

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RIEGO DE UN EQUIPO PIVOTE CENTRAL Y SU
RELACIÓN CON EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BOMBEO**

POR:

MARIA DE LOURDES RIVERA GARCIA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre 2017

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL RIEGO DE UN EQUIPO PIVOTE CENTRAL Y
SU RELACIÓN CON EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BOMBEO**

POR:

MARIA DE LOURDES RIVERA GARCIA

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial

Para obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

APROBADA POR:



Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna
Asesor principal



M.C. Tomas Reyna Cepeda
Coasesor



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coasesor



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería
Saltillo, Coahuila

Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"



Coordinación de la División
de Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme la vida hasta este instante, y haberme ayudado a superar cada una de las pruebas que me han tocado vivir. Por no haberme dejado a mitad de camino de este proyecto que hacía ya muchos años que había dejado a un lado y tan importante fue para mí retomarlo. Gracias Señor.

A Mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, gracias por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta hermosa "Alma Terra Mater" y finalmente proporcionarme una identidad como profesionista, que fue tan valiosa posterior a tan anhelado sueño.

En general a maestros del Departamento de Riego y Drenaje, gracias por sus consejos y colaboración a mi formación académica.

Al Dr. Salvador Muñoz Castro por invitarme a participar en este trabajo y por su ayuda para terminar esta obra, sobre todo por su amistad y especial paciencia en muchas circunstancias.

Al Dr. Fernando Augusto Villareal Reyna, Le agradezco el tiempo extra y los consejos que ha invertido en mi beneficio.

Al Mc. Luis Rodríguez Gutiérrez, por su apoyo Y disposición, en la revisión de este trabajo.

Al Mc. Tomas Reyna Cepeda, por su participación y apoyo en la revisión de esta tesis.

Dra. Rosa Elvira Valdez Ramos, muchas gracias por su tiempo y paciencia que me tuvo a la revisión de este documento.

Y a cada una de las personas que de alguna manera influyeron positivamente a lo largo de los años que estuve dentro de esta hermosa UAAAN.

DEDICATORIA

A mi madre, Paula García Montemolín, por no dejarme sola en esta dura decisión de retomar mis estudios, aun sabiendo que ya era más complicado, me apoyaste para lograr esta meta que sabías que hace tiempo era un deseo frustrado, gracias mamá por cuidar de Sebastián Y Elián quizá mejor que como lo hubiera hecho yo. Y por ser un gran ejemplo de fuerza y fortaleza, gracias por los consejos y amor que hasta el día de hoy has compartido conmigo. Te admiro mamá.

A mis hijos Elian y Sebastián, que son el motor de mi vida.

Gracias Sebastián que aun siendo pequeño colaboraste para que retomara nuevamente mis estudios, sé que quizá sin comprenderlo me diste ánimos para poder terminar este proyecto antes de tiempo, mi pequeño y gran amigo lamento mucho que mis malas decisiones del pasado te hayan arrastrado a que este tiempo de estudio nos mantuvieran lejos y ambos nos extrañáramos tanto como lo hicimos, te amo mi niño mayor y espero que nunca veas el tiempo que estuvimos lejos como un abandono de mí parte, porque entonces quizá no vería mi logro personal como tal, sino como el error más grande de mi vida.

Elian Jesús mi pequeñito, me siento dichosa de tenerte a mi lado y compartirte este logro que con mucho esfuerzo hemos culminado.

A mis adorables e inigualables hermanos que Dios me dio la dicha de tener:

Arturo Rivera, gracias porque que aun en tu ausencia me diste valor para iniciar este proyecto, y que ni toda la vida que me tocará vivir hubiera sido suficiente para disfrutar de tu compañía, mi vida contigo estaba completa, siempre te amare.

Guadalupe Rivera, gracias por tu apoyo hermana aun teniendo tú ya muchos problemas siempre te preocupas por mí, te amo hermana.

Griselda Rivera, gracias mi hermana mayor por tu ejemplo intacto de vida que tienes, gracias por darme tus consejos desde el perfecto ángulo que tienes, te amo Gris.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS	10
HIPÓTESIS:	10
I REVISION DE LITERATURA.....	11
1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.....	11
1.2 COMPONENTES DEL PIVOTE CENTRAL.....	13
1.2.1 PUNTO PIVOTE	13
1.2.2 EL PANEL DE CONTROL	14
1.2.3 ANILLO COLECTOR	15
1.2.4 SISTEMA DE PROPULSIÓN	16
1.2.5 LATERAL	16
1.3 VELOCIDAD DEL VIENTO COMO AFECTA EN LA ASPERSION.....	22
1.4 CULTIVOS	22
1.4.1 ZANAHORIA.....	22
1.4.2 CILANTRO.....	23
1.4.5 COL.....	24
1.5 USO CONSUNTIVO.....	24
1.6 COSTO ENERGETICO	25
1.7 EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN LOS SISTEMAS DE ASPERSIÓN	26
II METODOLOGIA.....	27
III RESULTADOS	29
3.1 APLICACIÓN DEL MÉTODO BLANEY Y CRIDDLE	30
3.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE VELOCIDAD DE INFILTRACION	40
3.3 CALCULO DE LA TASA DE PRECIPITACIÓN.	42
3.4 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CUC)	43
3.5 CALCULO DE CDT DE LOS DIFERENTES ESCENARIOS	47
IV CONCLUSIONES.....	54
BIBLIOGRAFIA.....	56
ANEXOS.....	59

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Gama de boquillas SENNINGER.....	21
TABLA 2. Cargo por Energía (\$/ Kwh). Fuente CFE Tarifa 2016.....	25
TABLA 3. Calculo del uso consuntivo tomando en cuenta los coeficientes de desarrollo y térmicos.....	30
TABLA 4. Uso consuntivo de zanahoria	30
TABLA 5. Uso consuntivo de Col.....	30
TABLA 6. Uso consuntivo de cilantro.....	31
TABLA 7. Datos del complejo agrícola.	32
TABLA 8. Altimetría y niveles de pozos.....	33
TABLA 9. Resultados de velocidad de infiltración Pivote 1	40
TABLA 10. Datos recabados para evaluar la tasa de precipitación	42
TABLA 11. Parámetros usados para determinar CUC.....	43
TABLA 12. Programa de riego en el cultivo de Zanahoria y determinación de DPH	45
TABLA 13. Programa de riego en el cultivo de Cilantro y determinación de DPH	46
TABLA 14. Programa de riego en el cultivo de Col y determinación de DPH	46
TABLA 15. Parámetros utilizados en los escenarios.....	52
TABLA 16. Total de Kw usado para Pivote 1.....	53
TABLA 17. Total de Kw usado en pivote 2.....	53
TABLA 18. Total de Kw usado en Pivote 3	53
TABLA 19. Costo total de bombeo ciclo marzo-junio 2016	54
TABLA 20. Total de venta marzo-junio 2016	54

INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO 1. Curva De Uso Consuntivo Col Y Zanahoria	31
GRAFICO 2. Curva de Uso Consuntivo del Cilantro	31
GRAFICO 3. Curva de Infiltración.....	41
GRAFICO 4. Curva de comportamiento de Pluviometría	43

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Programa integral de desarrollo rural 2014. Carta tecnológica # 16. SAGARPA.	23
CUADRO 2. Programa integral de desarrollo rural 2014. Carta tecnológica # 6. SAGARPA.	23
CUADRO 3. Programa integral de desarrollo rural 2014. Carta tecnológica # 3. SAGARPA.	24

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Pivote central en operación.....	13
FIGURA 2. Punto pivote.....	14
FIGURA 3. Panel de control	14
FIGURA 4. Cuellos de ganso para colgante	17
FIGURA 5. Manguera Reforzada para bajante	17
FIGURA 6. Adaptadores para bajante	18
FIGURA 7. Contrapesos	18
FIGURA 8. Reguladores de Presión	18
FIGURA 9. Diseño sin reguladores de presión.....	19
FIGURA 10. Diseño con reguladores de presión	19
FIGURA 11. Diferentes opciones de aspersor para pivote SENNINGER.....	20
FIGURA 12. Aspersores Nelson serie 3000	21
FIGURA 13. Típicos efectos de la distribución del agua en el cultivo bajo riego.....	26
FIGURA 14. Plano De Localización Carta Monterrey G14-7	29
FIGURA 15. Valle de “San Antonio de las Alazanas” Sierra de Arteaga Coahuila.....	32
FIGURA 16. Líneas de Suministro Pozo 3 - PRP. 6” PVC	33
FIGURA 17. Líneas de Suministro Línea PRP-B´ 6” PVC.....	34
FIGURA 18. Líneas de Suministro Línea Pozo 4 – B´ 4” PVC	34
FIGURA 19. Líneas de Suministro Línea B´ – C´ 10” PVC	35
FIGURA 20. Líneas de Suministro Línea Pivote 1–Pivote 2 10” PVC.....	35
FIGURA 21. Líneas de Suministro Línea Pivote 3–Pivote 4 10” PVC.....	36

FIGURA 22. Líneas de Suministro Línea Pozo 1-D´ 6" PVC	36
FIGURA 23. Líneas de Suministro Línea Pozo 2 – D´ 10" PVC	37
FIGURA 24. Líneas de Suministro Línea C´-Pivote 2 10" PVC.....	37
FIGURA 25. Líneas de Suministro Línea Pivote 2- Pivote 3 10 "PVC.....	38
FIGURA 26. Punto de intersección E´	38
FIGURA 27. Líneas de Suministro Línea D´- Pivote 1 6" PVC	39
FIGURA 28. Líneas de Suministro Línea Pozo 5 – Pivote 4. 10" PVC.....	39
FIGURA 29. Comportamiento de líneas de abastecimiento para escenario 1	47
FIGURA 30. Comportamiento de las líneas de abastecimiento para escenario 2.....	48
FIGURA 31. Comportamiento de líneas de abastecimiento para escenario 3.....	50

INTRODUCCIÓN

La productividad del agua en las unidades de riego es un indicador clave para evaluar la eficiencia con la que se utiliza el agua para la producción de alimentos, que depende de la eficiencia en la conducción desde la fuente de abastecimiento hasta las parcelas y la aplicación de la misma. Cabe aclarar que la productividad del agua puede tener una gran variación por las condiciones meteorológicas.

