRACIÓN 14 FILTRO DE ANILLOS DE LA MARCA AZUD (FUENTE PROPIA).



La selección de cualquier tipo de filtro siempre se verá ligado a la naturaleza, cantidad de sedimentos y sustancias orgánicas que contenga el agua a filtrar siendo los más utilizados tanto los de grava y arena, así como los de anillos en este tipo de sistemas.

Unidad de fertilización

Compuesto por dos partes esta sección es la encargada de inyectar al sistema de riego los fertilizantes previamente seleccionados.

La primera parte está constituida por los depósitos de almacenamiento los cuales son tanques de polietileno, fibra de vidrio o fibrocemento capaces de resistir la corrosión, el tamaño depende de la necesidad del sistema. Por lo general son de 200 a 1000 litros.

ILUSTRACIÓN 15 TANQUES DE 1000 LITROS PARA UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE FERTILIZANTE TIPO GABISH (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).



La segunda parte consiste en la inyección de los fertilizantes al sistema, esta puede llevarse a cabo de diferentes maneras y por diferentes dispositivos. Algunos ejemplos de estos y los más populares son:

Ventury

El Ventury es uno de los sistemas más utilizados para el ferti-riego debido a su fácil manipulación, así como sus precios accesibles en el mercado y larga duración. Consta de una pieza en forma de T con un estrechamiento en la parte central, la cual ayuda para acelerar la velocidad del agua provocando así una depresión que succiona la solución fertilizante, inyectándola en la tubería. Esta requiere de una presión mínima de 15 mca para su correcto funcionamiento y representa una pérdida de carga de aproximadamente un 20%, debido a esto

es necesario en muchos de los casos la utilización de un equipo de bombeo adicional para suministrar al sistema la presión que pierde durante esta acción.

ILUSTRACIÓN 16 CLÁSICO VENTURY PARA INYECCIÓN DE FERTILIZANTE (FUENTE INSUMOS DE RIEGO).



Tanques de fertilizado

Los tanques de fertilizado constan de tanques conectados en paralelo a la red, en su interior se encuentra la solución fertilizante. Se encuentran sometidos a la misma presión que el resto del sistema por lo tanto son estacionarios. El material de estos varia de plástico o de fibra de vidrio, en ambos casos resistentes a corrosión, el funcionamiento basado en la instalación de válvulas (una en la entrada y otra en la salida) encargadas de generar una diferencia de presión

en el sistema y así inyectar la solución fertilizante, utilizando una mínima de 3 mca de pérdida de carga para su funcionamiento.

ILUSTRACIÓN 17 TANQUE DE FERTILIZACIÓN DE MARCA YAMIT (FUENTE CATALOGO YAMIT)



Inyectores

Los inyectores son dispositivos que no se encuentran sometidos a presión de la red de flujo, la solución fertilizante se inyecta al sistema mediante motores convencionales o mediante bombas de accionamiento hidráulico. Constan de una bomba de pistón o diafragma, en el caso de la primera se puede calibrar para inyectar la cantidad de fertilizante necesaria.

Aparatos de control

La importancia de contar con este tipo de dispositivos radica en mantener un control sobre el sistema y detectar cualquier tipo de inconveniente de manera rápida evitando un mal desempeño de este.

Los manómetros son dispositivos que tiene como objetivo medir la presión a la que está sometido un sistema cerrado, el uso de estos es necesario debido a la importancia de mantener un control en la red de distribución, las localizaciones de estos pueden variar. Los más usados en campo son los de glicerina debido a que cuentan con una precisión mayor a los secos.



Los caudalímetros son dispositivos encargados de realizar un conteo de flujo instantáneo, así como de volumen escurrido, la finalidad de estos es que el operador mantenga una bitácora con

los flujos y volúmenes aplicados, para facilitar un control de los gastos hídricos hechos por sección de riego y en general del sistema.

ILUSTRACIÓN 18 CAUDALIMETRO DE LA MARCA RIME (FUENTE: RIME).



Controlador de riego

El controlador de riego no es absolutamente necesario, sin embargo, presenta ventajas como lo son:

- Mejor control de frecuencia de riegos y láminas
- Programación de retro lavado de filtros y fertilización
- Control de fallas y averías
- Almacenamientos de datos de riego
- Ahorro en tareas manuales

Son instalados en el cabezal de riego encargado de manejar las operaciones de riego de manera secuencial, funciona con válvulas solenoides conectadas al controlador y a cada válvula de campo por medio de mandos hidráulicos. De esta manera cada una de las válvulas inicia y finaliza el riego en función del controlador.

ILUSTRACIÓN 19 CONTROLADOR DE LA MARCA RAIN BIRD (FUENTE RAIN BIRD).



Tubería de conducción

Las tuberías más empleadas son de polycloruro de vinilo (PVC) y de polietileno. El diámetro dependerá del caudal necesario a distribuir siendo la tubería principal la más grande pudiendo alcanzar diámetros superiores a 200 mm y las líneas secundarias pudiendo variar de 50 a 110 mm.

La tubería también es clasificada según la presión a la que puede ser sometida habiendo clases con poca presión como lo son las de clase 4, el número hace referencia a una presión de trabajo de 4 kilogramos fuerza/cm² y extendiéndose hasta clase 16.

ILUSTRACIÓN 20 TUBERÍA DE PVC (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).



Cabezal de campo

Consta de válvulas que se instalan en el campo al inicio de cada sección de riego estas pueden ser simples de tipo esféricas para su operación manual o hidráulicas. En esta última la presión hidráulica es la encargada de accionar el diafragma dando paso al flujo o cerrándolo, pudiendo ser accionadas de manera manual o bien por mandos hidráulicos o electrónicos.

Lateral de riego

Las laterales de riego son las ubicadas dentro del cultivo a lo largo de las hileras de la planta también llamadas porta emisores, su diámetro es comúnmente de 16 y 20 mm en función del gasto a distribuir y la longitud de las hileras siendo la máxima recomendable de 100mts. Echas de polietileno de baja densidad resistente a corrosiones y de fácil manipulación son las encargadas de hacer llegar el agua de la tubería principal y o secundaria a la base del tallo del cultivo.

Emisores

Son los elementos que producen y controlan la salida de agua desde los laterales. Lo más usual es que los emisores estén situados a lo largo de las laterales distribuidas a ciertas distancias unos de otros, por lo que la salida del agua se produce de manera discreta formando bulbos húmedos, sin embargo, el agua también puede aplicarse de forma continúa creándose una banda humedecida en el suelo (Fernández, 2010).

Son dispositivos instalados a lo largo de la lateral encargados de controlar la salida del agua. Estos deben contar con ciertas características como lo son:

- Caudal uniforme y poco sensible a la variación de presión
- Poca sensibilidad a las obturaciones
- Elevada uniformidad de fabricación
- Resistencia de productos químicos y al ambiente
- Costo reducido
- Estabilidad de la relación caudal-presión en su vida útil

- Pérdida de carga reducida en sus conexiones
- Resistencia al ataque de roedores e insectos

Los emisores se clasifican en tres grupos según sus características

Goteros: existe en el mercado una gran cantidad de goteros de diferentes formas y configuraciones para disipar la presión siendo los más utilizados los de tipo laberinto y tipo vortex, estos por sus características que proporcionan de manera ideal el agua.

Cintas: poseen múltiples emisores a lo largo de la cinta, el espaciado entre emisores se ve seleccionado según la demanda del cultivo o el diseño del sistema de riego, trabajan con presiones inferiores a 10 mca y debido a que el material es muy delgado pose un bajo costo siendo una de las más utilizadas en el sector.

Los emisores pueden contar o no con mecanismos de regulación de presión siendo su clasificación los Auto compensados capaces de regular el caudal, aunque la presión varíe y los No-compensados que como su nombre lo indican no poseen mecanismos de regulación de caudal haciéndolos más económicos y a su vez menos precisos si la presión llega a variar dañando así la uniformidad de aplicación.

2.2.1.4. Generalidades del diseño del riego localizado

Bautista et al. (2006), afirma que el diseño de un sistema de riego localizado debe contemplar dos aspectos: el agronómico y el hidráulico.

Para el diseño de un sistema de riego localizado es necesario obtener antes la siguiente información:

1. Plano del lote

2. Textura del suelo
3. Marco sugerido de plantación
4. Lámina requerida de riego
5. Profundidad radicular del cultivo a establecer
6. Datos del emisor propuesto
7. Características del equipo de bombeo a utilizar
8. Intervalos de riego
9. Gasto disponible
10. Tiempo disponible para el riego
11. Calidad de agua

Los aspectos agronómicos por calcular son la dosis de agua requerida en el periodo de máxima demanda, así como definir el número de emisores por cama y el tiempo de operación del riego.

2.2.1.5. Evaluación de un sistema de riego por goteo

Mendoza (2013), menciona que los sistemas de riego bien diseñados y operados pueden garantizar un buen resultado en la producción y económico, no obstante, es de igual manera importante la conservación de la capacidad del sistema, es por eso por lo que se vuelve de suma importancia el monitoreo constante del funcionamiento del sistema a fin de detectar y corregir oportunamente las eventuales fallas y deficiencias que puedan presentarse y así evitar riesgos en el desarrollo del cultivo.

Mediante una evaluación del sistema de riego se puede comprobar el correcto funcionamiento de este, de forma que se esté cumpla el requerimiento hídrico del cultivo.

Algunos de los puntos para tener en cuenta a la hora de realizar la evaluación son:

1. Comprobar el estado de los diferentes componentes de la instalación y si el manejo de estos es el adecuado.
2. Determinar la uniformidad en la distribución del agua de riego.
3. Evaluación del manejo de riego
4. Determinación de la calidad de las tuberías.

Al evaluar los sistemas de riego por goteo se recoge información acerca de: La eficiencia del sistema, la uniformidad de distribución del agua de riego, uniformidad de caudales, uniformidad de presiones y manejo del sistema.

2.2.1.6. Evaluación de los componentes del sistema de riego por goteo

Los aspectos fundamentales para evaluar en un riego localizado son el buen funcionamiento de los distintos equipos, componentes, piezas, etc. Que en su conjunto forman parte de la instalación de riego (Fernández, 2010).

Es necesario revisar el estado en el que se encuentran los filtros del sistema de riego, desde lo general como lo es la localización hasta lo específico como capacidad de filtrado.

Por otra parte, también es de suma importancia revisar el buen funcionamiento del equipo de fertilización ya que un mal manejo de este puede ocasionar obturaciones o taponamientos en las laterales de riego.

Los elementos de control, reguladores, válvulas entre otros. Que permiten mantener un control y llevar un manejo de manera más sencilla, pueden ayudar a detectar fugas en el sistema y prevenir incidentes por el mal manejo del sistema.

Cuando se evalúan las unidades de riego se toma en cuenta el número de subunidades y la superficie de cada una de ellas, es de gran ayuda ilustrar en donde hay equipos de control como caudalímetro, manómetros etc.

Por último, se consideran las laterales de riego con sus emisores. De estos es necesario señalar sus diámetros, calibres espaciado gasto nominal utilizado y presión de operación.

2.2.1.7. Evaluación de la uniformidad del riego por goteo

El coeficiente de uniformidad en los sistemas de riego presurizados a comparación de los sistemas de riego tradicionales presenta ventajas, de lo que se destaca elevada eficiencia de uso de agua. A pesar de esto se hace necesario la evaluación de la uniformidad de aplicación debido a que desde el punto de vista agronómico como hidráulico se requiere de un mantenimiento adecuado para un correcto funcionamiento.

La uniformidad de riego es un parámetro que caracteriza a todo sistema de riego, desde el diseño hidráulico hasta su mantenimiento en el tiempo.

Fernández (2010), señala que en un sistema de riego localizado es muy importante conocer que el agua de riego, los fertilizantes y demás productos fitosanitarios que se incorporen a ella se están aplicando de manera uniforme. Cuando la uniformidad de aplicación es baja se tiene un problema el cual se ve reflejado en plantas con crecimiento no uniforme. También dice que el sistema de riego por goteo, el parámetro que nos indica un adecuado funcionamiento, es el coeficiente de uniformidad.

Para evaluar la uniformidad de un sistema de riego localizado, se elige la unidad de riego más representativa de la instalación, tiene que ser una unidad de tamaño medio y con una

pendiente que represente la media de la instalación, que este situada a ser posible en una zona central y cuyos laterales tengan una longitud media. Si se considera necesario, se tomará también la unidad que presente las condiciones más desfavorables, es decir, la unidad más alejada o cercana al cabezal de riego según la pendiente, con laterales o tuberías terciarias más largas con pendientes mayores.

Una vez elegida la unidad a estudiar se elige la subunidad usando el mismo criterio, primero se determinará el coeficiente de uniformidad de la subunidad y posteriormente a la unidad de riego. Para evaluar la uniformidad en campo se utilizan dos coeficientes: coeficiente de uniformidad de caudales y coeficiente de uniformidad debido a presiones. Si las unidades son poco uniformes en superficie y/o forma, la evaluación se deberá hacer en todas y cada una de ellas y con el mismo criterio se deberá operar en las subunidades de riego. Al terminar la instalación de riego deberá medirse la uniformidad en todas las unidades (Fernández, 2010).

La falta de uniformidad en un sistema de riego por goteo de debe principalmente a:

De tipo constructivo: procesos de fabricación de los materiales en los cuales se ven afectados los productos disminuyendo su calidad y así afectando en su rendimiento proporcionando diferente volumen a una misma presión de trabajo.

Errores en el diseño: Un inadecuado diseño del sistema, en especial de filtrado incide directamente en la obstrucción de los emisores. Así mismo fallas en el diseño hidráulico de tuberías y laterales pueden someter el sistema a diferentes pérdidas de carga y variación de presiones no acordes al emisor seleccionado.

Obstrucciones: Es uno de los principales problemas que se llega a presentar en las instalaciones de riego. Estas obstrucciones pueden ser producidas por causas físicas (sólidos en suspensión), químicas (Salinidad) y biológicas (algas, microorganismos y bacterias).

2.2.1.8. Evaluación de uniformidad de distribución

Los sistemas de riego deben distribuir el agua uniformemente en toda la superficie regada, de manera que todas las plantas reciban la misma cantidad y a su vez esta sea adecuada para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo durante los intervalos del riego.

La uniformidad de emisión es la prueba de campo expresada en porcentaje, de carga mínima promedio del emisor de la cuarta parte de los datos más bajos, con respecto a la descarga promedio. La principal causa por la que los emisores presentan diferencia de caudales es fundamentalmente a que están sometidos a diferentes presiones (Factores hidráulicos) y a falta de uniformidad en la fabricación (Factores constructivos). (Fuentes, 1999).