De cada 100 litros de agua usados en México, 76 son empleados en actividades agropecuarias, 50 provienen de aguas superficiales y 26 del subsuelo. Existen en nuestro país 30.2 millones de hectáreas agrícolas, de las cuales el 18% es de riego y el resto de temporal. En México la superficie sembrada cada año es de 22 millones de hectáreas aproximadamente. La superficie de riego tiene un rendimiento en toneladas por hectárea de 2.2 a 3.3 veces mayor que la de temporal.

A nivel mundial se estima que la agricultura de riego origina el 40% de la producción agrícola, con la 5ª parte de la superficie total cultivada. México ocupa el 7º lugar entre los países con mayor infraestructura de riego (Programa Editorial del Gobierno de la República, 2014).

El riego ha experimentado en las últimas décadas una notable transformación como consecuencia de la aplicación de tecnologías de distribución del agua a presión, mejorando la gestión de los recursos hídricos cada vez más limitados. No obstante, fruto de esta transformación, el regadío se ha convertido, junto con la maquinaria agrícola, en el principal consumidor de energía dentro del sector agrario, de forma que el coste energético que supone el funcionamiento de los equipos de bombeo durante la temporada de riego puede tener para el agricultor un 30 - 40% de los costes totales del cultivo.

Los sistemas de riego a presión necesitan energía para que los emisores realicen un correcto reparto del agua sobre la superficie a regar. Normalmente esta energía hidráulica hay que suministrársele mediante el correspondiente bombeo (Márquez, 2012).

Puede concluirse que una unidad de riego es mucho más que una colección de agua, infraestructura y superficie, ya que implica además aspectos legales, administrativos, socioeconómicos y productivos muy importantes e interdependientes entre sí.

Palabras Clave: Evaluación, Eficiencia, Pivote Central, MHP (Motor Horse Power) y Costo Energético.

OBJETIVO GENERAL

- Realizar una evaluación técnica de tres pivotes de riego, y comparar los coeficientes de uniformidad de Hermann y Hein, y Christiansen así como la eficiencia de aplicación y de requerimiento, contra los volúmenes de bombeo y consumo de kwh. Para poder determinar el Costo de Kwh/lps/Hora.

OBJETIVOS

- Determinar la calidad del riego en tres máquinas de pivote central a partir de la tasa de precipitación promedio y de la velocidad de infiltración del suelo.
- Analizar el costo por hectárea de bombeo generados en la irrigación del ciclo agrícola 2016
- Indicar con tablas y graficas los comportamientos de la eficiencia de aplicación, Eficiencia de requerimiento y CUC.
- Proponer una metodología para optimizar los recursos naturales y la energía.

HIPÓTESIS:

Dado la forma de irrigar los cultivos de zanahoria, col y cilantro en la región del valle de San Antonio de las Alazanas bajo el sistema de pivote central, “considero que es una práctica de riego ineficiente”, ya que se irriga como una acción mecánica hidráulica sin considerar las variables del suelo, planta y atmosfera, provocando con esto un excedente en la humedad del suelo, perdiendo grandes volúmenes de agua y en consecuencia grandes costos de bombeo, con este antecedente considero se puede tener un consumo 1.05 lps/ha en lugar del 1.6 lps/ha que actualmente se utilizan.

I REVISION DE LITERATURA

1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

El primer intento conocido data de 1878 cuando un ingeniero francés John Winnebrenner patentó una tubería que transportaba agua que era tirada por caballos y giraba como las agujas de un reloj.

A mediados del siglo XX el concepto reapareció gracias a la visión e inteligencia de un agricultor de 55 años Frank Zybach, de Strasburg, Colorado, quien diseñó, ensambló y patentó un "aparato autopropulsado de riego por aspersores" lo que hoy es conocido como riego por pivote central y en la actualidad estos sistemas riegan millones de hectáreas de cultivos agrícolas en todo el mundo. (Morábito, 2015)

En julio de 1952 la patente obtenida por el invento de Zybach marcó el comienzo de una revolución en la tecnología de riego. A este invento se le dio el nombre de pivote central. Un año después de que Zybach recibiera su patente se asoció con el comerciante de Columbus, Nebraska, A. E. Trowbridge. Este último se comprometió a financiar la fabricación de las máquinas en Columbus por el 49% del derecho de patente. Comenzaron a construir en 1953 pero un año después le vendieron los derechos de fabricación a Robert Daugherty, presidente de una pequeña fábrica de maquinaria que comenzó a comercializar las máquinas.

Para finales de los 60' la popularidad de los pivotes centrales se disparó y cuando la patente original estaba por expirar en 1969 otros fabricantes entraron al negocio.

Y como el patrón de riego de los pivotes es en círculo no coincidía con la forma de los predios en 1974 se introdujo el sistema de "esquinero", el que consistió en una extensión del pivote central de hasta 80 m, la que cuenta con una torre móvil propia y control. El esquinero se despliega y repliega desde el extremo móvil del pivote activándose automáticamente en las esquinas.

Hacia 1979, de los 20 millones de hectáreas bajo riego en EEUU sólo el 17 % era regado mediante sistema de pivote. Para 2003 este porcentaje aumentó al 51 %. En Brasil, uno de los países que lideran el riego por pivote en Latinoamérica, el área bajo riego en 2006 era de 3,4 millones de hectáreas (7.1 % del total agrícola en ese momento). El método de riego por superficie ocupaba por entonces 1.729.800 has; los pivotes centrales 710.600

has (21 % del área irrigada), la aspersión convencional 662.300 has y el riego localizado 337.800 has. (Morábito, 2015)

La gran mayoría de los sistemas actuales son accionados por motores eléctricos conectados a cajas de cambios en las ruedas de las torres. Otros, son hidráulicos. Además, en la actualidad, casi todas estas máquinas se mueven sobre ruedas de goma de diversos diámetros y anchos de neumático, las que por lo general se seleccionan procurando minimizar la profundidad de las huellas en el campo.

Las máquinas de riego han llegado ya a la plenitud de su desarrollo mecánico (Tarjuelo, 1999). Ahora evolucionan hacia la mejora de la eficiencia. Los nuevos desarrollos se dirigen principalmente hacia los emisores. El objetivo es encontrar emisores que trabajen a baja presión, tengan un gran alcance y sean poco afectados por el viento.

En el mercado existe un sin número de tipos y modelos de emisores para pivotes centrales, los cuales se diferencian según el volumen aplicado en el tiempo (razón de aplicación), diámetro de mojado, presión requerida y costo. La selección de los aspersores debe orientarse a minimizar la dimensión de la bomba y, por consiguiente, el costo energético de operación expresado en Kwh. Además, tiene que aplicarse una lámina de agua de manera uniforme para satisfacer los requerimientos de riego y, a la vez, evitar la escorrentía superficial o pérdida del agua que escurre fuera del alcance de las plantas y que posteriormente repercute en el rendimiento del cultivo. Para cumplir estas metas es importante considerar la disponibilidad de flujo, tamaño del pivote central, tipo de suelo (textura y velocidad de infiltración), clima (evapotranspiración y viento) y los requerimientos de agua de los cultivos. (Perez, L. R., Blanco, C. J. L., Piña, G.N., Perez, G. A. G. 2010).

La correcta selección y utilización de los dispositivos de emisión en las máquinas de pivote central de acuerdo con las condiciones de suelo, clima y la identificación de los factores que afectan el régimen de explotación de esta técnica, permitirían incrementar la calidad del riego en los cultivos y lograr con ello un riego más eficiente y por tanto obtener mayores rendimientos y minimizar los costos.

1.2 COMPONENTES DEL PIVOTE CENTRAL



FIGURA 1. Pivote central en operación

Los sistemas por pivote central son máquinas autopropulsadas diseñadas para regar en círculos. Están equipados con un lateral auto desplazable con un extremo fijo que sirve como punto pivote para que el lateral gire cubriendo una zona de riego circular generalmente se alimentan de una fuente de agua que se encuentra en el centro del campo y el agua se traslada hacia el lateral rotatorio, soportado por las torres y un sistema de guías controla el movimiento de las torres, con la finalidad de que éstas se muevan a una velocidad que las mantenga alineadas con la unidad central. La última estructura es la que realiza el mayor recorrido y su velocidad controla la velocidad de todo el sistema sobre el lateral existen una serie de salidas para cada uno de los aspersores o emisores, los cuales trabajan en un rango de presión de: 20 hasta 150 psi, así un pivote central puede trabajar con un caudal que va desde 198 a 1,200 galones por minuto.

1.2.1 PUNTO PIVOTE

Es la estructura central de forma piramidal, alrededor de la cual gira todo el sistema, normalmente tiene cuatro patas que están fijadas a una losa de cimentación (en los sistemas remolcables tienen unas ruedas que permiten transportarlo fácilmente por el campo). El agua entra por la base del pivote y continúa a través del tubo de subida y del codo giratorio.

Esta estructura se encuentra Anclada sobre una losa de concreto armado que absorbe perfectamente los esfuerzos de trabajo generados por la topografía del terreno y la

rotación de la máquina. En la base se coloca la caja de control que permite coordinar la operación manual y automática de la unidad de bombeo, la velocidad y sentidos de giro del lateral.



FIGURA 2. Punto pivote

1.2.2 EL PANEL DE CONTROL

Se ubica generalmente en la estructura base o centro del pivote o en un costado del predio. Este permite la programación electrónica de todas las funciones que es capaz de realizar el equipo. Tales como:



FIGURA 3. Panel de control

1. Arranque/Parada
2. Adelante/Atrás
3. Velocidad del sistema que controla la cantidad de agua aplicada.
4. Auto reversa en el centro o en cualquier torre

5. Parada por temperatura o baja presión
6. Arranque automático tras fallo energético
7. Control del esquinero y cañón final

Si el temporizador de velocidad está al 100%, la última torre estará en continuo movimiento, el sistema estará a su máxima velocidad y aplicando la menor cantidad de agua., Para incrementar el riego, el sistema debe ir más despacio.

Para el alineamiento en cada una de las torres intermedias, se encuentra una barra de control unida a la base de la caja eléctrica de la torre y al tramo siguiente. Al moverse la última torre, la barra de control de la penúltima va girando, al detectar desalineación enciende y apaga el micro de trabajo, activando el motor de la torre que se mueve hasta que está en línea con la siguiente torre.

También se tiene un circuito de seguridad en cada torre tiene un micro de seguridad. Si por cualquier causa el sistema se sale demasiado de su alineamiento, estos micros paran el sistema. Con ello se evitan daños estructurales.

1.2.3 ANILLO COLECTOR

La energía se conduce por un cable de 11 líneas, el cual sale del generador, pasando por un anillo colector que convierte el flujo vertical de corriente a flujo horizontal.

Permite que toda la energía eléctrica se mantenga fuera del tubo de subida del agua, tomando los 380 V de fuerza del panel principal y distribuyéndola a cada torre. Las claves de sus finalidades son: montaje externo, su diseño externo que evita perdidas de carga adicionales, y una robusta cubierta de poliéster prensado resistente a la corrosión protege el anillo de la humedad.

El cable se conecta a un interruptor eléctrico, posicionado uno sobre cada torre, el cual permite que fluya energía al motor de la respectiva torre y éstos a su vez generan un movimiento rotativo que se conduce hacia cajas de engranajes por medio de transmisiones. Cada caja de engranajes está conectada a uno de los neumáticos o ruedas de las torres, de esa forma se genera el desplazamiento del pivote. El colector está compuesto de unos anillos de latón, apilados y aislados unos de otros. Éstos están fijos, unas escobillas giran alrededor transmitiendo la electricidad, sin forzar el cable mientras el sistema está dando vueltas alrededor del campo.

1.2.4 SISTEMA DE PROPULSIÓN

Los motores eléctricos que mueven cada torre se abastecen de energía producida por un generador eléctrico, el que se ubica en la parte central del pivote, o bien puede ser de una línea del tendido eléctrico. En la caja de control que se encuentra en cada torre motriz, sus componentes básicos incluyen dos micros (trabajo y seguridad) y un contactor de motor. Unos cables con código de colores que recorren todo el sistema entran y salen de cada caja. El cable del tramo lleva dos tipos de carga eléctrica, 380 voltios para mover los motores de las torres motrices y 110 voltios para control y maniobra.

1.2.5 LATERAL

La línea lateral está suspendida sobre el área cultivada por medio de estructuras metálicas llamadas torres espaciadas según el fabricante

Los tramos, que tienen forma de arco, constan de tubería principal que puede ser de diferentes diámetros y de una serie de tirantes y estructuras en forma de V que dan mayor firmeza y seguridad al conjunto. Las diferentes longitudes de los tramos permiten al unirlos unos a otros, formar longitudes totales distintas. La unión entre tramos se hace mediante enganches que permiten oscilaciones (laterales y verticales) y conexiones para la unión.

La lateral del pivote incluye una serie de accesorios que la convierten además en tubería porta emisores, ya que incluyen salidas de entre (1.45-2.70 m) según el fabricante.

- Cuellos de ganso:

Están contruidos en termoplástico no-corrosivo resistente a los rayos UV para mayor vida útil y menor taponamiento. Los cuellos de ganso permiten colocar el aspersor más cerca del cultivo, a fin de reducir la deriva por el viento.

Las presentaciones más comunes son las siguientes, todos con rosca macho de $\frac{3}{4}$ y salidas niple de $\frac{3}{4}$, ya solo es necesario ajustar la manguera con una abrazadera de acero inoxidable.



FIGURA 4. Cuellos de ganso para colgante

- Colgante

Manguera reforzada flexible de 3/4" extremadamente durable. Su construcción duradera con cobertura de PVC resistente a UV, fibras de refuerzo de poliéster y un núcleo de tubería de PVC garantizan su vida útil de 2 años.



FIGURA 5. Manguera Reforzada para bajante

- Adaptadores

Construidos en termoplástico no-corrosivo y resistente a UV para mayor vida útil. Fáciles de usar, se conectan fácilmente a la manguera reforzada de 3/4".

El adaptador remarcado es exclusivo para las conexiones Nelson.



FIGURA 6. Adaptadores para bajante

- Contrapesos

Proporciona estabilidad para los bajantes de los aspersores de pivote.



FIGURA 7. Contrapesos

- Regulador de presión

Mantienen una presión predeterminada y constante de salida que puede adaptarse al diseño del aspersor, independientemente de las variaciones que haya en la presión de entrada. Esto ayuda a mantener la integridad y el rendimiento del patrón de aspersión.

Se encuentra una gama amplia de presiones que van de 6-50 psi según el fabricante y con diferentes conexiones según la marca.



FIGURA 8. Reguladores de Presión

Las fluctuaciones de presión no controladas en los sistemas de riego resultan en desviaciones de caudal no deseadas y en exceso de riego o deficiencia del mismo. El uso correcto de los reguladores de presión evita estas fluctuaciones debidas a cambios de topografía, variaciones en la demanda de los sistemas y en el suministro de agua, y contribuye a mantener la eficiencia general de un sistema de riego.



FIGURA 9. Diseño sin reguladores de presión

Muchos sistemas de riego tienen el potencial de experimentar cambios de topografía y presión que causan fluctuaciones de caudal en los sistemas no regulados.



FIGURA 10. Diseño con reguladores de presión

La aspersion se mantiene uniforme aun cuando cambia la topografía.

- Emisores

Los regantes que utilizan pivotes centrales buscan maneras de reducir el uso de agua y los costos de energía constantemente, aumentando al mismo tiempo el rendimiento de sus cultivos. Un paquete de aspersores correctamente diseñado contribuirá a garantizar que se cumplan estas metas.

La siguiente gama de emisores Senninger son productos de baja presión y alto desempeño que ayudan a reducir el escurrimiento, mejoran la uniformidad, y ayudan a preservar la estructura del suelo.

i-Wob



Angulo Estándar
6 Ranuras
• Deflector gris
• Gotas pequeñas

Angulo Estándar
9 Ranuras
• Deflector negro
• Gotas medianas

Angulo Bajo
9 Ranuras
• Deflector azul
• Gotas medianas

Angulo Bajo
6 Ranuras
• Deflector blanco
• Máximo tamaño
de gotas



Super Spray



Plano - Ranurado



Cóncavo - Ranurado



Convexo - Ranurado



Plano - Liso



Cóncavo - Liso



Convexo - Liso

Xi-Wob



Xi- Wob TOP



Excel wobbler



FIGURA 11. Diferentes opciones de aspersor para pivote SENNINGER

Boquillas Senninger:

- Codificadas por color para fácil identificación de tamaño
- Excelente durabilidad
- Garantizadas a mantener su diámetro de orificio correcto por cinco años.

#4 Celeste	1/16	(0.063) in.	(1.59mm)
#5 Beige	5/64	(0.078) in.	(1.98mm)
#6 Dorado	3/32	(0.094) in.	(2.38mm)
#7 Lima	7/64	(0.109) in.	(2.78mm)
#8 Lavanda	1/8	(0.125) in.	(3.18mm)
#9 Gris	9/64	(0.141) in.	(3.57mm)
#10 Turquesa	5/32	(0.156) in.	(3.97mm)
#11 Amarillo	1 1/64	(0.172) in.	(4.37mm)
#12 Rojo	3/16	(0.188) in.	(4.76mm)
#13 Blanca	1 3/64	(0.203) in.	(5.16mm)
#14 Azul	7/32	(0.219) in.	(5.56mm)
#15 Marrón Oscuro	1 5/64	(0.234) in.	(5.95mm)
#16 Naranja	1/4	(0.250) in.	(6.35mm)
#17 Verde Oscuro	1 7/64	(0.266) in.	(6.75mm)
#18 Púrpura	9/32	(0.281) in.	(7.14mm)
#19 Negro	1 9/64	(0.297) in.	(7.54mm)
#20 Turquesa Oscuro	5/16	(0.313) in.	(7.94mm)
#21 Mostaza	2 1/64	(0.328) in.	(8.33mm)
#22 Granate	1 1/32	(0.344) in.	(8.73mm)
#23 Crema	2 3/64	(0.359) in.	(9.13mm)
#24 Azul Oscuro	3/8	(0.375) in.	(9.53mm)
#25 Cobre	2 5/64	(0.391) in.	(9.92mm)
#26 Bronce	1 3/32	(0.406) in.	(10.32mm)

TABLA 1. Gama de boquillas SENNINGER

Aspersores Nelson irrigation

La serie 3000 de emisores Nelson cuenta con una gama amplia de boquillas en numeraciones del 9-50 en incrementos 1/128" en colores llamativos para diferenciar el # de boquilla.



FIGURA 12. Aspersores Nelson serie 3000

1.3 VELOCIDAD DEL VIENTO COMO AFECTA EN LA ASPERSION

El viento es uno de los factores más condicionantes del riego por aspersión. Las gotas de lluvia que simula el método son arrastradas fácilmente por este, lo que impide una buena uniformidad de aplicación. En estos casos se recomienda en horas de menor o ausencia total del viento. Muchas de las veces este efecto se compensa con disminuir la separación de los aspersores o utilizar emisores que proporcionen gotas más grandes que por su peso eviten el arrastre. (Varas, B.E., Sandoval, H. J. 1989).

Hart y Heermann (1976), citado por Jensen (1980), reportan que el efecto principal del viento en este tipo de equipos es el aumento o disminución del área regada, de acuerdo a la dirección del viento respecto a la posición del lateral; encontrando un aumento del 19% del área regada cuando la posición del lateral fue paralela a la dirección del viento.

Pair, (1975), reporta coeficientes de uniformidad entre 80-85% bajo velocidades del viento de 1.3 a 4.5 m/seg y dirección del viento igual a la de la lateral.

1.4 CULTIVOS

El riego de casi todas las hortalizas en suelos arenosos se realiza mediante aspersión: fija, pivotes centrales, sistemas de avance frontal y cañones enrolladores. El riego por goteo es otra opción para algunos cultivos, pero no favorece la germinación.

Un elemento clave en la producción de zanahoria es la calidad del agua. Se recomienda solo usar agua de pozo. El agua superficial de canales es más cálida y las bacterias que contiene pueden hacer que se pudra el cultivo.

1.4.1 ZANAHORIA

Las zanahorias con plantas bienales de la familia de las umbelíferas, la misma familia botánica que pertenece al apio, al hinojo. Estas plantas se cultivan por sus raíces comestibles.