El coeficiente de uniformidad de emisión se define como la relación promedio de los cuartos emisores más bajo de las muestras entre el promedio de todas las muestras (Merriam and Keller, 1978).

Expresión de E_u que incluye solo factores hidráulicos es el siguiente:

$$E_u = \frac{q_{25}}{q_a} \times 100$$

Donde:

q_a = es el caudal medio de una instalación de riego en LPH

q_{25} es el caudal medio de los emisores que constituyen el 25% que erogaron el más bajo caudal en LPH.

La metodología fue aplicada y desarrollada por Karmeli y Keller (1976) y mencionada por García y Briones (1986), para evaluar uniformidad de emisión.

Para calcular el coeficiente de uniformidad de caudales, se elige un número determinado de emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad de riego representativa del conjunto de la instalación. En general, se recomienda seleccionar 16 emisores para calcular este coeficiente. Para ello, se eligen los laterales, más cercanos y más lejano de la unión del múltiple y la tubería secundaria y los dos emisores (a 1/3 y 2/3 de la longitud del múltiple medido desde la toma) (Mendoza, 2013).

En cada lateral se seleccionan 4 emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el más cercano y el más lejano de la toma del múltiple. Y los dos e intermedios (a 1/3 y 2/3 de la longitud del lateral medido desde la toma).

Con los datos de caudal obtenidos en cada uno de los emisores se calcula la media de los caudales de los emisores que representan el 25% con el más bajo caudal ($Q_{25\%}$) y se calcula la media de todos los emisores (Q_m).

$$Eu = \frac{q_{25}}{q_m} \times 100$$

Donde:

q_m es el caudal medio de los emisores considerados en LPH

q_{25} es el caudal medio de los emisores que constituyen el 25% que erogaron el más bajo caudal

en LPH.

2.2.1.9. Evaluación del coeficiente de uniformidad

El coeficiente de uniformidad se utiliza para evaluar las instalaciones en funcionamiento y para el diseño de nuevas instalaciones. En el diseño, el CU es una condición que se impone y que viene detenida por factores económicos. Un CU elevado exige mayor costo inicial de la instalación, mientras que un CU bajo trae como consecuencia un mayor consumo de agua (Fuentes, 1999).

Los coeficientes de uniformidad de agua como los propuso originalmente Christiansen (1942), para riego por aspersión, mencionados por Tijerina (1999), dentro de los factores que afectan al coeficiente de uniformidad de aplicación del agua, de encuentran los factores intrínsecos del diseño hidráulico de los sistemas de riego, los factores climáticos y factores de funcionamiento.

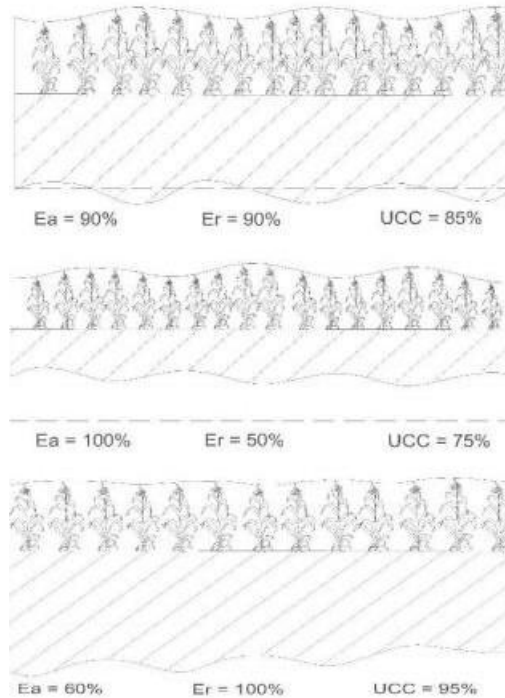
Ese concepto de uniformidad es comúnmente Coeficiente de Uniformidad de CHRISTIANSEN (CUC) el cual es expresado por:

$$UCC = \frac{\sum_{i=1}^N |Y_i - \bar{Y}|}{N\bar{Y}}$$

Donde $\sum_{i=1}^N |Y_i - \bar{Y}|$ es la suma del valor absoluto de las desviaciones de las observaciones individuales (Y_i) del promedio de las observaciones (\bar{Y}), y N es el número de observaciones.

La significancia del coeficiente de uniformidad y el de los dos parámetros de eficiencia (E_a y E_r) es ilustrada en la siguiente figura, asumiendo que carece de pérdidas por escurrimiento (Hansen, 1960.)

**ILUSTRACIÓN 21 TÍPICOS EFECTOS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL CULTIVO
BAJO RIEGO**



En cuanto a la eficiencia de riego es indispensable tener un indicador de la eficiencia a escala global. Idealmente se quiere que toda el agua que se aplica al suelo sea para cumplir con los requerimientos hídricos del cultivo desde el punto de vista agronómico. Un estimador de la eficiencia de riego surge de la relación entre los volúmenes que salen de la zona objetivo del riego y los benéficamente utilizados por la planta.

TABLA 2 PARÁMETROS PARA DETERMINAR LA UNIFORMIDAD (FUENTE MERRIAM AND KELLER, 1978).

Porcentaje	Rango de aceptación
90% a 100%	Excelente
80% a 90%	Buena
70% a 80%	acceptable
< 70%	Pobre

2.2.1.10. Eficiencia de aplicación

La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la bocatoma, la cantidad de agua captada de alguna fuente de un sistema de riego esta conducida a través de un canal principal y luego derivada el agua por un canal de distribución y finalmente el agua a nivel parcela.

La eficiencia de aplicación de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, con relación al total de agua que se aplicó. Generalmente se expresa en porcentaje.

2.2. Acolchado

El acolchado agrícola o también llamado mulching es una técnica empleada por los agrónomos que consiste en extender sobre el suelo cualquier tipo de material, los más utilizados se clasifican en dos grupos: orgánicos e inorgánicos, su utilización es con fin de mejorar la temperatura en la zona radicular de la planta y mantener la humedad del suelo.

El uso de acolchado de plástico (polietileno de baja densidad), ha incrementado drásticamente en el mundo debido a sus múltiples funcionalidades protegiendo de plagas enfermedades y calor, permitiendo mantener mayor humedad en el suelo, además de su fácil uso ya que posibilita la mecanización de su instalación.

Se han realizado numerosos estudios para determinar la influencia del acolchado en la evaporación de agua desde el suelo y en su contenido de humedad (COOK et al., 2006; Ramakrishna et al., 2006; Yang et al., 2006). Turney y Mange (1994) concluyen que el acolchado favorece la conservación de la humedad del suelo, disminuye la escorrentía

superficial y la erosión del suelo y aumenta la permeabilidad y la capacidad de retención de agua en el suelo. El acolchado incrementa significativamente la humedad en el suelo en la capa superficial (Zhang et al., 2008). Chaudhry et al. (2004) indican que la tasa de infiltración de agua en el suelo cubierto con diferentes tipos de acolchado permeables aumento un 30% en comparación con el suelo desnudo.

ILUSTRACIÓN 22 ROLLO DE PLÁSTICO ACOLCHADO NEGRO PLATA CAL 90 DE 915 M DE LARGO POR 1.20 DE ANCHO (FUENTE AGRIPLASTIC)



Los principales tipos de acolchados utilizados se clasifican en los siguientes:

Acolchado incoloro (transparente) se trata de una película plástica que carece de pigmento o aditivo, normalmente empleada para incrementar los niveles de temperatura en el terreno destinado para la siembra, evitando la evaporación el agua rápidamente de la superficie del suelo. Sin embargo, debido a su composición puede permitir la aparición de malas hierbas debajo del plástico.

ILUSTRACIÓN 23 ACOLCHADO INCOLORO (TRANSPARENTE) (FUENTE AGRIPLASTIC).



Acolchado oscuro (opacidad total) es uno de los acolchados más utilizados debido a que cuenta con un mejor control de malezas y reduce de manera considerable la evaporación del agua en el suelo debido a su tonalidad. Al tratarse de una tonalidad oscura puede lograr que el terreno absorba un gran porcentaje de los rayos del sol alcanzando mayores temperaturas evitando así que el suelo reciba la radiación.

ILUSTRACIÓN 24 ACOLCHADO OSCURO (OPACIDAD TOTAL) (AGRIPLASTIC).



Acolchado plata/ negro o blanco/negro (bicolor) debido a su tonalidad más clara los agricultores optan por él ya que aparte de garantizar un buen control de malezas ofrece una absorción menor de rayos del sol disminuyendo así el calentamiento del terreno del cultivo ayudando así a aumentar el proceso de fotosíntesis.

ILUSTRACIÓN 25 ACOLCHADO PLATA / NEGRO (BICOLOR) (FUENTE INAGRIMEX).



Acolchado metalizado cuenta con propiedades parecida a las del acolchado gris sin embargo su capacidad de reflejar la luz solar lo hace uno de los favoritos debido a que aleja a los insectos o algunas aves que puede afectar el desarrollo vigoroso del cultivo.

ILUSTRACIÓN 26 ACOLCHADO AGRÍCOLA METALIZADO (FUENTE OPTIGRUP).



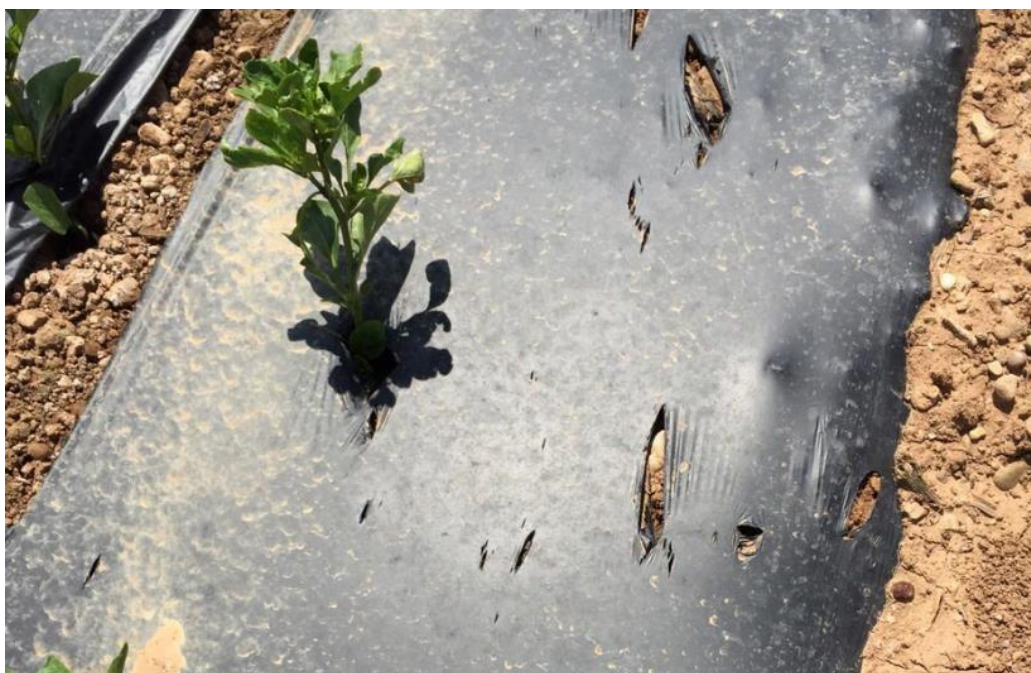
Acolchados foto selectivos (Marrón o verde) generalmente utilizados por los productores para controlar naturalmente las malas hierbas mediante el bloqueo selectivo de la radiación luminosa y al mismo tiempo para elevar la temperatura del suelo ya que debido al color traslucido del plástico permite que la luz y el calor lleguen directamente al suelo. Estos plásticos ofrecen lo mejor del acolchado claro y acolchado negro.

ILUSTRACIÓN 27 ACOLCHADOS FOTOSELECTIVOS (MARRÓN O VERDE) (FUENTE AGROPLASTICS)



Acolchado biodegradable se trata de una alternativa más ecológica con plásticos biodegradables permitiendo saltarse el proceso de recolección al final de su uso. La rapidez de descomposición de estas laminas dependerá del tipo de material con la que este fabricado, la capacidad fértil del terreno y la carga microbiana.

ILUSTRACIÓN 28 PLÁSTICOS BIODEGRADABLES PARA LA AGRICULTURA (FUENTE AGROPLASTICS).



Existen distintos tipos de espesores que pueden variar, según los diversos tipos de acolchado y su uso dependerá del tipo de cultivo. Existen películas que pueden ir desde las 12 a las 100 micras dicho espesor será seleccionado según el tiempo que se requiera para el cultivo ya que el espesor determinará la duración del plástico.

La selección del color de un acolchado se hace en función de las necesidades del cultivo (temperatura y humedad), del clima (calor) y estructura del suelo (malas hierbas)

2.3. Automatización

El incremento en la demanda de productos agrícolas ha hecho necesario la introducción de nuevas tecnologías al campo, con el fin de mejorar los rendimientos de los cultivos, y hacer eficiente el uso de nutrientes, así como del agua. Aunado a esto se hace necesario la introducción

de tecnología ligada a un análisis RASPA, con el fin de incrementar la eficiencia de los recursos y al mismo tiempo reducir costos de producción.

Contactor

Es una parte fundamental de la automatización a base de relevación donde al incitar un campo magnético se atrae dos placas de bronce y le da continuidad a la alimentación eléctrica.

Un contactor es un elemento electromecánico que tiene la capacidad de establecer o interrumpir la corriente eléctrica de una carga, con la posibilidad de ser accionado a distancia mediante la utilización de elementos de comando, los cuales están compuesto por un circuito bobina / electroimán por la cual circula una menor corriente que la de carga en sí (incluso podría utilizarse baja tensión para el comando). Constructivamente son similares a los relés, y ambos permiten controlar en forma manual o automática, ya sea localmente o a distancia toda clase de circuitos. Pero se diferencian por la misión que cumple cada uno: los relés controlan corrientes de bajo valor como las de circuitos de alarmas visuales o sonoras, y los contactores se utilizan como interruptores electromagnéticos en la conexión y desconexión de circuitos de iluminación y fuerza motriz de elevada tensión y potencia.

La finalidad de un contactor es la de accionar cargas elevadas que pudieren producir algún efecto perjudicial en la salud del operador.

ILUSTRACIÓN 29 CONTACTOR DE LA MARCA SIEMENS (FUENTE AUTYCOM)



Relevador

Un relevador es un interruptor que puede ser controlador eléctricamente. Este dispositivo también puede entenderse como un controlador electromecánico. Fue inventado por el científico estadounidense Joseph Henry quien descubrió el fenómeno electromagnético de autoinductancia e inductancia mutua. Este principio le permitió crear un tipo de electroimán que al activarse puede controlar a un interruptor, este es el principio del relevador.

Los elementos principales de un relevador son: (1) bobina de cobre, (2) núcleo de hierro, (3,4) balancín, (5,6 y 7) contactos. Cuando una corriente eléctrica se hace pasar por la bobina esta induce un campo magnético que permite que el núcleo de hierro actué como un electroimán lo que hace que el elemento enumerado como (3) y (2) se conecten haciendo subir o bajar el balancín (4). Este efecto permite abrir o cerrar el paso de corriente por los contactos 5, 6 y 7.

Siendo e contacto (5) llamado común, el (6) el contacto normalmente cerrado y el (7) el contacto normalmente abierto.

Los relevadores principalmente se usan en sistemas que requieran controlar una carga o usar un interruptor que pueda ser controlado eléctrica o mecánicamente. Una de las aplicaciones originales fue usarlos para diseñar máquinas de estado finito o autómatas. Una de las aplicaciones actuales es el de controlar cargas inductivas o resistivas mediante pulsos de control digital. Los relés también son usados en equipos de pruebas, sistemas de comunicación, seguridad, medición, circuitos de potencia., inversores o sistemas de potencia fotovoltaicos.

Sensor de humedad

Los sensores de humedad se aplican para detectar el nivel de líquido en un depósito, o en sistemas de riego de jardines para así saber cuándo las plantas necesitan riego y cuándo no. Permiten medir la temperatura de punto de rocío, humedad absoluta y relación de mezcla.

Existen dos tipos de sensores de humedad, los analógicos y digitales, los analógicos mide la humedad del aire relativo usando un sistema basado en un condensador. El sensor está hecho de una película generalmente de vidrio o de cerámica. El material aislante que absorbe el agua está hecho de un polímero que toma y libera el agua basándose en la humedad relativa de la zona dada. Esto cambia el nivel de carga en el condensador del circuito en el cuadro eléctrico.

Por otra parte, los digitales funciona a través de dos microsensores que se calibran a la humedad relativa de la zona dada. Estos se convierten luego en el formato digital a través de un proceso de conversión de analógico ha digital que se realiza mediante un chip situado en el mismo circuito. Un sistema basado en una máquina hecha de electrodos con polímeros es lo que constituye la capacitancia del sensor.

Sensor de nivel

Los sensores de nivel, también conocidos como "interruptor de nivel" o "sensor de boya", son instrumentos que trabajan con un interruptor de contacto (Reed Switch) y un flotador magnético. El movimiento del flotador abre o cierra el contacto eléctrico. Con ellos, se consiguen soluciones versátiles y de bajo coste para su automatización.

El sensor detecta el nivel del líquido en tanques y depósitos en el punto donde esté instalado, indicando mediante una señal ON/OFF cuando se ha alcanzado el nivel de llenado, vaciado u otro definido en proyecto. Debido a estar fijados en un punto del depósito, los sensores de nivel no son influenciados por las ondulaciones y vibraciones, asegurando una mejor fiabilidad y repetibilidad en comparación con otros tipos de detectores de nivel, tales como las antiguas boyas de nivel.

Solenoides

Un solenoide (del griego, «solen», 'tubo', 'conducto', y «eidos», 'en forma de') es cualquier dispositivo físico capaz de crear un campo magnético sumamente uniforme e intenso en su interior, y muy débil en el exterior.

Este tipo de bobinas es utilizado para accionar un tipo de válvula, llamada válvula solenoide, que responde a pulsos eléctricos respecto de su apertura y cierre. Eventualmente controlable por programa, su aplicación más recurrente en la actualidad tiene relación con sistemas de regulación hidráulica y neumática.

Timer

Un timer es un relé el cual depende de un tiempo determinado después de activar o desactivar la bobina del relé, se llaman "Relés Temporizados" o Temporizadores Eléctricos o Timer Relays.

Con un relé temporizador podemos establecer el tiempo de conexión de cualquier elemento de salida de un circuito eléctrico.

Su funcionamiento consiste en controlar de forma automática el encendido y apagado de los dispositivos eléctricos. Es decir, programar en este caso el uso del riego.

Existen dos tipos de timer o controladores según sea nuestro requerimiento:

1. Programador analógico: pensados para una programación diaria. Sus programas tienen una duración de 24 horas, pasado este tiempo será necesario programarlo de nuevo.
2. Programador digital: para programaciones semanales. Los programas tienen una duración de siete días, permitiendo guardar más de 100 programas diferentes (el número de programas puede variar en función del modelo). La mayoría de los programadores eléctricos incluyen batería de emergencia para no interrumpir su uso ante cortes de luz.

PLC (Programador Múltiple y Complejo)

Estos dispositivos son computadoras o programadores que están conectados al fenómeno RASPA que ajustan el riego contra las condiciones del suelo, atmosfera y cultivo y que están interconectados satelitalmente o georreferenciados con un sistema hidráulico que prende y

apaga el sistema de abastecimiento de agua, filtrado, férti-riego a base de presión con sensores inalámbricos vía internet.

2.4. Uso Consuntivo

El uso consuntivo es factor esencial para la determinación de los coeficientes netos y brutos del riego, ya que constituyen el dato básico para estimarlos. En efecto, lo que primordialmente interesa al productor y a toda persona que haya de intervenir en la resolución de los problemas relacionados con el riego, es la cantidad de agua que debe disponer cada cosecha para completar su ciclo productivo.

Para que la evapotranspiración real de una superficie cubierta por un cultivo determinado pueda ser conceptuada como el uso consuntivo, debería existir en el suelo una cantidad suficiente para que en ningún momento la transpiración de las plantas sea restringida. Se comprende que el concepto de usos consuntivos está directamente relacionado con el rendimiento del producto que del cultivo se espere, ya sea raíz, follaje o fruto. (Loma, J.L.,1962).

2.5. Humedad Aprovechable

Si existe un exceso de humedad o una insuficiencia en el suelo, el crecimiento del cultivo será retardado. Mientras que la irrigación es un medio artificial para agregar humedad y prevenir deficiencias. Un mal uso de la irrigación puede crear problemas que se ven reflejados en el cultivo.

Como comúnmente es definido la humedad aprovechable es aquella que es retenida en los suelos entre rango de presiones negativas que van desde un tercio de bar 0 33.33 kPa (capacidad de campo) hasta los 15 bars o 1500 kPa (punto de marchites permanente). Sin embargo, la

disponibilidad del agua puede variar dependiendo de la textura del suelo, por este motivo se considera que el tipo de suelo puede influenciar en gran medida la humedad aprovechable.

TABLA 3 SE MUESTRAN VALORES APROXIMADOS DE HUMEDAD APROVECHABLE (HA) PARA ALGUNAS CLASIFICACIONES DE SUELO (USD, 1964)

Clasificación de texturas	Centímetros de agua por metro de suelo
Textura gruesa arena de grava	3.33-6025
Textura de arena media, arena fina y migajón arenoso	6025-10.42
Textura moderada	10.42-14.58
Textura media, arena muy fina, migajón, limo y sedimento	12.50-19.17
Textura moderadamente fina, migajón arcilloso, migajón arcilloso arenoso	14.58-20.83
Textura fina arcilla, arcilla-arena , arcilla limosa	13.3-20.83
Suelo orgánico	16.67-25.05

Cuando la humedad residual en un suelo está en un rango abajo del 50 al 70 % de la humedad aprovechable aproximándose al valor de punto de marchites permanente el suministro limitado de agua jugará un papel muy importante en retardar el crecimiento de la planta.

La diferencia entre capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP) es expresada en términos de humedad aprovechable en la zona radicular.

$$HA = (CC - PMP) \text{ yb } ZR$$

En la cual HA es la humedad aprovechable, yb es la gravedad específica aparente y ZR es la profundidad de la zona radicular.

2.6. Déficit Permisible de Humedad

Consecuentemente, solo una fracción de la humedad aprovechable puede extraerse, a esta fracción se le conoce como Deflexión permisible de la humedad en el suelo y es expresada en la siguiente formula.

$$DPH = f (CC - PMP) \gamma_b * ZR * P$$

En la cual DPH es la deflexión permisible de la humedad en el suelo y “f” es un factor adimensional y P representa la fracción del área del campo humedecida. Así, el agua que es agregada al suelo durante el riego es estimada mediante la ecuación.

El factor de abatimiento o deflexión de humedad en el suelo es frecuentemente considerado para los diseños de riego por goteo valores de 0.2 y 0.3 para cultivos sensibles a la deficiencia hídrica y valores de 0.4 y 0.5 para aquellos que resiste un mayor grado de deficiencia hídrica.

2.7. Lamina de riego D´

Se debe de considerar que el agua aplicada por el sistema de riego no será benéficamente usada por el cultivo y que dichas perdidas generalmente resultan de que el agua se percola a un perfil del suelo más profundo del alcance radicular, como también de que cierta cantidad de agua es evapotranspirada por plantas no benéficas (malezas).

$$D = \frac{DPH}{TR * E_f} = \frac{fHA}{E_a}$$

En donde TR se define como la razón de agua evapotranspirada por el cultivo del total del agua aplicada en aquellas plantas que reciben menos agua en el campo de cultivo, siendo un valor de TR=90 el recomendado para regiones áridas y semiáridas y de TR=1 para regiones

húmedas y semihúmedas. EU es la uniformidad de emisión la cual es un parámetro de evaluación de diseño que nos ayuda a interpretar el grado de uniformidad con el cual el sistema aplica el agua de riego a través de todo el campo.

2.8. El intervalo de riego F'

El tiempo entre sucesivos riegos para una subunidad dada es usualmente determinado con base al abatimiento permitido de la humedad en el suelo. En los sistemas de riego por superficie, un 50 a 70 por ciento de abatimiento de la humedad del suelo es usado. Debido al alto control que se tiene sobre la distribución de agua en los sistemas de riego por goteo, el porcentaje del abatimiento de la humedad puede reducirse entre 10 a un 30 por ciento resultando en aplicaciones de agua más frecuentes.

El intervalo de riego es definido como:

$$F' = \frac{DPH}{Et}$$

En donde F' es el intervalo en días entre dos sucesivos riegos para una misma subunidad, y Et es la evapotranspiración ajustada bajo condiciones de riego por goteo.

2.9. Velocidad de infiltración

La infiltración se define como el proceso por medio del cual el agua pasa a través de la superficie y se distribuye en los estratos del suelo. La velocidad con que se infiltra el agua, llamada velocidad o tasa de infiltración instantánea, se considera de suma importancia en el diseño y operación de un sistema de riego. La lámina que se ha infiltrado en un tiempo dado se conoce como infiltración acumulada.

2.9.1. Cilindros infiltrómetros

El principio de funcionamiento de este sistema consiste en un par de cilindros que se introducen suavemente en el suelo. Se somete a una carga de agua y se mide el volumen de este líquido que fue drenado por unidad de tiempo, lo que constituye el término capacidad de infiltración (Martínez et al., 1996).

ILUSTRACIÓN 30 MÉTODO DE CILINDROS INFILTRÓMETROS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)



2.10. Evaporación potencial

La evapotranspiración es la suma de la transpiración y el agua que se evapora del suelo expresado en L/T (cm/mes, mm/día etc.)

La tasa de la evapotranspiración es afectada por muchos factores, los más importantes de los cuales son: la cantidad de área cubierta por el cultivo, la fase del crecimiento del cultivo, el clima y el suelo. Las tasas de transpiración varían durante la estación o temporada de cultivo, y

también varían con la fase del crecimiento de este aun considerando que la demanda evaporativa fuera constante. El factor climatológico más importante que afecta la evapotranspiración es la radiación solar, porque ésta es la fuente de energía necesaria para transferir el agua de un estado líquido a uno de vapor, tanto en la planta como en el suelo. La temperatura del suelo y el aire, así como la humedad, la lluvia y el viento, también tienen influencia en la evapotranspiración de un cultivo. Los factores correspondientes al suelo que afectan la evapotranspiración son: la cantidad de agua aprovechable en la zona radicular, la temperatura del suelo y la concentración de sales.

La determinación de la evapotranspiración potencial media (ET_p) es algunas veces hecha observando el siguiente procedimiento; el promedio histórico mensual de los datos climatológicos es usado en la ecuación calibrada del método seleccionado para estimar el promedio histórico de ET_m. Los valores de ET_m, son graficados para determinar la curva característica de ET_m, V, día de cierta fecha del año.

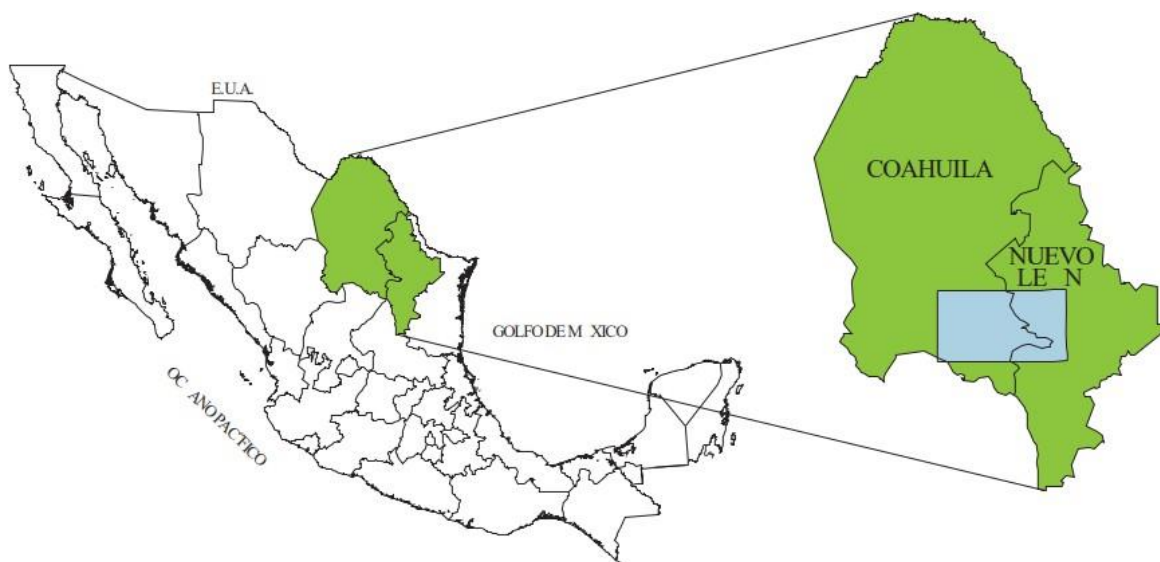
3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

Esta evaluación técnica fue desarrollada en el periodo Marzo-abril del 2022 en la región montañosa, ubicada en el kilómetro 16 de la carretera a San Antonio de las alazanas, número 112, coordenadas UTM 333631.71 m E y 2798753.78 m N 14 R. La localidad se encuentra a una mediana altura de 2062 metros sobre el nivel del mar. La evaluación se llevó a cabo en 2 Ha con cultivo de ajo “*Allium Sativum*” orgánico.