La demanda de agua aumenta significativamente una vez que las zanahorias crecen. De acuerdo con la Universidad de Minnesota, las granjas de zanahorias de California proporcionan alrededor de 35 a 38 cm durante la estación de crecimiento, mientras que los agricultores de Michigan ofrecen de 25 a 35 cm. La estación de crecimiento dura de 50 a 95 días. En el calor más alto en la cima de su crecimiento, las zanahorias pueden requerir hasta un 0,6 cm de agua por día.

Cultivo de Zanahoria																																													
SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	...	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43														
ETAPAS DE DESARROLLO																																													
	EMERGENCIA	DESARROLLO DE LAS HOJAS										DESARROLLO DE PARTES VEGETATIVAS COSECHABLES						MADUREZ COMERCIAL	VERNALIZACIÓN	FLORACIÓN	FORMACIÓN DE FRUTO	MADURACIÓN DE FRUTOS Y SEMILLAS	SENESCENCIA																						
LABORES	SIEMBRA	APLICACIÓN DE COMPOSTA																			COSECHA											COSECHA DE SEMILLA													
		DESHIERBES																																											
PLAGAS Y ENFERMEDADES	 GUSANO ALAMBRE, PULGÓN, MOSCA DE LA ZANAHORIA, GUSANOS GRISES																																												
CONTROL	APLICACIÓN DE AJO, CEBOLLA Y JABÓN.																																												

CUADRO 1. Programa integral de desarrollo rural 2014. Carta tecnológica # 16. SAGARPA.

1.4.2 CILANTRO

El cilantro es una hierba anual de la familia de las Apiáceas. Su nombre genérico *Coriandrum* viene del griego Korios que quiere decir chinche (el insecto), en alusión al desagradable olor que producen sus frutos aun verdes, y su nombre específico *Sativum*, quiere decir que es una planta cultivada. Sus orígenes parecen inciertos, aunque por lo general se considera una planta proveniente del norte de África y el sur de Europa.
















La aplicación de 200 mm de agua parece ser adecuado para que el follaje de cilantro conserve su calidad durante un período mayor de tiempo.

Cultivo de Cilantro																		
SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ETAPAS DE DESARROLLO																		
	GERMINACION	DESARROLLO DE HOJAS						ELONGACION DE TALLO Y FORMACIÓN DE INFLORESCENCIA						MADURACIÓN DE SEMILLA				
LABORES	RIEGO	RIEGO, DESHIERBE Y MANEJO DE PLAGAS					COSECHA DE FOLLAJE	RIEGO, DESHIERBE Y MANEJO DE PLAGAS						COSECHA DE SEMILLA				
PLAGAS Y ENFERMEDADES	 MOSQUITA BLANCA, GALLINA CIEGA, PULGON																	
CONTROL	AJO Y CHILE, APLICADO AL SUELO Y AL FOLLAJE																	

CUADRO 2. Programa integral de desarrollo rural 2014. Carta tecnológica # 6. SAGARPA.

1.4.5 COL

La col china pertenece a la familia *Cruciferae*. Su nombre botánico es *Brassica campestris* L. sp. *pekinensis*. Esta planta se ve afectada por las bajas temperaturas; por debajo de los 8°C se paraliza. El óptimo de desarrollo de la col china está en 18-20°C. Y el óptimo para la formación de cogollos está entre los 15-16°C. La “subida de flor” se suele producir cuando la planta se ve sometida a temperaturas menores a los 12°C.

Cultivo de la Col																																		
SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
ETAPAS DE DESARROLLO																																		
LABORES	CUIDADO EN ALMÁCIGO			TRASPLANTE		DESHIERRES	APORQUE								COSECHA					CORTAR EN CRUZ LA PARTE SUPERIOR DE LA										COSECHA SEMILLA				
PLAGAS Y ENFERMEDADES	PULGÓN, POLILLA DE LAS CRUCIFERAS, ORUGAS DE LA COL   																																	
CONTROL	Ajo y jabon para pulgones y té de tabaco al follaje para polillas y orugas de la col.																																	

CUADRO 3. Programa integral de desarrollo rural 2014. Carta tecnológica # 3. SAGARPA.

1.5 USO CONSUNTIVO

El uso consuntivo es factor esencial para determinar los coeficientes netos y brutos del riego, pues constituye el dato básico para estimarlos. En efecto, lo que primordialmente interesa al agricultor 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.

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

1.6 COSTO ENERGETICO

Las tarifas eléctricas para bombeo agrícola las establece y publica la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en el Diario Oficial de la Federación (DOF). En 2003, a raíz del Acuerdo Nacional para el Campo, se establecieron las tarifas eléctricas de estímulo en la Ley de Energía para el Campo (LEC). Por esta razón los agricultores buscan tener una concesión de agua no para evitar las multas y sanciones de CONAGUA, sino para tener acceso a las tarifas de estímulo de electricidad para bombeo y rebombeo agrícola.

Para el año 2016 el costo fue de \$.56 cargo por kw/h en el periodo diurno y \$.28 cargo por kw/h de energía consumida en el periodo nocturno.

Dentro de esta tarifa 9 existen las siguientes variantes.

TARIFA 9												
Bombeo de Agua para riego agrícola (baja presión)												
RANGO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1-5000	6.563	6.694	6.828	6.965	7.104	7.246	7.391	7.539	7.690	7.844	8.001	8.161
5001-15000	7.305	7.451	7.600	7.752	7.907	8.065	8.226	8.391	8.559	8.730	8.905	9.083
15001-35000	7.973	8.132	8.295	8.461	8.630	8.803	8.979	9.159	9.342	9.529	9.720	9.914
ADIC.	8.752	8.927	9.106	9.288	9.474	9.663	9.856	10.053	10.254	10.459	10.668	10.881

TARIFA 9 M												
Bombeo de agua para riego agrícola (media tensión)												
RANGO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1-5000	6.563	6.694	6.828	6.965	7.104	7.246	7.391	7.539	7.690	7.844	8.001	8.161
5001-15000	7.367	7.514	7.664	7.817	7.973	8.132	8.295	8.461	8.630	8.803	8.979	9.159
15001-35000	8.065	8.226	8.391	8.559	8.730	8.905	8.083	9.265	9.450	9.639	9.832	10.029
ADIC.	8.801	8.977	9.157	9.340	9.527	9.718	9.912	10.110	10.312	10.518	10.728	10.943

TARIFA 9CU												
Cargo único para uso agrícola												
RANGO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CUOTA ENERGETICA	.56	.56	.56	.56	.56	.56	.56	.56	.56	.56	.56	.56

TARIFA 9N												
Bombeo de Agua para riego agrícola nocturna (baja o media tensión)												
RANGO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CUOTA ENERGETICA	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.28

TABLA 2. Cargo por Energía (\$/ Kwh). Fuente CFE Tarifa 2016

1.7 EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN LOS SISTEMAS DE ASPERSIÓN

Christiansen (1942) fue el primero en aplicar el concepto de medir la uniformidad de la distribución del agua de un sistema de riego por aspersión. Ese concepto de uniformidad es comúnmente llamado coeficiente de uniformidad de Christiansen (UCC), el cual se expresa como:

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

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.

El coeficiente de uniformidad de Christiansen es ampliamente usado, y un UCC igual o mayor que 0.7 es considerado aceptable en la práctica del diseño de sistemas de riego por aspersión. La significancia del coeficiente de uniformidad y el de los dos parámetros de la eficiencia (E_a y E_r) es ilustrado en la siguiente figura, asumiendo que no existen pérdidas por escurrimiento. (Hansen, 1960).

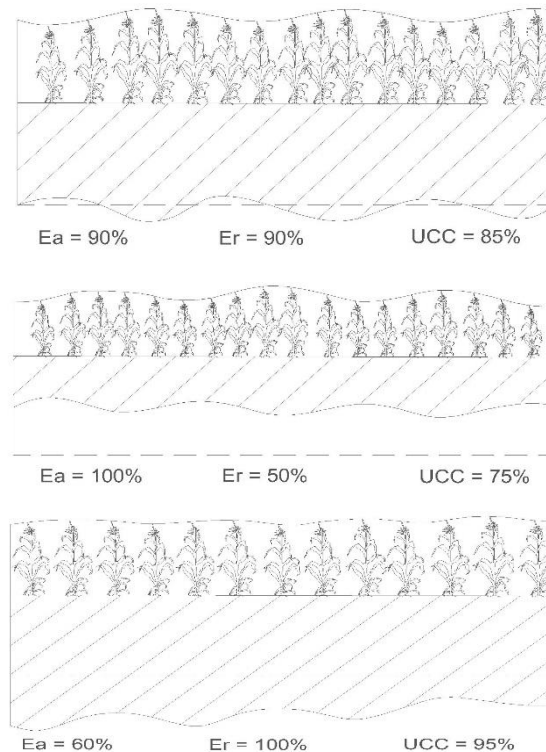


FIGURA 13. Típicos efectos de la distribución del agua en el cultivo bajo riego.

II METODOLOGIA

El proyecto se lleva a cabo en la sierra de Arteaga, entre las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) 322311.89 m E y 2801937.84 m N. La localidad se encuentra a una mediana altura de 2031 metros sobre el nivel del mar. Según describo en la FIGURA 15.

Con cinco puntos de bombeo y tres pivotes de riego según la TABLA 7 y 8.

1.- Primero se realiza un estudio del tipo de suelo, Textura y Velocidad de Infiltración Básica con los cilindros infiltrometros y utilizando la ecuación de Kostiakov para determinar la velocidad de infiltración, así como la tasa de precipitación máxima que puede tolerar este suelo.

2.- Se evalúa en campo la tasa de precipitación de los aspersores o rociadores llamándolos gasto hidráulico que se entenderá como el gasto que descarga una boquilla debido a su presión.

3.- Se evalúa el gasto que realmente se precipita en el suelo para poder determinar el gasto que se perdió por el efecto del viento.

4.- Con el estudio de las líneas de suministro de agua a los diferentes puntos y analizando su comportamiento Piezométrico describiré dos tipos de eficiencia en el bombeo.

A.- El "WHP" Generado en la punta de cada pivote, porque para cada pivote siempre será lo mismo medir la potencia consumada en el hidrante inicial y relacionarlo con su comportamiento de riego.

Para lo cual se dice que:

$WHP = \frac{Q\beta H}{76}$ (Gasto en M3/seg) (Peso específico del agua Kg/M3) (La presión en Mca)/76

Ya que al simplificar esta ecuación nos da como resultado $Kg-Mca/seg = 1 \text{ Newton Y } 1/76 \text{ de } Nw=Hp$

B.- El "MHP" Generado en el origen destacando que cada predio podría variar en este último ya que el sistema de abastecimiento siempre es diferente.

El MHP basado en la ecuación de potencia de un motor para su esfuerzo hidráulico, Para este caso en particular, será:

$MHP = 0.018$ (Ips) (Carga Dinámica Total en Mca)

Ya que el MHP es igual a $Q\beta H/76 \times \text{Eficiencia Global}$

O sea $MHP = Q\beta H/76 \times \text{Eff Bomba} \times \text{Eff de Motor}$

Las máximas eficiencias que se logran entre motor y bomba son del 72 % y considerar un 70 % es óptimo de ahí la constante 0.018

5.- Así mismo determinar el costo del bombeo que puede relacionado con la potencia eléctrica es:

$H_p = \text{Voltaje} \times \text{Amperaje} \times \text{Factor de servicio} \times \text{la raíz de las fases} = \text{Watts}/746 = H_p$

Por lo que la potencia mecánica sería:

$H_p = \text{Peso} \times \text{gravedad} \times \text{distancia en Metros} / \text{el tiempo en seg} = \text{watts} / 746 = H_p$

Con este antecedente Los $H_p/1.15$ nos daría KVA (Kilo volts amperes), pero en México tenemos caídas del potencial eléctrico con rangos del 30 % es por eso que en el sector agrícola se contempla $H_p \times 1.15$

En consecuencia, el KW sería $H_p \times 0.746$ que multiplicados por el costo de la tarifa agrícola nos daría el Kwh CFE = \$ Pesos /Hora

Multiplicado por las horas bombeo ciclo = Costo de la irrigación solamente sin la conducción

Y dividido las horas usadas de riego /Horas reales de requerimiento o eficiencia de aplicación nos dará el gasto excedente de riego por ciclo.

III RESULTADOS

Esta evaluación técnica se desarrolló en el periodo Marzo – Julio 2016 la región montañosa, ubicada en el kilómetro 112 de la carretera a San Antonio de las alazanas, coordenadas UTM 322311.89 m E y 2801937.84 m N. La localidad se encuentra a una mediana altura de 2300 metros sobre el nivel del mar.

El origen de los suelos proviene de rocas sedimentarias calizas y corresponde a suelos litosol y rendiza, con textura media (Cetenal, 1976a; Cetenal, 1976b). En base a la estación meteorológica que se encuentra en el ejido de San Antonio de las Alazanas, Arteaga, Coahuila, registra una temperatura media anual de 12.7 °C y una precipitación total anual media de 470.6 mm: en relación al régimen de precipitación llueve todo el año, aunque esta es escasa; los meses más lluviosos son julio y agosto, las precipitaciones más escasas se presentan en invierno (Mendoza 1983) El clima que corresponde a esta área se considera como un clima templado, subhúmedo, con lluvias escasas todo el año, verano fresco largo, muy extremo, así como el mes más cálido se presenta antes de junio con una temperatura media anual de 15.8° C. Cuenta con 5 pozos profundos para irrigar aproximadamente 90 Hectáreas. (TABLA 8)

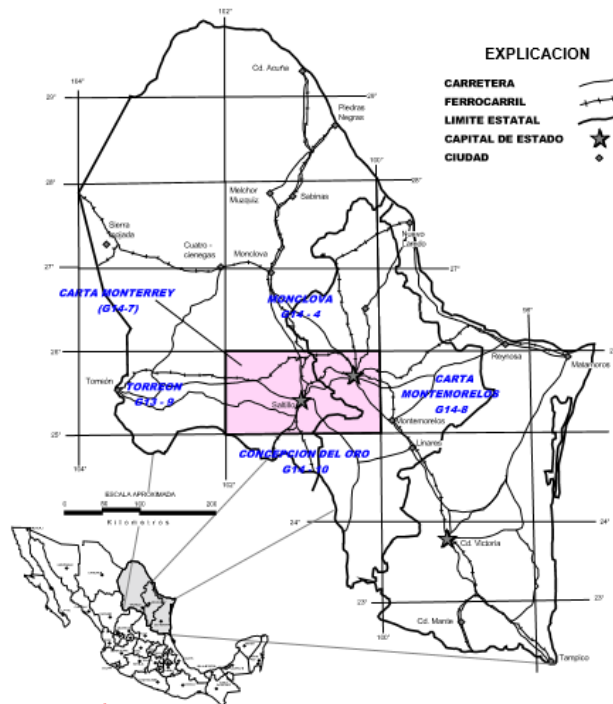


FIGURA 14. Plano De Localización Carta Monterrey G14-7

3.1 APLICACIÓN DEL MÉTODO BLANEY Y CRIDDLE.

Municipio: Arteaga Estado: Coahuila

San Antonio de las Alazanas

Latitud: 25°17' 00" N Longitud: 100° 37' 00" W Altura: 2300 MSNM

MES	°C	°C+17.8/21.8	P	f	K _t	fK _t
ENERO	11.9	1.362	7.53	10.259	0.398	4.079
FEBRERO	12.8	1.404	7.13	10.008	0.426	4.262
MARZO	14.0	1.459	8.39	12.239	0.464	5.673
ABRIL	16.0	1.550	8.61	13.349	0.526	7.027
MAYO	17.4	1.615	9.32	15.049	0.570	8.583
JUNIO	17.4	1.615	9.22	14.887	0.570	8.491
JULIO	17.5	1.619	9.43	15.270	0.573	8.757
AGOSTO	16.7	1.583	9.08	14.370	0.548	7.879
SEPTIEMBRE	16.7	1.583	8.3	13.135	0.548	7.203
OCTUBRE	15.3	1.518	8.08	12.268	0.504	6.188
NOVIEMBRE	13.7	1.445	7.4	10.693	0.454	4.856
DICIEMBRE	12.0	1.367	7.41	10.129	0.401	4.059

TABLA 3. Calculo del uso consuntivo tomando en cuenta los coeficientes de desarrollo y térmicos.

ZANAHORIA							
MES	f	K	UC	fK _t	K _c	UCT	UCC
ABRIL	13.349	0.7	9.345	7.027	0.720	5.059	9.345
MAYO	15.049	0.7	10.534	8.583	1.025	8.797	10.534
JUNIO	14.887	0.7	10.421	8.491	1.090	9.255	10.421
JULIO	15.270	0.7	10.689	8.757	0.871	7.627	10.689
SUMA			40.989				40.989

TABLA 4. Uso consuntivo de zanahoria

COL							
MES	f	K	UC	fK _t	K _c	UTC	UCC
ABRIL	13.349	0.70	9.345	7.027	0.720	5.059	9.345
MAYO	15.049	0.70	10.534	8.583	1.025	8.797	10.534
JUNIO	14.887	0.70	10.421	8.491	1.090	9.255	10.421
SUMA	15.270	0.70	10.689	8.757	0.871	7.627	10.689
			40.989				40.989

TABLA 5. Uso consuntivo de Col

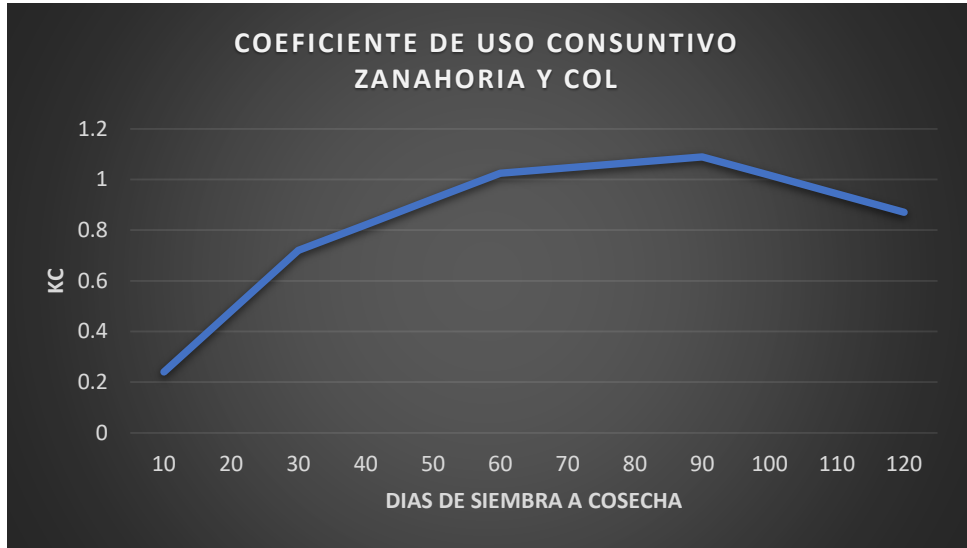


GRAFICO 1. Curva De Uso Consuntivo Col Y Zanahoria

CILANTRO							
MES	f	K	UC	fK _t	Kc	UCT	UCC
MARZO	12.239	0.70	8.567	5.673	0.795	4.510	8.567
ABRIL	13.349	0.70	9.345	7.027	1.090	7.659	9.345
SUMA			17.912				17.912

TABLA 6. Uso consuntivo de cilantro

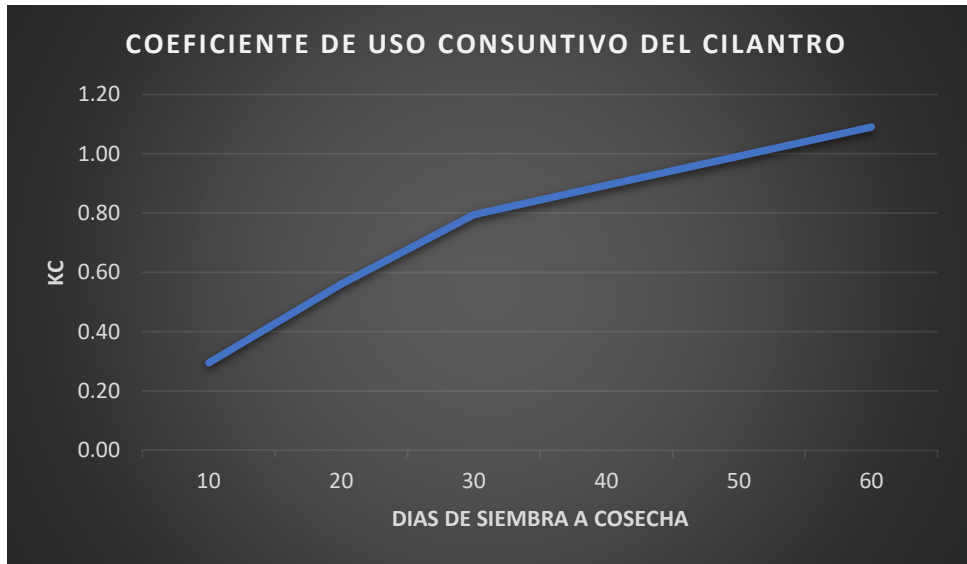


GRAFICO 2. Curva de Uso Consuntivo del Cilantro

Con el método Blaney y Criddle se obtuvo el consumo de agua por las plantas (cilantro, zanahoria y col) en su ciclo de desarrollo los datos son en cm.