Los suelos provienen de rocas sedimentarias calizas y corresponden a suelos litoso y rendiza, con textura media (Cetenal,1976 a; Cetenal, 1976b). En base a la estación meteorológica que se encuentra en Saltillo, Coahuila, registra una temperatura media anual de 18.05 °C y una precipitación total anual de 470.6mm. Los meses más lluviosos son julio agosto, las precipitaciones más escasas son en invierno (Mendoza 1983). Cuenta con un clima templado, subhúmedo con lluvias escasas todo el año, verano fresco largo, muy extremoso, así como mes más cálido se presenta en junio con temperaturas de 29.4°C. Se cuenta con dos pozos profundos para irrigar aproximadamente 7 hectáreas. (Ilustración 29)

ILUSTRACIÓN 31 CARTA TOPOGRÁFICA G14-7 MONTERREY (SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL)



3.2. Características del sistema de riego

ILUSTRACIÓN 32 VALLE DE " SAN ANTONIO DE LAS ALAZANAS" SIERRA DE ARTEAGA COAHUILA

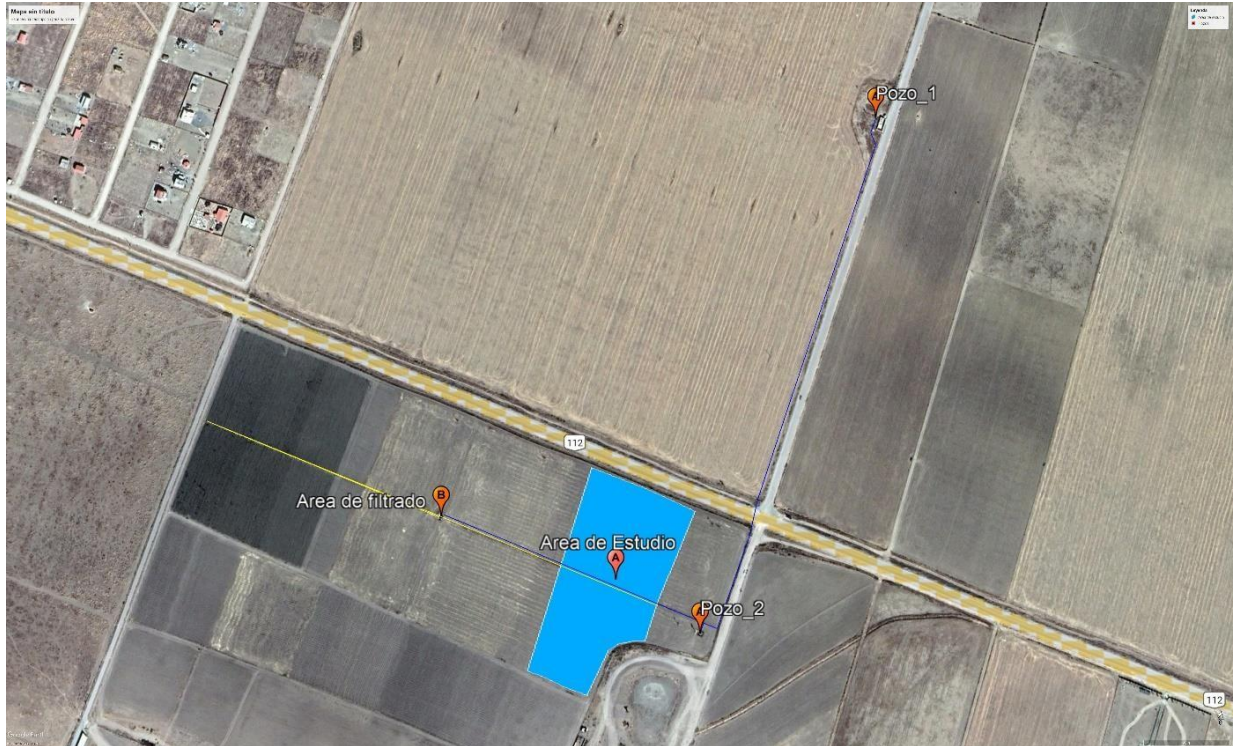


TABLA 4 DATOS DEL COMPLEJO AGRÍCOLA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

LUGAR	COORDENADAS E UTM	ORDENADAS N UTM	GASTO
POZO 1	333998	2799220	10LPS
POZO 2	333799	2798678	10LPS
FILTROS	333529	279880	

La tubería de conducción se trata de PVC de 4, 3 y 2 pulgadas. El horario de trabajo del sistema de riego puede llegar a alcanzar un máximo de 24 horas por día.

Los riegos están programados cada 4 días y se encienden un total de 3 horas por subunidad.

El caudal promedio por emisor es de 0.24 LPH

La siembra se realizó en camas de 90 cm con una separación entre camas de 90 cm. EL distanciamiento entre hileras fue de 10 cm y 10 cm entre plantas. Instalándose dos cintas de riego por cama de siembra, y en cada cama se sembraron 6 hiladas de ajo.

Los emisores están espaciados cada 10 cm para la cintilla de riego usada de bajo flujo calibre 6 mil de la marca Toro.

3.3. Materiales y Métodos

1. Manómetro: Utilizado para medir rango de presiones al inicio y final de las laterales.
2. Cronómetro: se usó para aforar los emisores.
3. Probeta graduada de 10 ml.
4. Cámara fotográfica
5. Programa asistido por computadora AutoCAD.
6. Programa Surfer.
7. Cilindros infiltrómetros.
8. Regla graduada a 30 cm.
9. Cinta de 30 metros.

3.4. Métodos

Primero se realizó el estudio para determinar la velocidad de infiltración básica con ayuda de los cilindros infiltrómetros y utilizando la ecuación de Kostiakov para determinación de la velocidad de infiltración.

Segundo se calculó al Evapotranspiración por el método FAO PENMAN-MONTEITH con ayuda del programa CROWPAT Y CLIMWAT.

Tercero. Para la uniformidad de emisión se utilizó la metodología de Christiansen que consiste en evaluar en campo el gasto de los goteros y que se entenderá como el gasto que descarga un gotero debido a su presión.

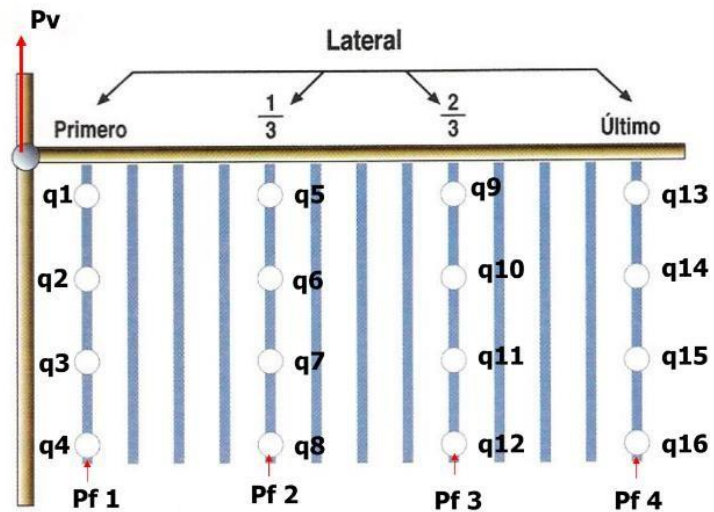
Se colocó un recipiente colector graduado cuando estuviese el riego encendido, posteriormente se midió el volumen de riego suministrado por los emisores.

ILUSTRACIÓN 33 AFORO DE LAS LATERALES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)



Estas muestras se tomarán en 4 líneas por sección a razón de, línea inicial, 1/3, 2/3 y línea final, en un total de 4 emisores por línea, de igual manera se evaluará la presión de dichas líneas al inicio y al final.

ILUSTRACIÓN 34 ESQUEMA DE TOMA DE AFOROS (FUENTE PROSAP, 2016)



Se midió la presión de operación de la línea regante, con un manómetro; la variación de presión no debe ser mayor al 20% de la presión de operación del sistema.

ILUSTRACIÓN 35 MEDICIÓN DE LA PRESIÓN AL INICIO DE LAS LÍNEAS REGANTES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)



El tiempo será el mismo para todos los aforos y con las lecturas tomadas se calculó el caudal en LPH. Y conociendo el caudal de cada emisor seleccionado se calculó el coeficiente de uniformidad de Christiansen, eficiencia de requerimiento y eficiencia de aplicación.

Después se procesaron los datos en Excel, para sacar los logaritmos a los gastos y cargas que proyectaron la prueba de campo, de esta forma se obtuvo las ecuaciones para obtener la uniformidad de las subunidades de riego.

TABLA 5 MUESTRA DE PLANTILLA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO

Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora			
	Inicio	A 1/3	A 2/3	Final
Final				
A 2/3				
A 1/3				
Inicio				
Inicio				
A 1/3				
A 2/3				
Final				

Cálculo para la determinación de la uniformidad de distribución UD%

$$UD\% = 100 * \left(\frac{q_{min}}{q_{prom}} \right)$$

Cálculo de coeficiente de uniformidad de Christiansen CUC%

$$CUC\% = 100 * \left(\frac{\sum_{i=1}^N |Y_i - \bar{Y}|}{N\bar{Y}} \right)$$

Cálculo para determinar uniformidades de distribución EU%

$$EU\% = 100 * \left(\frac{q_{25}}{q_m}\right)$$

Cálculo para determinar la eficiencia de aplicación Ea%

$$Ea\% = 100 * \left(\frac{\text{Evapotranspiracion } \frac{\text{litros}}{\text{dia}}}{\text{Litros consumidos por gotero}}\right)$$

Dicha metodología del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen es en sí es la desviación media standard de las lecturas en las líneas más representativas de los bloques de riego, con 6 repeticiones y generando un modelo estadístico de evaluación de datos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

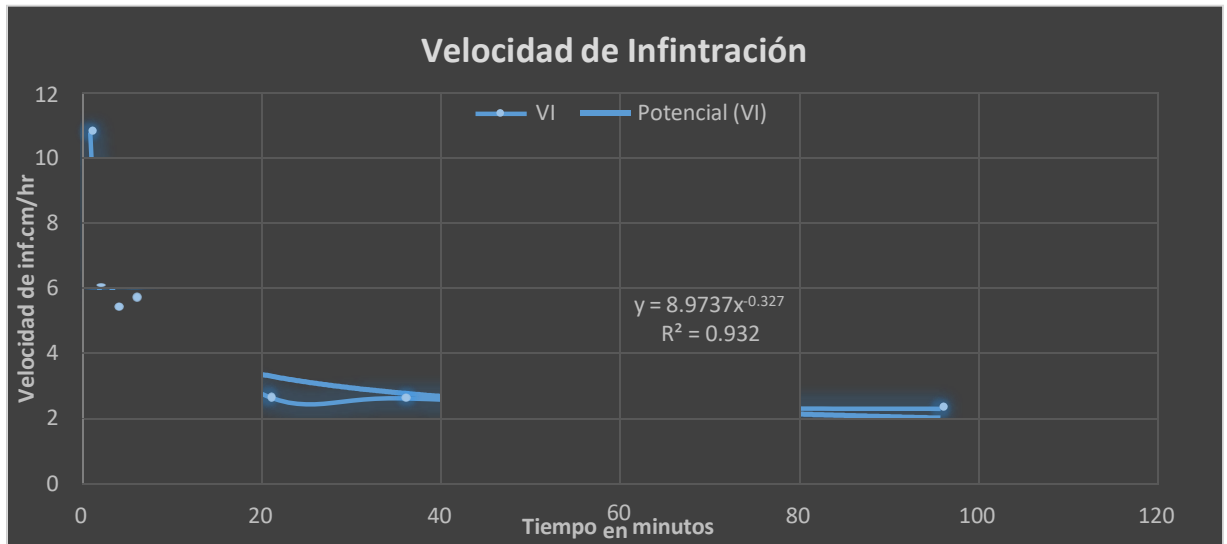
4.1. Resultados obtenidos de velocidad de infiltración

TABLA 6 RESULTADO DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

inter/lect	t_acom	lec_cm	lec_mm	vel_inf_mm/	lam_acum	log t	log vi
0		0					
1	1	1.8	18	1080	18	0	1.25527251
1	2	1	10	600	28	0.30103	1.44715803
2	4	1.8	18	540	46	0.60205999	1.66275783
2	6	1.9	19	570	65	0.77815125	1.81291336
15	21	6.7	67	268	132	1.32221929	2.12057393
15	36	6.6	66	264	198	1.5563025	2.29666519
30	66	11.8	118	236	316	1.81954394	2.49968708
30	96	11.6	116	232	432	1.98227123	2.63548375

n	0.67498372	
k	18.2315174	
VI	18.2315174	mm/h

GRÁFICO 1 CURVA DE INFILTRACIÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).



4.2. Aplicación del método FAO PENMAN MONTEITH

Estado: Coahuila

Altitud: 1790 MSNM Latitud: 25.45 ° N Longitud: 100.90 ° W

ILUSTRACIÓN 36 CALCULO DE ETO POR EL MÉTODO FAO PENMAN-MONTEITH CON AYUDA DEL PROGRAMA CROPWAT

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind m/s	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January	5.2	18.5	62	0.7	4.4	10.9	1.77
February	6.8	20.6	61	0.8	5.1	13.5	2.29
March	8.7	23.0	45	0.8	5.5	15.9	2.99
April	12.7	26.9	53	0.8	5.0	16.8	3.50
May	14.7	28.9	57	0.9	5.4	18.0	3.99
June	16.4	29.4	62	0.9	6.0	19.1	4.22
July	16.5	29.0	61	0.8	5.6	18.3	4.05
August	16.2	28.6	63	0.7	5.7	18.0	3.89
September	14.5	26.0	67	0.6	5.0	15.7	3.22
October	11.6	23.8	66	0.5	5.3	14.2	2.65
November	8.0	21.0	65	0.6	5.2	12.2	2.08
December	6.3	18.9	57	0.6	4.0	10.0	1.70
Average	11.5	24.6	60	0.7	5.2	15.2	3.03

Los volúmenes aplicados en teoría se determinan de manera directa:

Si cada sub sección cuenta con 64 surcos de 100 metros de longitud, cada uno de ellos cuenta con doble cintilla y esta cuenta con emisores cada 10 cm con gasto de 0.5 LPH.

4.3. Análisis de uniformidad

El método consiste en evaluar la eficiencia de aplicación según Christiansen, que es el perfil de humedad a lo largo de la lateral, medido como descarga de los emisores o por ciento de humedad en el suelo, y es la desviación media estándar de los valores aforados con respecto a la lámina real o profundidad radicular que requería el cultivo en ese momento.

GRÁFICO 2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UNIFORMIDAD A LO LARGO DE LAS CAMAS AFORADAS PRIMERA SECCIÓN UNIFORMIDAD PROMEDIO 63.27% (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).

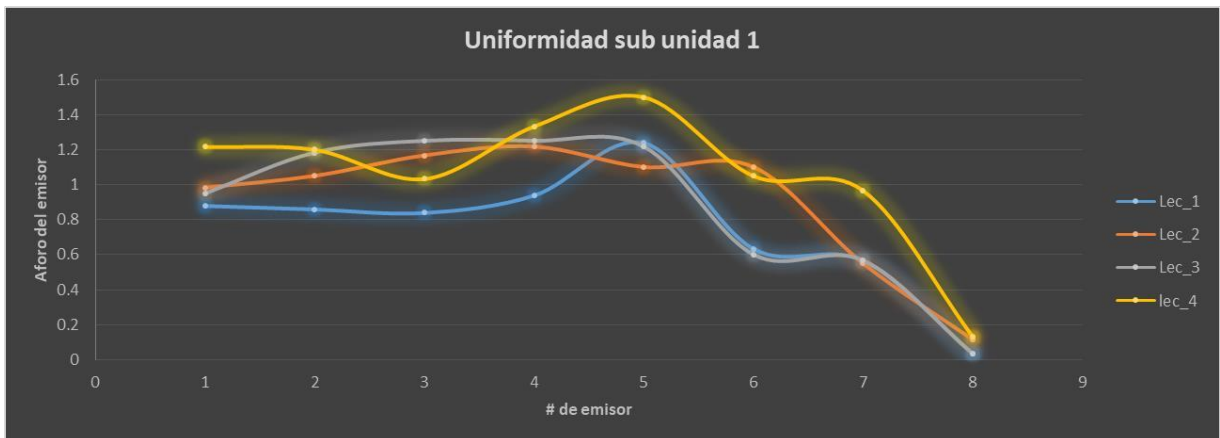
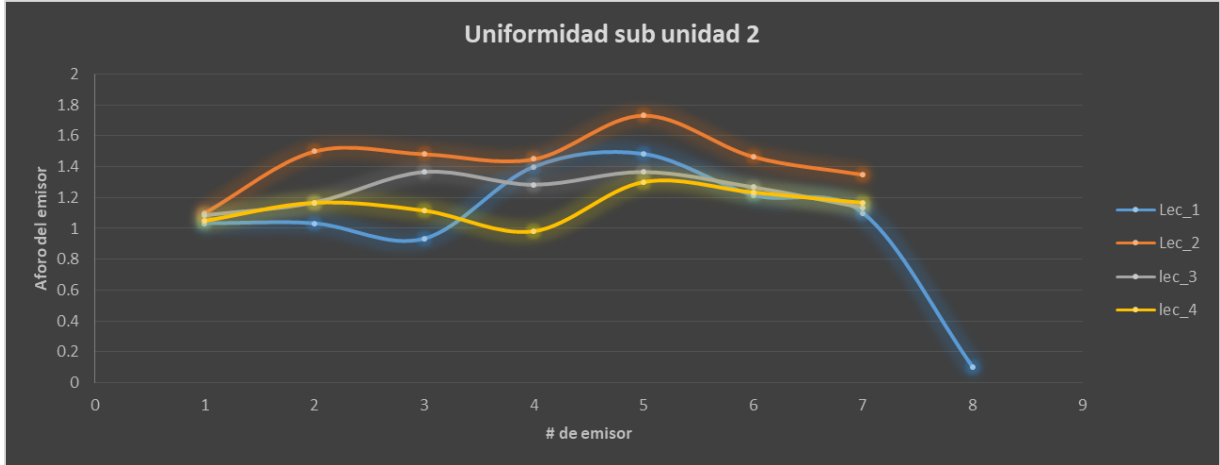
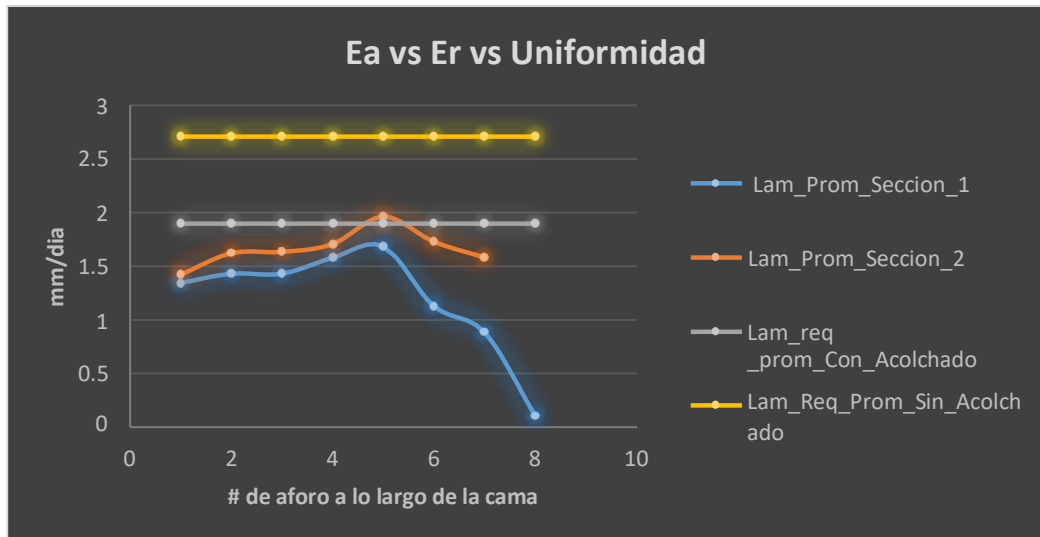


GRÁFICO 3 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UNIFORMIDAD A LO LARGO DE LAS CAMAS AFORADAS DE LA SEGUNDA SECCIÓN UNIFORMIDAD PROMEDIO 82.14% (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).



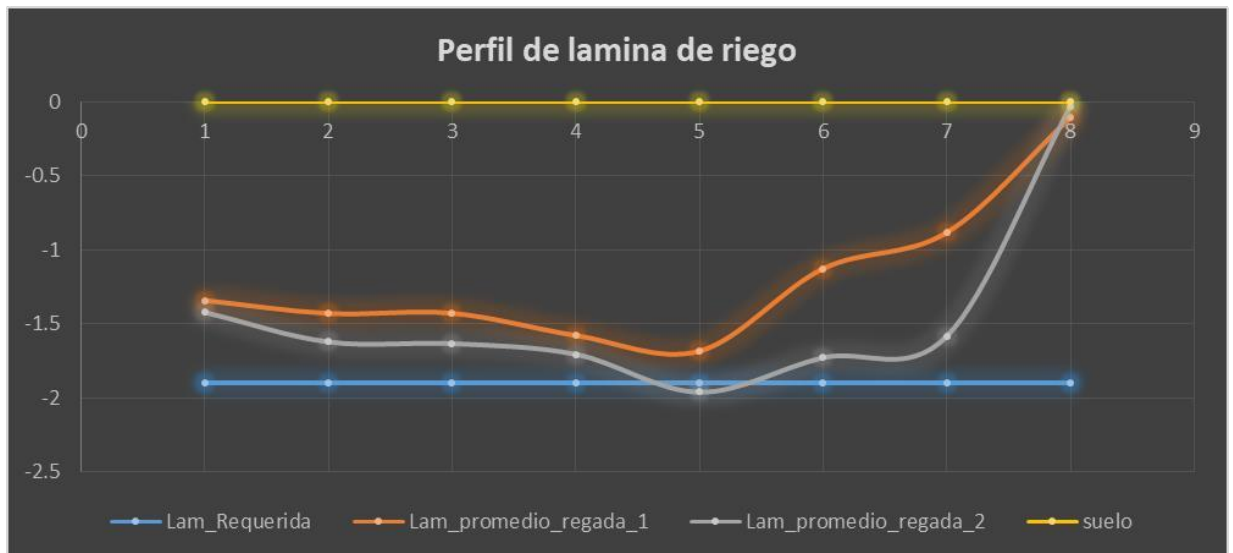
Al graficar estos comportamientos de mayor a menor grado se podrá correlacionar con la lámina o taza de precipitación o volumen requerido contra el aplicado y así poder obtener el comportamiento con respecto a Ea, Er y CUC.

GRÁFICO 4 EFICIENCIA DE REQUERIMIENTO VS EFICIENCIA DE APLICACIÓN VS UNIFORMIDAD (PARA LA ELABORACIÓN DE ESTA TABLA SE USARON DATOS PROMEDIOS) (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)



En la gráfica anterior se puede observar el requerimiento hídrico promedio del cultivo en mm/día, contra el gasto suministrado en milímetros por riego a lo largo de la lateral.

GRÁFICO 5 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LÁMINA DE RIEGO APLICADA EN EL PERFIL DEL SUELO CONTRA LAMINA REQUERIDA (EA=100%, ER=70.14% CUC=72.7%) (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).



Se puede apreciar la uniformidad promedio de cada una de las Subunidades de riego a lo largo de las laterales, así como la diferencia del requerimiento debido a la presencia de acolchado.

5. CONCLUSIÓN

Dado los resultados obtenidos en la evaluación de la eficiencia del sistema de riego en el “Rancho San Francisco”, se puede concluir que:

El sistema de riego instalado no satisface la necesidad hídrica del cultivo proporcionando una lámina diaria menor a la lámina requerida del cultivo, sometiéndolo a estrés hídrico.

El sistema de riego a pesar de no contar con pendientes pronunciadas carece de presión suficiente para la presión de la cintilla seleccionada.

Aunado a lo anterior cuenta con una uniformidad relativamente buena considerada aceptable siendo apenas superior a un 70%.

Por otra parte, la Eficiencia de aplicación es de un 100% debido a que toda la lámina aplicada es aprovechada por el cultivo.

Propuesta de mejora

Partiendo de que el sistema de riego se encuentra ya instalado, y con la finalidad de dar mejor uso a las instalaciones actuales, así como de mejorar la eficiencia del riego. Se propone una mejora en el acomodo de las subunidades de riego, así como la implementación de las nuevas tecnologías de automatización ligadas a un sistema RASPA.

Como principal problemática se presenta la poca llegada de gasto y presión a las unidades de riego afectando así a la uniformidad de aplicación proporcionando láminas de riego pobres. Como solución más próxima a esta problemática se propone el reacomodo de las subunidades

de tal manera que cada una de ellas se divida en dos formando 4 subunidades de riego en lugar de dos.

Se realizaron los cálculos hidráulicos de pérdida de carga para cerciorarse de que el sistema sea capaz de satisfacer el nuevo diseño el cual requiere de un gasto de 8.89 lps y una presión de operación a la entrada del lote de 7.2 metros de columna de agua, este análisis se hizo permitiendo una variación del 28% en la lateral.

De esta manera se podrá proporcionar un riego más uniforme a lo largo de la subunidad

Actualmente el gasto promedio de los emisores es de 0.24 LPH si se toma en cuenta que contamos con 2000 emisores por cama y contamos con un total de 64 camas en la subunidad podemos determinar que contamos actualmente con un gasto que llega al lote de 30720 LPH = 8.533 LPS. De esta manera se puede asumir que el funcionamiento del sistema propuesto tendría el gasto requerido y la presión de operación necesaria para su correcto funcionamiento.

Como parte de la mejora se pretende instalar sensores de humedad en las subsecciones, válvulas solenoides a la entrada de las sub unidades, todo esto con el fin de que los riegos se hagan únicamente cuando el DPH sea abatido, garantizando un mejor uso del recurso hídrico.

ILUSTRACIÓN 37 DIAGRAMA DE TABLERO

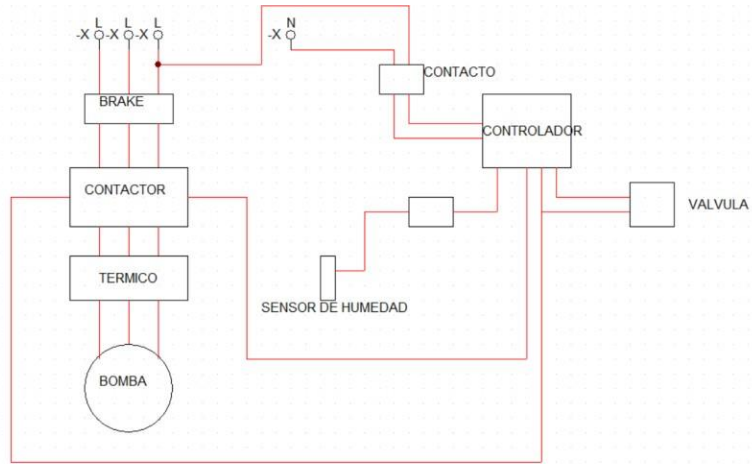


ILUSTRACIÓN 38 ILUSTRACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIA ACTUALMENTE CON DOS SUB-SECCIONES DE RIEGO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).