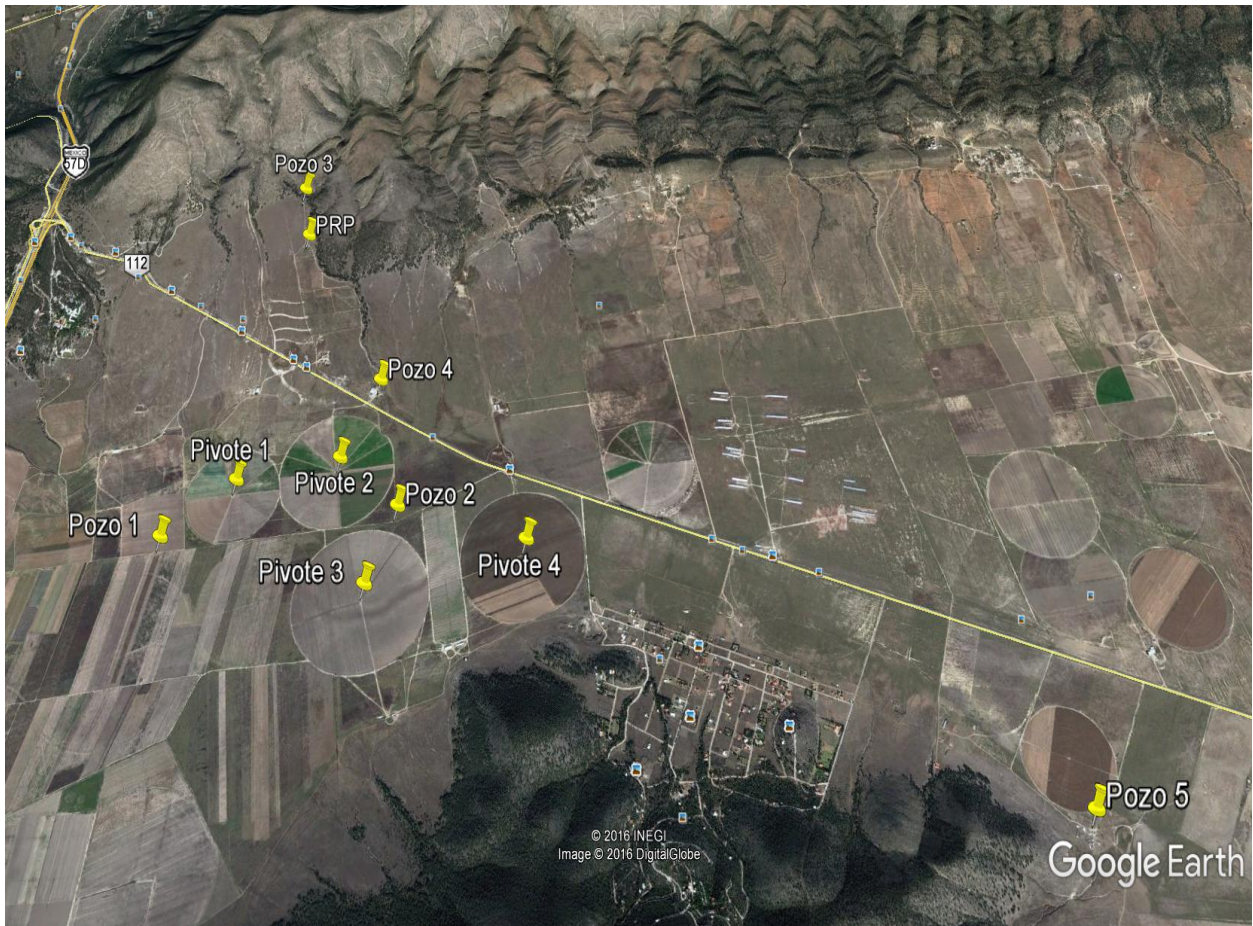


FIGURA 15. Valle de "San Antonio de las Alazanas" Sierra de Arteaga Coahuila

Pivote	Diámetro de riego	Coordenadas E UTM	Coordenadas N UTM	Numero de Torres	Superficie de Riego	Presión de operación	SPAN Mts
Pivote 1	552 m	321331.21 m	2802647.32 m	6 + voladizo 6m	23.93 Ha	20 Psi LEPA	45
Pivote 2	768	322025.22 m	2802787.55 m	8	46.32 Ha	20 Psi LEPA	48
Pivote 3	888	322307.37 m	2801943.47 m	9 + voladizo 12 m	61.93 Ha	20 Psi LEPA	48

TABLA 7. Datos del complejo agrícola.

*LEPA Low Energy Pivot Advantage.

Pozo Prof.	Gasto o Lps	Coordenada "E"	Coordenada "N"	Prof. Mts	Nivel Estático	Nivel Dinámico	φ de ademe	Altimetría Nivel de Referencia
3	32	321449.57 m	2804933.43 m	715	176	192	14"	2170 MSNM
	PRP*	321538.67 m	2804518.31 m					2139 MSNM
4	4	322242.34 m	2803344.44 m	500	165	175	12"	2056 MSNM
1	12	320904.20 m	2802275.71 m	500	187	215	14"	2031 MSNM
2	7	322465.55 m	2802443.30 m	500	175	189	14"	2033 MSNM
5	32	326677.30 m	2800608.44 m	500	185	197	14"	2044 MSNM

TABLA 8. Altimetría y niveles de pozos

*PRP Pila Rompedora de Presión

Gasto Total 87 Lps

Capacidad de riego de diseño 87 lps /1.15 lps Ha = 75.62 has



FIGURA 16. Líneas de Suministro Pozo 3 - PRP. 6" PVC

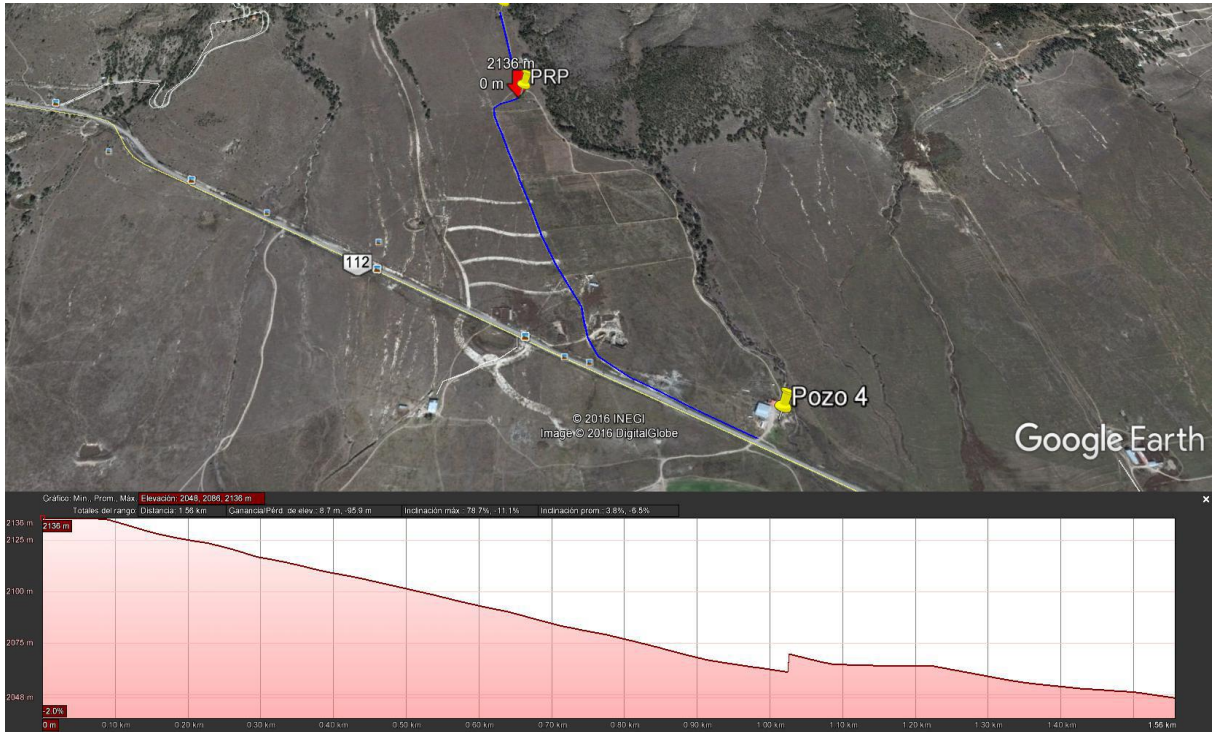


FIGURA 17. Líneas de Suministro Línea PRP-B´ 6" PVC

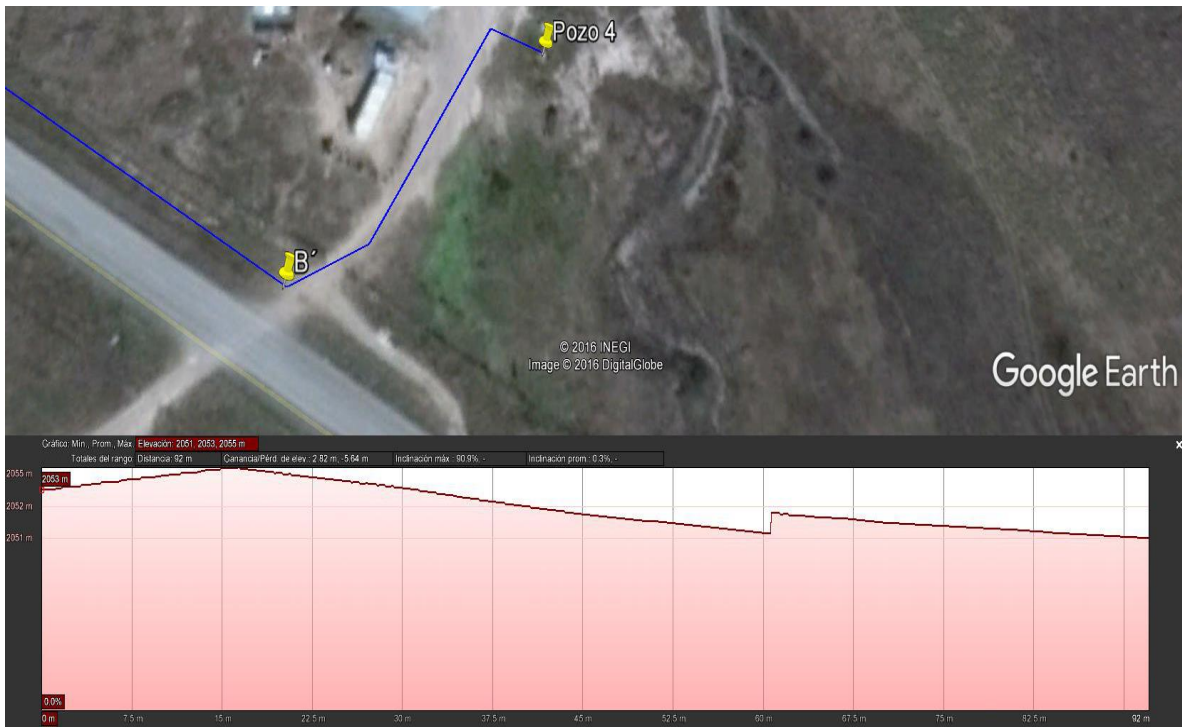


FIGURA 18. Líneas de Suministro Línea Pozo 4 – B´ 4" PVC

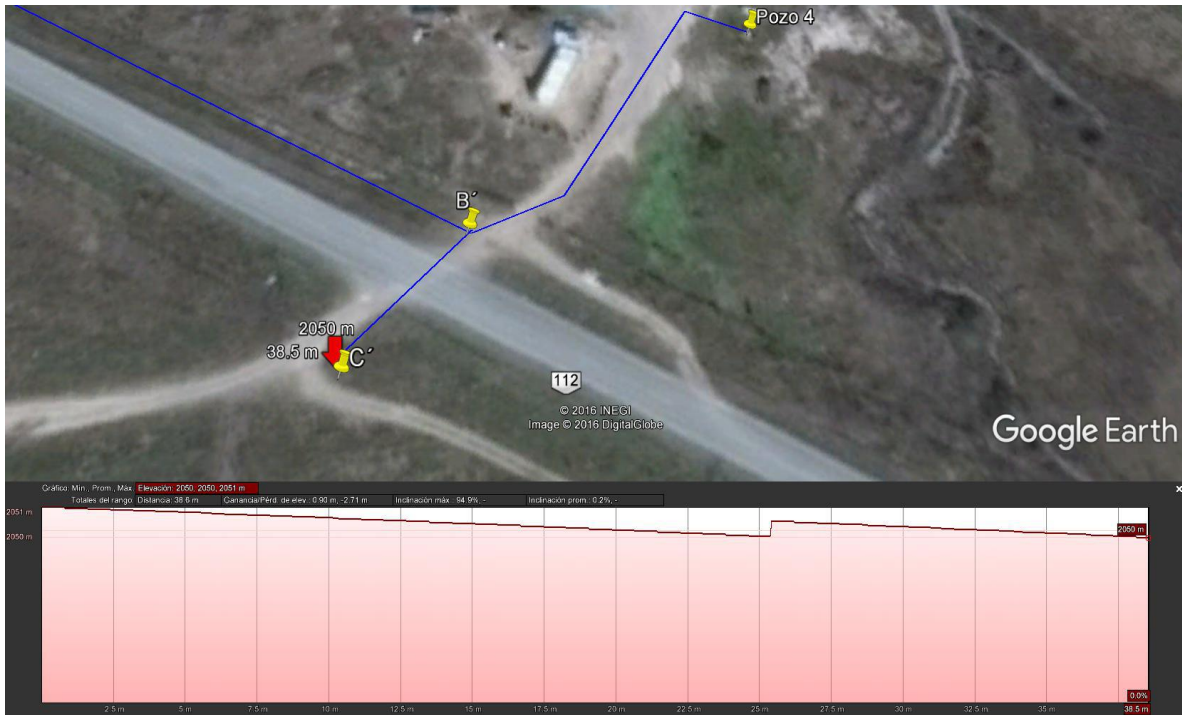


FIGURA 19. Líneas de Suministro Línea B' – C' 10" PVC

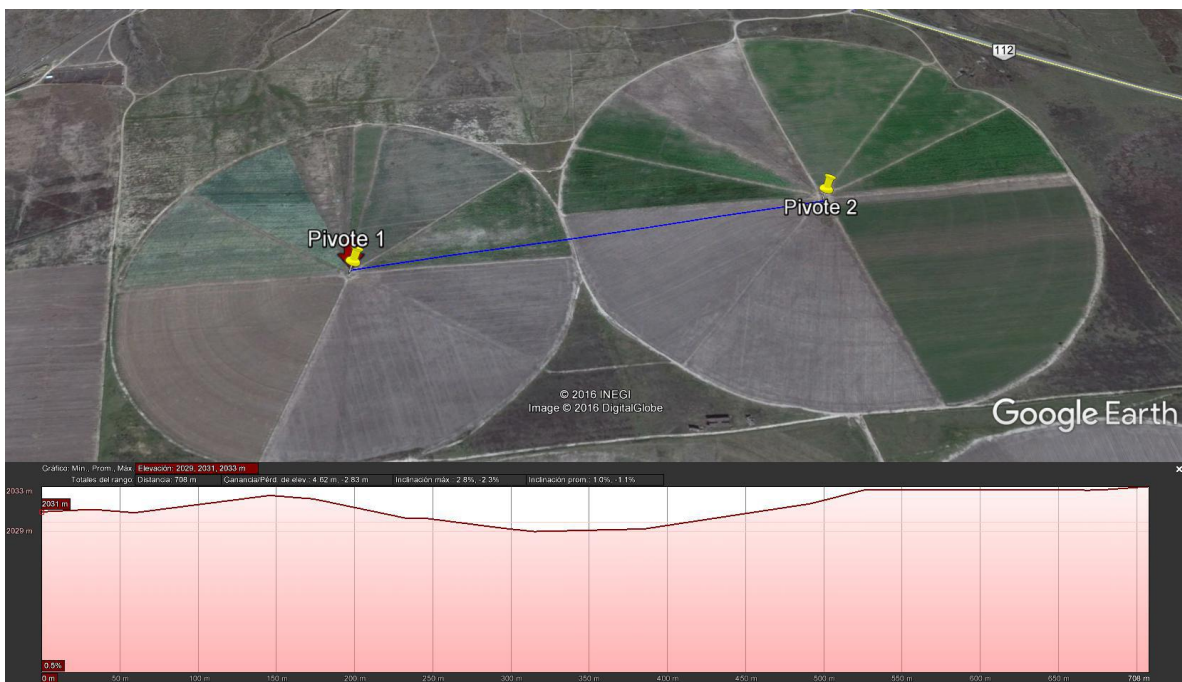


FIGURA 20. Líneas de Suministro Línea Pivote 1–Pivote 2 10" PVC

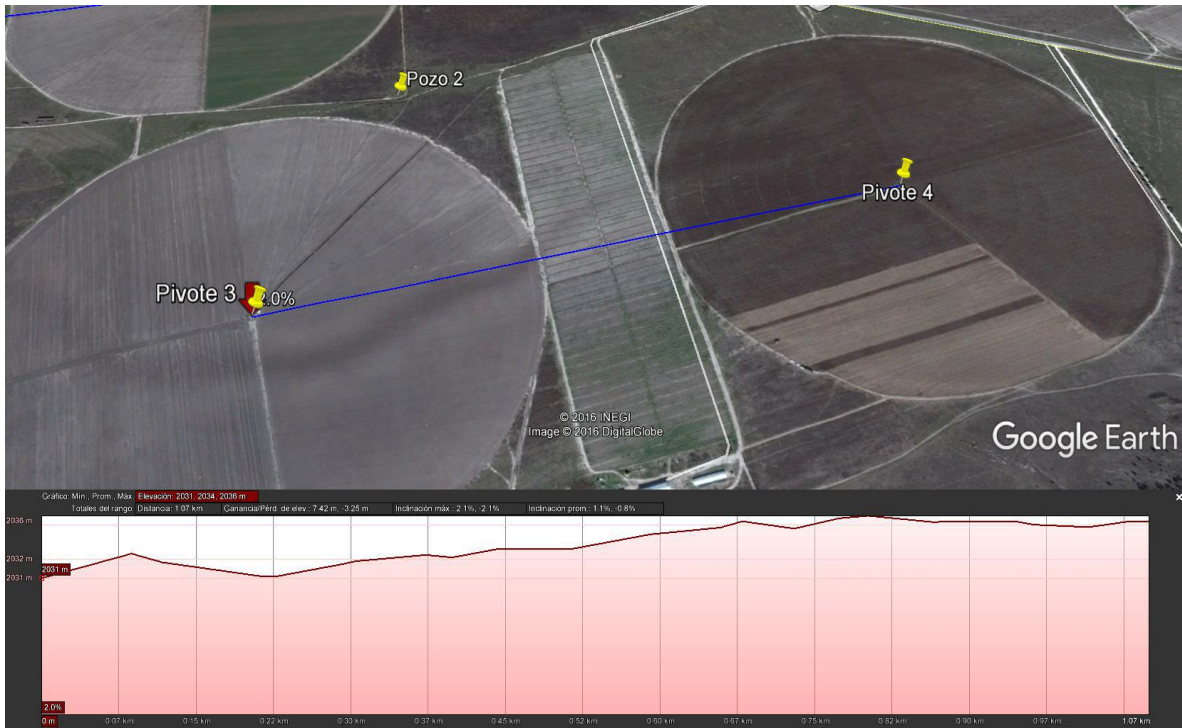


FIGURA 21. Líneas de Suministro Línea Pivote 3–Pivote 4 10" PVC



FIGURA 22. Líneas de Suministro Línea Pozo 1-D' 6" PVC



FIGURA 23. Líneas de Suministro Línea Pozo 2 – D' 10" PVC



FIGURA 24. Líneas de Suministro Línea C'-Pivote 2 10" PVC



FIGURA 25. Líneas de Suministro Línea Pivote 2- Pivote 3 10 "PVC



FIGURA 26. Punto de intersección E´

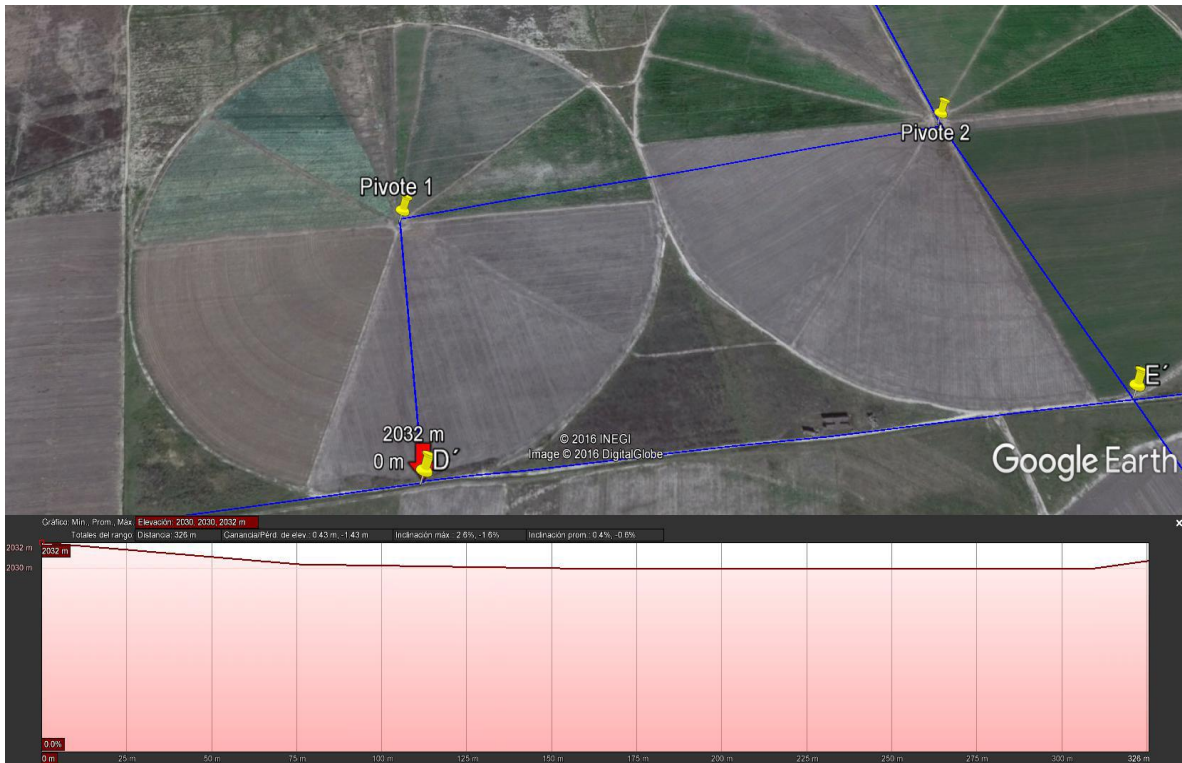


FIGURA 27. Líneas de Suministro Línea D'- Pivote 1 6" PVC



FIGURA 28. Líneas de Suministro Línea Pozo 5 – Pivote 4. 10" PVC

A continuación se muestran los datos recabados de los pivotes bajo las siguientes condiciones:

- Pivote Velocidad del viento 20 Kph 20 de Marzo del 2016
- Velocidad de avance 30 %
- Relacion de 4.7124 mts/ Grado
- Perimetro Maximo = 1696.464 mts en 62.34 horas
- 3838.8598 metros cuadrados de riego por hora
- Velocidad de avance en ultima torre 27.21 mts /Hora = 2.6 dias /360 grados

3.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE VELOCIDAD DE INFILTRACION

Pivote 1 321362.11 m E, 2802599.33 m N								
Tiempo (min)	Dif. Lectura (cm)	Tiempo acum.	Vel de inf. En cm/mi	inf acumulada.	log x	log y	x.y	x^2
0	0	0						
2	0.3	2	9	9	0.301	0.954	0.287	0.091
2	0.2	4	6	15	0.602	0.778	0.468	0.362
2	0.1	6	3	18	0.778	0.477	0.371	0.606
5	0.3	11	3.6	21.6	1.041	0.556	0.579	1.084
5	0.2	16	2.4	24	1.204	0.380	0.458	1.450
5	0.2	21	2.4	26.4	1.322	0.380	0.503	1.748
10	0.2	31	1.2	27.6	1.491	0.079	0.118	2.224
10	0.4	41	2.4	30	1.613	0.380	0.613	2.601
10	0.4	51	2.4	32.4	1.708	0.380	0.649	2.916
Suma					10.061	4.366	4.047	13.082

suma x^2	N	n	y media	x media	m	log m	k
101.22	9	-0.4537	0.485	1.118	-0.0221	0.9504	8.9215

Ecuación de Infiltración			
tiempo	60	= 1.392157322	cm/horas

TABLA 9. Resultados de velocidad de infiltración Pivote 1