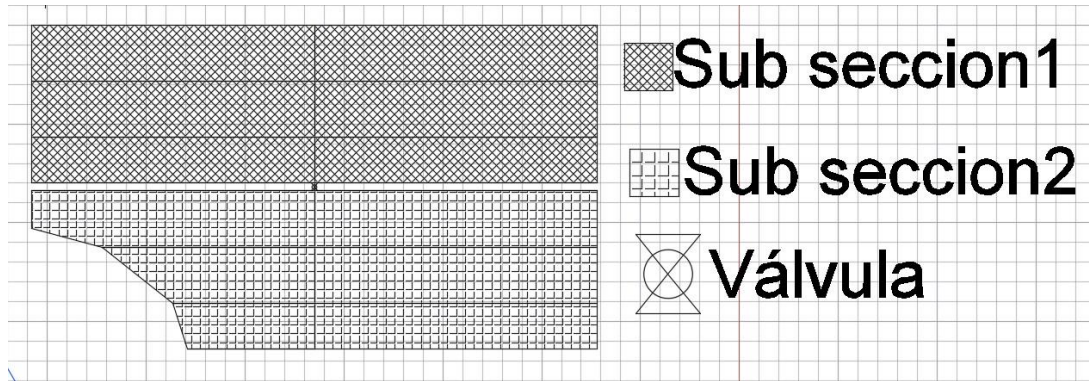
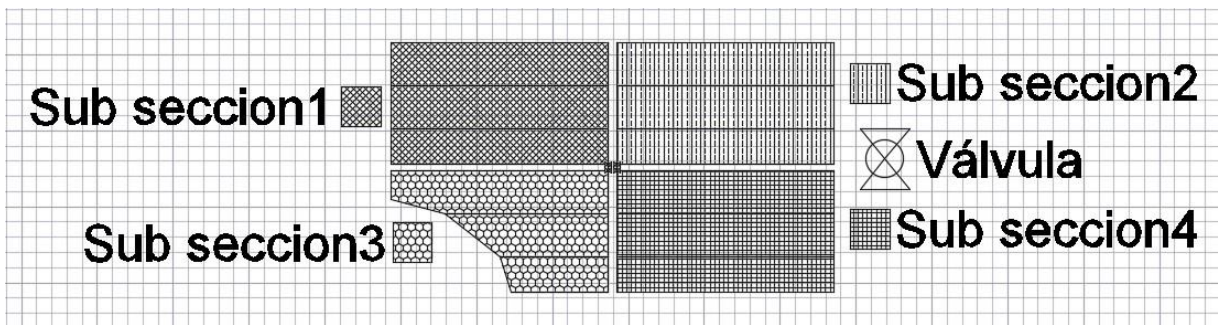


ILUSTRACIÓN 39 PROPUESTA DE NUEVAS SUB-SECCIONES DE RIEGO PARA MEJORAR EFICIENCIA DE RIEGO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).



6. RESUMEN

La presente investigación de llevo a cabo en el Rancho “SAN FRANCISCO”, ubicado en la sierra de Arteaga Coahuila México. Dicho rancho se localiza en el kilómetro 16 de la carretera 112 a San Antonio de las Alazanas, donde el objetivo del estudio fue evaluar el coeficiente de uniformidad en un sistema de riego por goteo bajo condiciones de acolchado encontrando el coeficiente de uniformidad en un 72.7%. La cintilla seleccionada cuenta con un gasto de 0.5 LPH y un espaciamiento de 10 cm entre emisor. Debido a que las subunidades riegan aguas arriba y aguas abajo con el objetivo de tener mayor precisión en las lecturas la evaluación se realizó al inicio, 1/3, 2/3 y al final de cada línea seleccionada siendo un total de 8 camas por sección para así obtener la uniformidad de riego en 2 hectáreas en donde se tenía ajo orgánico.

7. LITERATURA CITADA

Valenzuela, P. A., & Gutiérrez, H. C. (2003). Acolchado de suelo mediante filmes de polietileno. *Universidad Nacional de Chile*.

Liotta, M. A., Carrión, R. A., Ciancaglini, N., & Olguin Pringles, A. (2015). *Riego por goteo*. PROSAP; INTA.

KEHR, 2002. Origen del cultivo de ajo. En: revista Tattersal 125: (4-6)

KOUL & GOHIL, 1970. Taxonomía del cultivo de ajo. Diversidad genética entre accesiones de ajo. Guadalajara, México.

Christiansen, J. E. (1942). Irrigation by sprinkling. California Agricultural Experimental Station Bulletin 670. University of California, Berkeley, California.

Fernández. 2010. Manual de riego para agricultores: módulo 4. Riego localizado: manual y ejercicios. Sevilla consejería de agricultura y pesca.

Fuentes Yagüe, J. L. (1991). Instalación de Riego por Goteo. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid (España).

García I. y Briones G. 1986. Sistema de riego por aspersión y goteo. 2ª ed. México: Trillas:UAAAN, 2007 (reimp.2011).277 P.

Rojas, P. L., & Briones, S. G. (2001). Diseño y operación de sistemas de riego. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 152 P.

Blanco-Sepulveda, R. (1999). El infiltrómetro de cilindro simple como método de cálculo de la conductividad hidráulica de los suelos: Experiencias de campo en ámbitos de montaña mediterránea.

AUTODEMA, 2010 Boletín Técnico. Consumo de agua por los cultivos.

SIAP. (2018). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Información disponible en http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do.

FAOSTAT. (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. Información disponible en línea: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.

Bibliografía citada de internet

[Tipos de acolchados para el cultivo - Agriplastics Community](#)

<http://www.eicos.com/datos-tecnicos/que-es-un-sensor-de-nivel/>

<https://afinidadelectrica.com/2020/08/09/disenio-de-un-tablero-de-control-de-bombas-de-agua/>

8. ANEXOS

TABLA 7 AFOROS DE PRIMERA SUB-UNIDAD

Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora					Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora					Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora				
	Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final		Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final		Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final
Final	0.12	0.156	0.132	0.156	Final	0.096	0.072	0.072	0.168	Final	0.12	0.096	0.12	0.12	0.12		
A 2/3	0.096	0.156	0.144	0.144	A 2/3	0.096	0.12	0.156	0.144	A 2/3	0.108	0.12	0.12	0.12	0.144		
A 1/3	0.096	0.156	0.156	0.12	A 1/3	0.096	0.132	0.156	0.12	A 1/3	0.096	0.144	0.132	0.12	0.12		
Inicio	0.168	0.132	0.156	0.24	Inicio	0.096	0.144	0.144	0.12	Inicio	0.096	0.132	0.132	0.144	0.144		
Inicio	0.144	0.132	0.168	0.216	Inicio	0.144	0.108	0.12	0.18	Inicio	0.144	0.12	0.144	0.144	0.168		
A 1/3	0.096	0.108	0.072	0.096	A 1/3	0.06	0.144	0.024	0.144	A 1/3	0.072	0.12	0.06	0.12	0.12		
A 2/3	0.096	0.036	0.048	0.144	A 2/3	0.048	0.036	0.06	0.12	A 2/3	0	0.084	0.072	0.084	0.084		
Final	0.024	0.012	0	0	Final	0	0	0	0.096	Final	0	0	0	0	0		

Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora					Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora					Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora				
	Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final		Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final		Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final
Final	0.12	0.168	0.12	0.144	Final	0.096	0.12	0.12	0.12	Final	0.096	0.096	0.12	0.12	0.144		
A 2/3	0.12	0.12	0.144	0.156	A 2/3	0.096	0.12	0.144	0.144	A 2/3	0.096	0.12	0.144	0.132	0.132		
A 1/3	0.12	0.156	0.168	0.144	A 1/3	0.096	0.132	0.144	0.12	A 1/3	0.096	0.12	0.144	0.12	0.12		
Inicio	0.132	0.204	0.18	0.168	Inicio	0.12	0.132	0.144	0.144	Inicio	0.12	0.132	0.144	0.144	0.144		
Inicio	0.168	0.192	0.192	0.192	Inicio	0.144	0.12	0.12	0.156	Inicio	0.144	0.12	0.132	0.132	0.168		
A 1/3	0.084	0.18	0.132	0.156	A 1/3	0.072	0.12	0.072	0.12	A 1/3	0.072	0.12	0.072	0.12	0.12		
A 2/3	0.096	0.12	0.12	0.132	A 2/3	0.096	0.072	0.06	0.096	A 2/3	0.072	0.048	0.048	0.048	0.12		
Final	0	0.072	0.024	0	Final	0	0	0	0	Final	0	0	0	0	0		

TABLA 8 AFOROS DE SEGUNDA SUB-UNIDAD

Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora					Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora					Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora				
	Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final		Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final		Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final
Final	0.144	0.168	0.132	0.12	Final	0.096	0.144	0.12	0.12	Final	0.108	0.072	0.12	0.12	0.12		
A 2/3	0.144	0.168	0.132	0.132	A 2/3	0.12	0.168	0.12	0.144	A 2/3	0.048	0.192	0.12	0.12	0.12		
A 1/3	0.108	0.156	0.156	0.12	A 1/3	0.072	0.168	0.168	0.144	A 1/3	0.132	0.18	0.132	0.096	0.096		
Inicio	0.144	0.168	0.144	0.12	Inicio	0.192	0.168	0.132	0.132	Inicio	0.144	0.168	0.144	0.096	0.096		
Inicio	0.18	0.192	0.156	0.144	Inicio	0.12	0.192	0.144	0.168	Inicio	0.192	0.216	0.156	0.156	0.168		
A 1/3	0.12	0.168	0.144	0.144	A 1/3	0.12	0.156	0.144	0.156	A 1/3	0.156	0.168	0.144	0.12	0.12		
A 2/3	0.144	0.168	0.168	0.12	A 2/3	0.132	0.156	0.12	0.144	A 2/3	0.12	0.144	0.096	0.12	0.12		
Final	0.072				Final	0				Final	0						

Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora					Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora					Posicion del emisor	Posicion de la lateral en linea distribuidora				
	Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final		Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final		Inicio	A 1/3	A 2/3	Final	Final
Final	0.18	0.144	0.168	0.156	Final	0.096	0.12	0.12	0.12	Final	0.12	0.144	0.12	0.12	0.12		
A 2/3	0.168	0.216	0.18	0.168	A 2/3	0.12	0.168	0.144	0.144	A 2/3	0.144	0.168	0.144	0.132	0.132		
A 1/3	0.12	0.228	0.192	0.156	A 1/3	0.12	0.168	0.168	0.144	A 1/3	0.12	0.168	0.168	0.144	0.144		
Inicio	0.24	0.216	0.216	0.12	Inicio	0.144	0.156	0.144	0.12	Inicio	0.144	0.168	0.144	0.12	0.12		
Inicio	0.24	0.264	0.24	0.12	Inicio	0.168	0.192	0.144	0.168	Inicio	0.168	0.192	0.144	0.144	0.168		
A 1/3	0.192	0.228	0.192	0.18	A 1/3	0.144	0.168	0.144	0.144	A 1/3	0.144	0.168	0.144	0.144	0.144		
A 2/3	0.156	0.216	0.192	0.168	A 2/3	0.12	0.144	0.12	0.144	A 2/3	0.12	0.144	0.12	0.144	0.144		
Final	0				Final	0				Final	0						

TABLA 9 CÁLCULO DE LÁMINA DE REQUERIMIENTO

Mes	EMERGENCIA	Brotos lateral	Boton floral	Floracion	Evt_dia_mm
Enero	27.435				1.77
Febrero	21.755	14.427			2.29
Marzo		64.883			2.99
Abril			77	45.5	3.5
Mayo				103.74	3.99
Kc	0.5	0.7	1.1	1.3	

TABLA 10 PARÁMETROS USADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CUC DE LAS PRIMERAS 3 LECTURAS CON AYUDA DE EXCEL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Lec_1_mm/30s	LPH	ABSY-Ymedia	Lec_2_mm/3	LPH	ABSY-Ymedia	Lec_3_mm/3	LPH	ABSY-Ymedia
1	0.12	0.00375	0.8	0.096	0.0045	1	0.12	0.022125
1.3	0.156	0.03975	0.6	0.072	0.0285	0.8	0.096	0.001875
1.1	0.132	0.01575	0.6	0.072	0.0285	1	0.12	0.022125
1.3	0.156	0.03975	1.4	0.168	0.0675	1	0.12	0.022125
0.8	0.096	0.02025	0.8	0.096	0.0045	0.9	0.108	0.010125
1.3	0.156	0.03975	1	0.12	0.0195	1	0.12	0.022125
1.2	0.144	0.02775	1.3	0.156	0.0555	1	0.12	0.022125
1.2	0.144	0.02775	1.2	0.144	0.0435	1.2	0.144	0.046125
0.8	0.096	0.02025	0.8	0.096	0.0045	0.8	0.096	0.001875
1.3	0.156	0.03975	1.1	0.132	0.0315	1.2	0.144	0.046125
1.3	0.156	0.03975	1.3	0.156	0.0555	1.1	0.132	0.034125
1	0.12	0.00375	1	0.12	0.0195	1	0.12	0.022125
1.4	0.168	0.05175	0.8	0.096	0.0045	0.8	0.096	0.001875
1.1	0.132	0.01575	1.2	0.144	0.0435	1.1	0.132	0.034125
1.3	0.156	0.03975	1.2	0.144	0.0435	1.1	0.132	0.034125
2	0.24	0.12375	1	0.12	0.0195	1.2	0.144	0.046125
1.2	0.144	0.02775	1.2	0.144	0.0435	1.2	0.144	0.046125
1.1	0.132	0.01575	0.9	0.108	0.0075	1	0.12	0.022125
1.4	0.168	0.05175	1	0.12	0.0195	1.2	0.144	0.046125
1.8	0.216	0.09975	1.5	0.18	0.0795	1.4	0.168	0.070125
0.8	0.096	0.02025	0.5	0.06	0.0405	0.6	0.072	0.025875
0.9	0.108	0.00825	1.2	0.144	0.0435	1	0.12	0.022125
0.6	0.072	0.04425	0.2	0.024	0.0765	0.5	0.06	0.037875
0.8	0.096	0.02025	1.2	0.144	0.0435	1	0.12	0.022125
0.8	0.096	0.02025	0.4	0.048	0.0525	0	0	0.097875
0.3	0.036	0.08025	0.3	0.036	0.0645	0.7	0.084	0.013875
0.4	0.048	0.06825	0.5	0.06	0.0405	0.6	0.072	0.025875
1.2	0.144	0.02775	1	0.12	0.0195	0.7	0.084	0.013875
0.2	0.024	0.09225	0	0	0.1005	0	0	0.097875
0.1	0.012	0.10425	0	0	0.1005	0	0	0.097875
0	0	0.11625	0	0	0.1005	0	0	0.097875
0	0	0.11625	0.8	0.096	0.0045	0	0	0.097875
Ypromedio	0.11625	1.4625	Ypromedio	0.1005	1.311	Ypromedio	0.097875	1.22475
	CUC	0.60685484		CUC	0.59235075		CUC	0.60895594

TABLA II PARÁMETROS USADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CUC DE LAS ÚLTIMAS 3 LECTURAS CON AYUDA DE EXCEL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Lec_4_mm/3	LPH	ABSY-Ymedia	Lec_5_mm/3	LPH	ABSY-Ymedia	Lec_6_mm/3	LPH	ABSY-Ymedia
1	0.12	0.012	0.8	0.096	0.006	0.8	0.096	0.004125
1.4	0.168	0.036	1	0.12	0.018	0.8	0.096	0.004125
1	0.12	0.012	1	0.12	0.018	1	0.12	0.019875
1.2	0.144	0.012	1.2	0.144	0.042	1.2	0.144	0.043875
1	0.12	0.012	0.8	0.096	0.006	0.8	0.096	0.004125
1	0.12	0.012	1	0.12	0.018	1	0.12	0.019875
1.2	0.144	0.012	1.2	0.144	0.042	1.2	0.144	0.043875
1.3	0.156	0.024	1.2	0.144	0.042	1.1	0.132	0.031875
1	0.12	0.012	0.8	0.096	0.006	0.8	0.096	0.004125
1.3	0.156	0.024	1.1	0.132	0.03	1	0.12	0.019875
1.4	0.168	0.036	1.2	0.144	0.042	1.2	0.144	0.043875
1.2	0.144	0.012	1	0.12	0.018	1	0.12	0.019875
1.1	0.132	2.7756E-17	1	0.12	0.018	1	0.12	0.019875
1.7	0.204	0.072	1.1	0.132	0.03	1.1	0.132	0.031875
1.5	0.18	0.048	1.2	0.144	0.042	1.2	0.144	0.043875
1.4	0.168	0.036	1.2	0.144	0.042	1.2	0.144	0.043875
1.4	0.168	0.036	1.2	0.144	0.042	1.2	0.144	0.043875
1.6	0.192	0.06	1	0.12	0.018	1	0.12	0.019875
1.6	0.192	0.06	1	0.12	0.018	1.1	0.132	0.031875
1.6	0.192	0.06	1.3	0.156	0.054	1.4	0.168	0.067875
0.7	0.084	0.048	0.6	0.072	0.03	0.6	0.072	0.028125
1.5	0.18	0.048	1	0.12	0.018	1	0.12	0.019875
1.1	0.132	2.7756E-17	0.6	0.072	0.03	0.6	0.072	0.028125
1.3	0.156	0.024	1	0.12	0.018	1	0.12	0.019875
0.8	0.096	0.036	0.8	0.096	0.006	0.6	0.072	0.028125
1	0.12	0.012	0.6	0.072	0.03	0.4	0.048	0.052125
1	0.12	0.012	0.5	0.06	0.042	0.4	0.048	0.052125
1.1	0.132	2.7756E-17	0.8	0.096	0.006	1	0.12	0.019875
0	0	0.132	0	0	0.102	0	0	0.100125
0.6	0.072	0.06	0	0	0.102	0	0	0.100125
0.2	0.024	0.108	0	0	0.102	0	0	0.100125
0	0	0.132	0	0	0.102	0	0	0.100125
Ypromedio	0.132	1.2	Ypromedio	0.102	1.14	Ypromedio	0.100125	1.21125
	CUC	0.71590909		CUC	0.65073529		CUC	0.62195693

En las 6 lecturas que se hicieron en la primera subunidad se determina un CUC promedio de 0.6327=63.27% lo cual está por debajo de un porcentaje aceptable siendo este un indicador de problemáticas.

TABLA 12 PARÁMETROS USADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CUC DE LAS PRIMERAS 3 LECTURAS DE LA SEGUNDA SUB SECCION CON AYUDA DE EXCEL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Lec_1_mm/30s	LPH	ABSY-Ymedia	Lec_2_mm/3	LPH	ABSY-Ymedia	Lec_3_mm/3	LPH	ABSY-Ymedia
1.2	0.144	8.3267E-17	0.8	0.096	0.04055172	0.9	0.108	0.02275862
1.4	0.168	0.024	1.2	0.144	0.00744828	0.6	0.072	0.05875862
1.1	0.132	0.012	1	0.12	0.01655172	1	0.12	0.01075862
1	0.12	0.024	1	0.12	0.01655172	1	0.12	0.01075862
1.2	0.144	8.3267E-17	1	0.12	0.01655172	0.4	0.048	0.08275862
1.4	0.168	0.024	1.4	0.168	0.03144828	1.6	0.192	0.06124138
1.1	0.132	0.012	1	0.12	0.01655172	1	0.12	0.01075862
1.1	0.132	0.012	1.2	0.144	0.00744828	1	0.12	0.01075862
0.9	0.108	0.036	0.6	0.072	0.06455172	1.1	0.132	0.00124138
1.3	0.156	0.012	1.4	0.168	0.03144828	1.5	0.18	0.04924138
1.3	0.156	0.012	1.4	0.168	0.03144828	1.1	0.132	0.00124138
1	0.12	0.024	1.2	0.144	0.00744828	0.8	0.096	0.03475862
1.2	0.144	8.3267E-17	1.6	0.192	0.05544828	1.2	0.144	0.01324138
1.4	0.168	0.024	1.4	0.168	0.03144828	1.4	0.168	0.03724138
1.2	0.144	8.3267E-17	1.1	0.132	0.00455172	1.2	0.144	0.01324138
1	0.12	0.024	1.1	0.132	0.00455172	0.8	0.096	0.03475862
1.5	0.18	0.036	1	0.12	0.01655172	1.6	0.192	0.06124138
1.6	0.192	0.048	1.6	0.192	0.05544828	1.8	0.216	0.08524138
1.3	0.156	0.012	1.2	0.144	0.00744828	1.3	0.156	0.02524138
1.2	0.144	8.3267E-17	1.4	0.168	0.03144828	1.4	0.168	0.03724138
1	0.12	0.024	1	0.12	0.01655172	1.3	0.156	0.02524138
1.4	0.168	0.024	1.3	0.156	0.01944828	1.4	0.168	0.03724138
1.2	0.144	8.3267E-17	1.2	0.144	0.00744828	1.2	0.144	0.01324138
1.2	0.144	8.3267E-17	1.3	0.156	0.01944828	1	0.12	0.01075862
1.2	0.144	8.3267E-17	1.1	0.132	0.00455172	1	0.12	0.01075862
1.4	0.168	0.024	1.3	0.156	0.01944828	1.2	0.144	0.01324138
1.4	0.168	0.024	1	0.12	0.01655172	0.8	0.096	0.03475862
1	0.12	0.024	1.2	0.144	0.00744828	1	0.12	0.01075862
0.6	0.072	0.072	0	0	0.13655172	0	0	0.13075862
Ypromedio	0.144	0.528	Ypromedio	0.13655172	0.74234483	Ypromedio	0.13075862	0.94924138
	CUC	0.87356322		CUC	0.81253918		CUC	0.74967263

TABLA 13 PARÁMETROS USADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CUC DE LAS SEGUNDAS 3 LECTURAS DE LA SEGUNDA SUB SECCION CON AYUDA DE EXCEL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Lec_4_mm/3	LPH	ABSY-Ymedia	Lec_5_mm/3	LPH	ABSY-Ymedia	Lec_6_mm/3	LPH	ABSY-Ymedia
1.5	0.18	0.00124138	0.8	0.096	0.0417931	1	0.12	0.02027586
1.2	0.144	0.03724138	1	0.12	0.0177931	1.2	0.144	0.00372414
1.4	0.168	0.01324138	1	0.12	0.0177931	1	0.12	0.02027586
1.3	0.156	0.02524138	1	0.12	0.0177931	1	0.12	0.02027586
1.4	0.168	0.01324138	1	0.12	0.0177931	1.2	0.144	0.00372414
1.8	0.216	0.03475862	1.4	0.168	0.0302069	1.4	0.168	0.02772414
1.5	0.18	0.00124138	1.2	0.144	0.0062069	1.2	0.144	0.00372414
1.4	0.168	0.01324138	1.2	0.144	0.0062069	1.1	0.132	0.00827586
1	0.12	0.06124138	1	0.12	0.0177931	1	0.12	0.02027586
1.9	0.228	0.04675862	1.4	0.168	0.0302069	1.4	0.168	0.02772414
1.6	0.192	0.01075862	1.4	0.168	0.0302069	1.4	0.168	0.02772414
1.3	0.156	0.02524138	1.2	0.144	0.0062069	1.2	0.144	0.00372414
2	0.24	0.05875862	1.2	0.144	0.0062069	1.2	0.144	0.00372414
1.8	0.216	0.03475862	1.3	0.156	0.0182069	1.4	0.168	0.02772414
1.8	0.216	0.03475862	1.2	0.144	0.0062069	1.2	0.144	0.00372414
1	0.12	0.06124138	1	0.12	0.0177931	1	0.12	0.02027586
2	0.24	0.05875862	1.4	0.168	0.0302069	1.4	0.168	0.02772414
2.2	0.264	0.08275862	1.6	0.192	0.0542069	1.6	0.192	0.05172414
2	0.24	0.05875862	1.2	0.144	0.0062069	1.2	0.144	0.00372414
1	0.12	0.06124138	1.4	0.168	0.0302069	1.4	0.168	0.02772414
1.6	0.192	0.01075862	1.2	0.144	0.0062069	1.2	0.144	0.00372414
1.9	0.228	0.04675862	1.4	0.168	0.0302069	1.4	0.168	0.02772414
1.6	0.192	0.01075862	1.2	0.144	0.0062069	1.2	0.144	0.00372414
1.5	0.18	0.00124138	1.2	0.144	0.0062069	1.2	0.144	0.00372414
1.3	0.156	0.02524138	1	0.12	0.0177931	1	0.12	0.02027586
1.8	0.216	0.03475862	1.2	0.144	0.0062069	1.2	0.144	0.00372414
1.6	0.192	0.01075862	1	0.12	0.0177931	1	0.12	0.02027586
1.4	0.168	0.01324138	1.2	0.144	0.0062069	1.2	0.144	0.00372414
0	0	0.18124138	0	0	0.1377931	0	0	0.14027586
Ypromedio	0.18124138	1.06924138	Ypromedio	0.1377931	0.64386207	Ypromedio	0.14027586	0.58096552
	CUC	0.79656747		CUC	0.83887336		CUC	0.85718645

La eficiencia con la que cuenta la segunda sección de riego es buena ya que el promedio de las lecturas se encuentra en un 82.14%.

Mallas de aforo en Surfer

ILUSTRACIÓN 40 PRIMERA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB-UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG

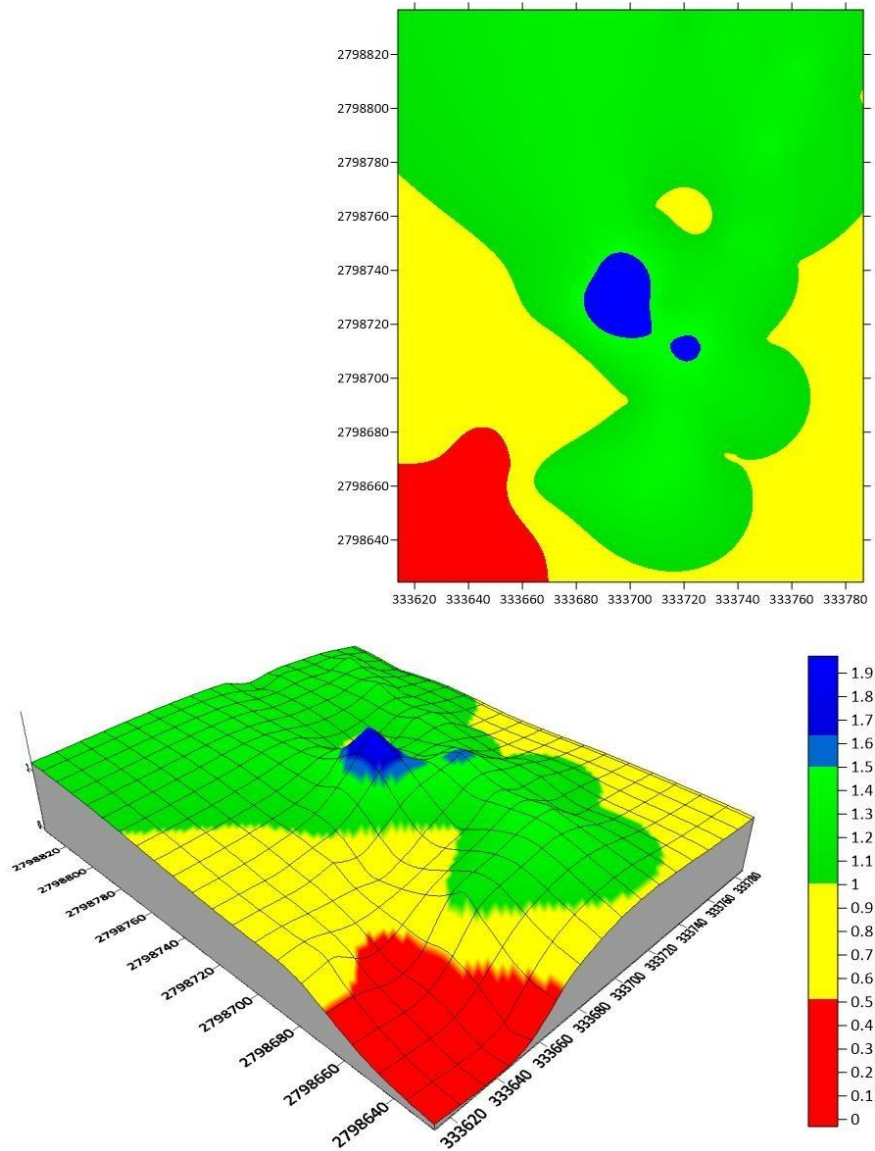


ILUSTRACIÓN 41 SEGUNDA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG

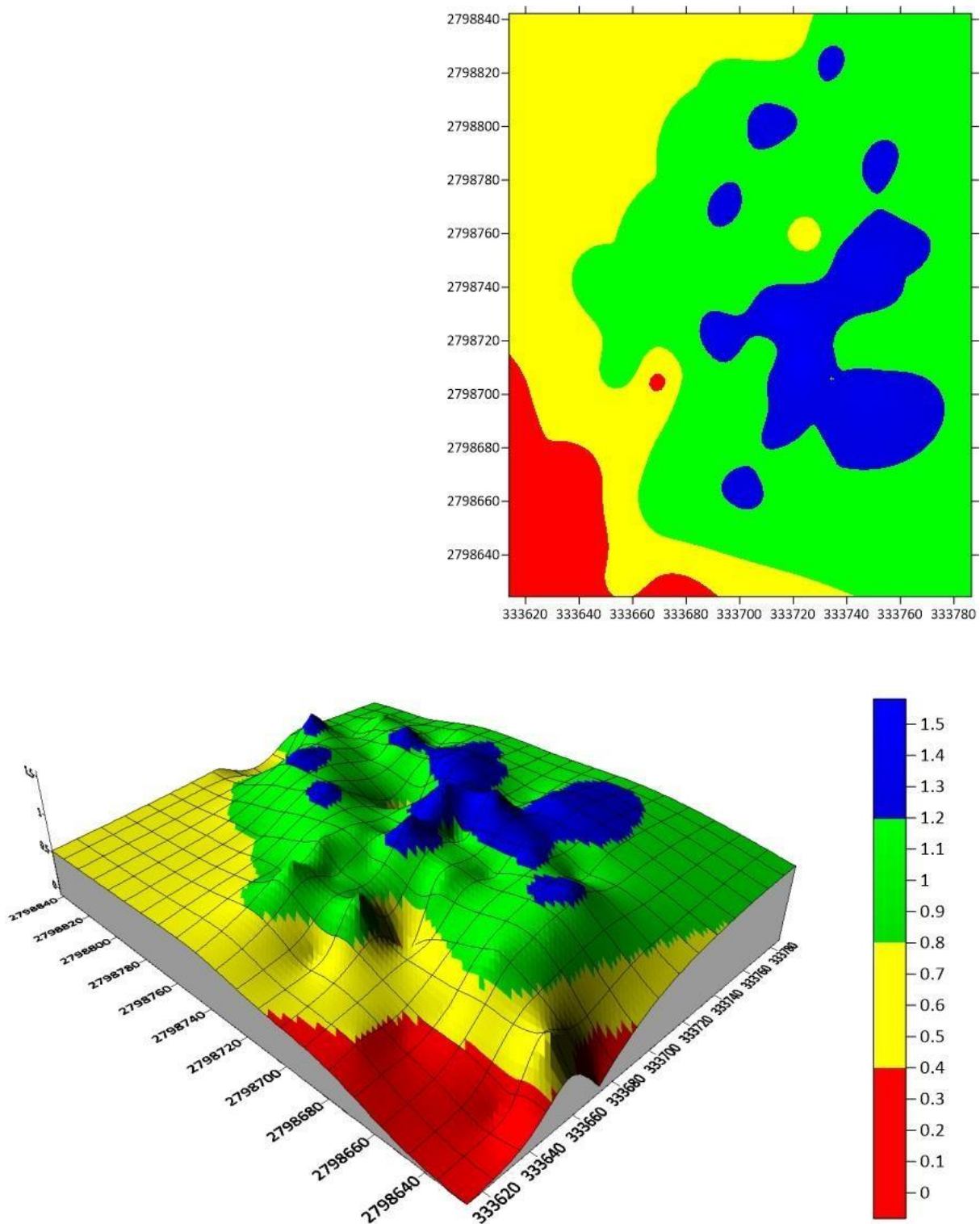


ILUSTRACIÓN 42 TERCERA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG

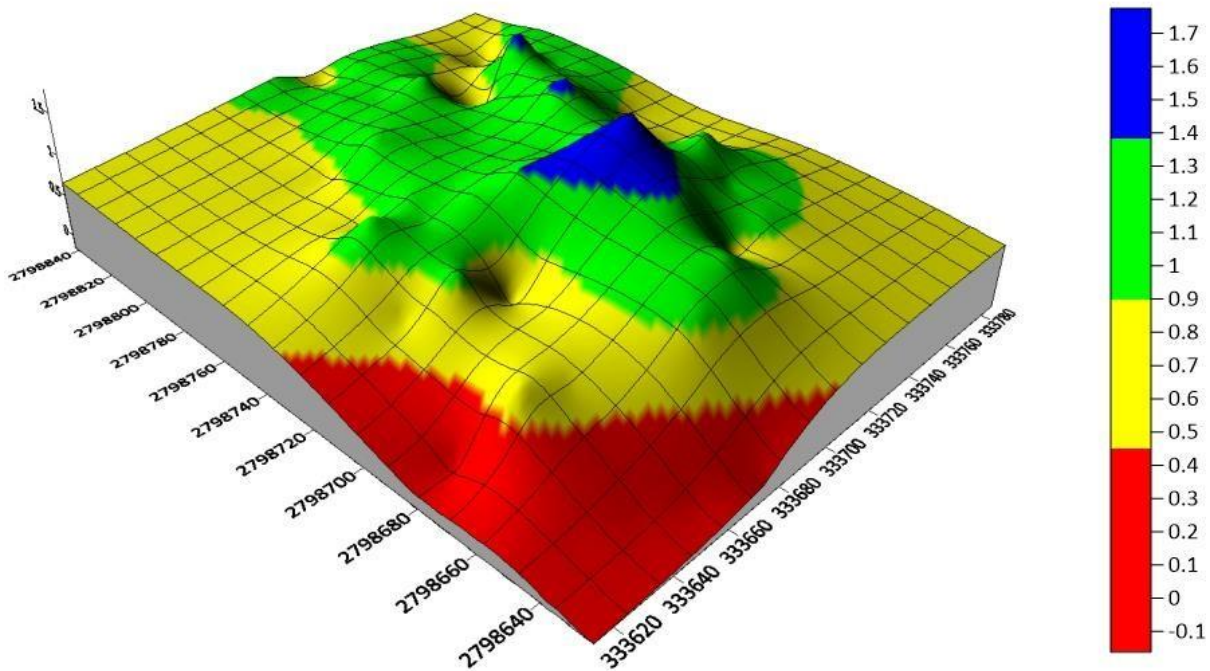
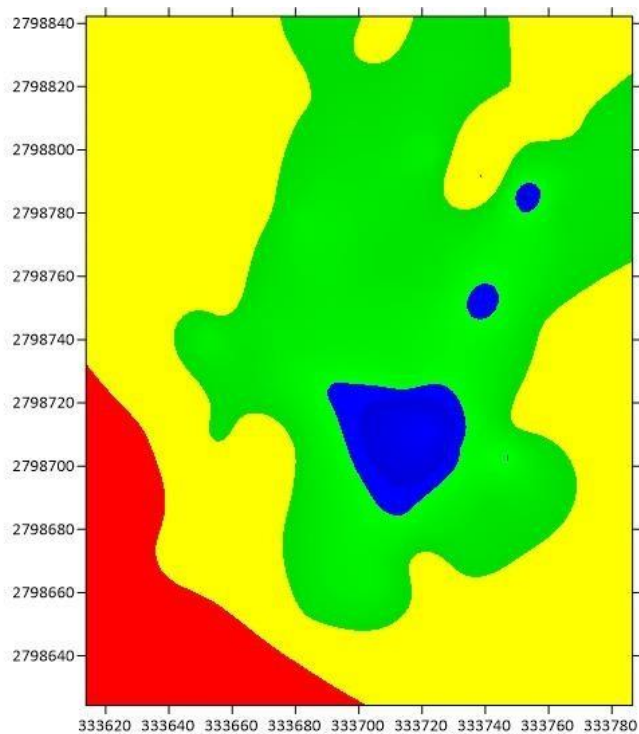


ILUSTRACIÓN 43 CUARTA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG

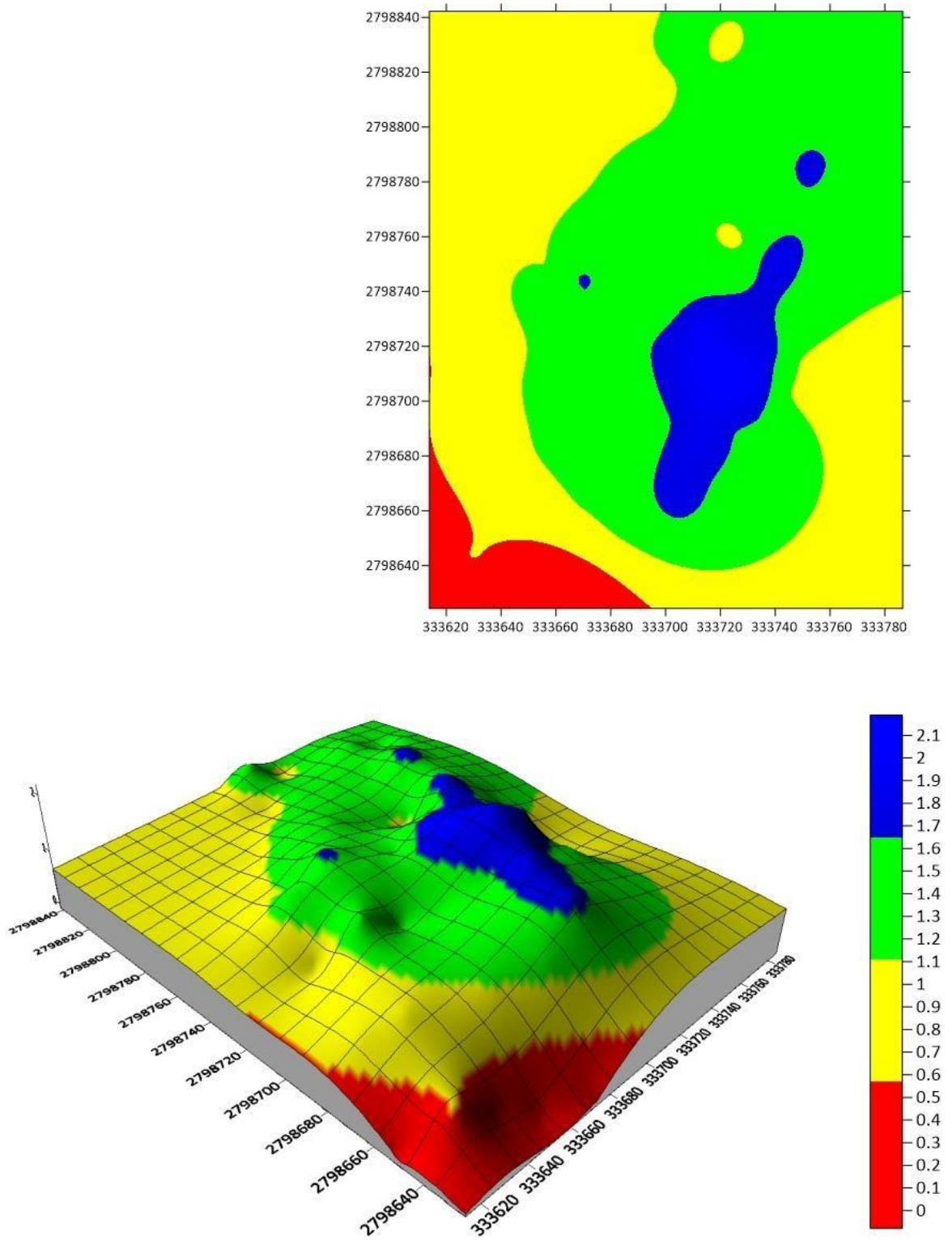


ILUSTRACIÓN 44 QUINTA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG

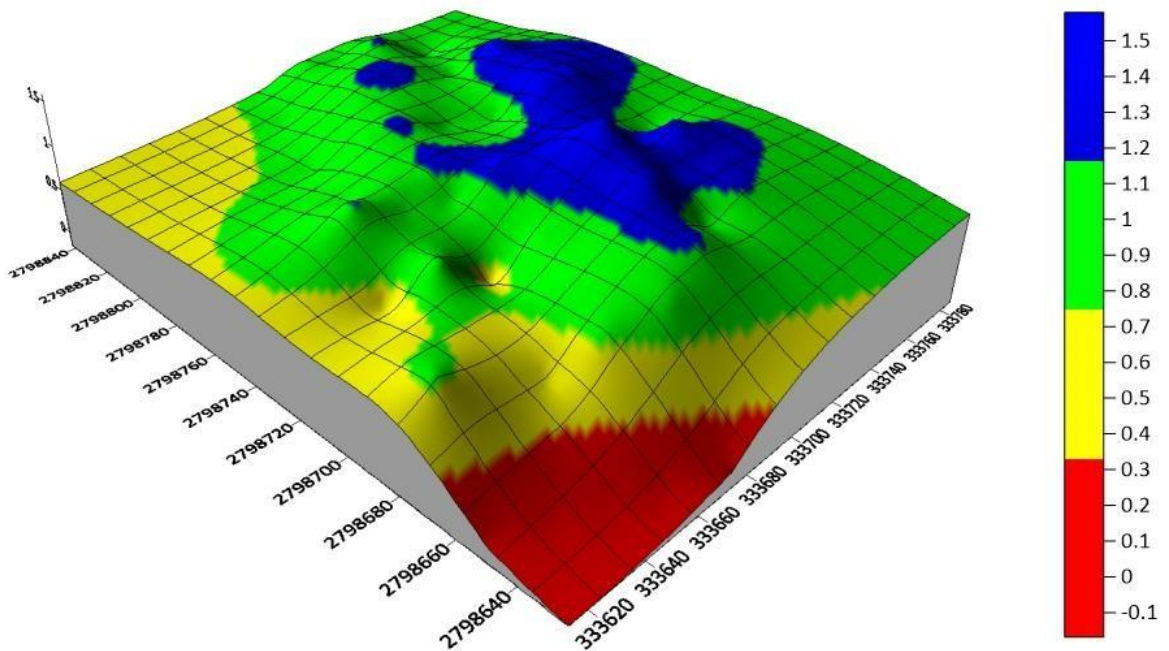
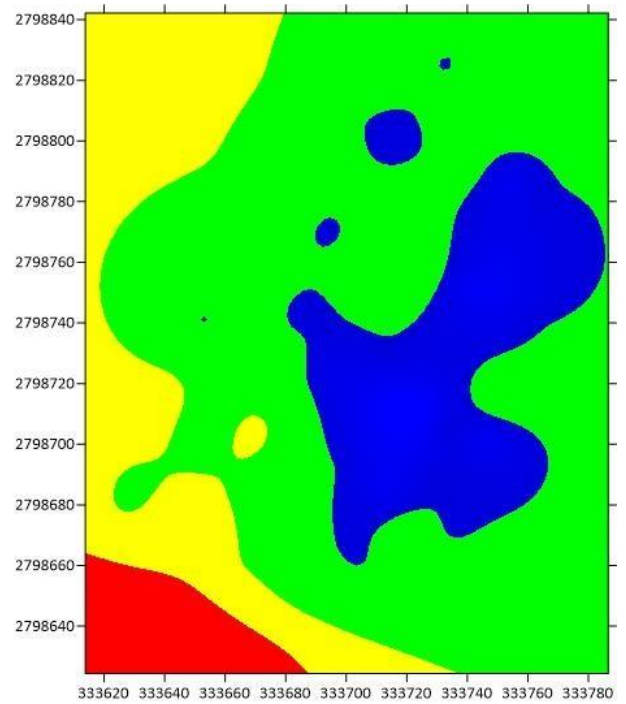


ILUSTRACIÓN 45 SEXTA LECTURA DE AFORO EN LAS SUB UNIDADES EN DONDE SE REPRESENTA EL GASTO APLICADO EN MM/30SEG