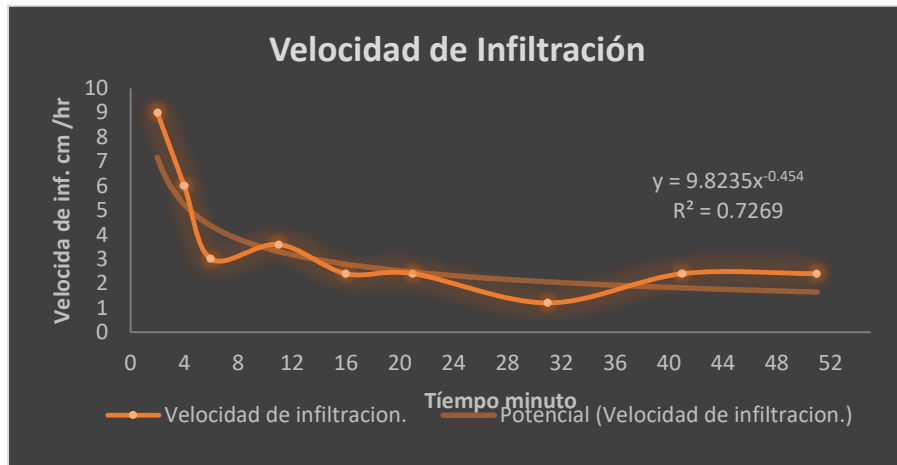


GRAFICO 3. Curva de Infiltración

El método consiste en evaluar la eficiencia de aplicación según Christiansen, que es el perfil de humedad a lo largo del pivote, medido como descargas de los aspersores o por ciento de humedad en el suelo, y es la desviación media standard de los valores de precipitación con respecto a la lámina real o profundidad radicular que requería el cultivo en ese momento.

El área del pivote se calcula de acuerdo: $I = k * t^n$

El pivote evaluado tiene 6 torres cada una de ellas mide 45 mts y un Voladizo de 6 m por lo cual su radio es de 276 mts.

$$AREA = \pi r^2$$

$$AREA = \pi 276^2$$

$$AREA = 239314.52 \text{ m}^2 \frac{(1 \text{ has})}{10000} = 23.93 \text{ has}$$

Velocidad de avance.

Posterior mente se calcula el parámetro de velocidad de avance de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$\text{Velocidad de avance} = \frac{\text{longitud en mts}}{\text{tiempo en hrs}}$$

$$\text{Velocidad de avance} = \frac{40 \text{ mts}}{1.47 \text{ hrs}} = 27.21 \text{ mts por hora}$$

Este dato se calculó en campo aplicando el siguiente método: se puso una marca después de la llanta final de la última torre y se midió una longitud de 40 mts para posteriormente comenzar a medir el tiempo que tardaría el pivote en recorrer dicha distancia.

3.3 CALCULO DE LA TASA DE PRECIPITACIÓN.

Tasa de precipitación la aporta el equipo de riego como una acción mecánica hidráulica dependiendo del tiempo que dure el riego sobre un punto y en este caso se expresa en % de avance, pero esta no debe de ser Mayor que la velocidad de infiltración del suelo.

Para este caso la tasa de precipitación se muestra en la columna 4 en mm.

Bote	Q en Cm3	Área de Bote	Lámina Precipitada en mm	# Torre
1	149	107.51	13.86	Torre 1
2	151	107.51	14.04	Torre 1
3	140	107.51	13.02	Torre 1
4	170	107.51	15.81	Torre 2
5	160	107.51	14.88	Torre 2
6	163	107.51	15.16	Torre 2
7	160	107.51	14.88	Torre 2
8	161	107.51	14.97	Torre 3
9	185	107.51	17.21	Torre 3
10	160	107.51	14.88	Torre 3
11	202	107.51	18.79	Torre 4
12	179	107.51	16.65	Torre 4
13	170	107.51	15.81	Torre 4
14	182	107.51	16.93	Torre 5
15	161	107.51	14.97	Torre 5
16	179	107.51	16.65	Torre 5
17	160	107.51	14.88	Torre 6
18	140	107.51	13.02	Torre 6
19	149	107.51	13.86	Torre 6
20	198	107.51	18.42	Voladizo
21	219	107.51	20.37	Voladizo

TABLA 10. Datos recabados para evaluar la tasa de precipitación

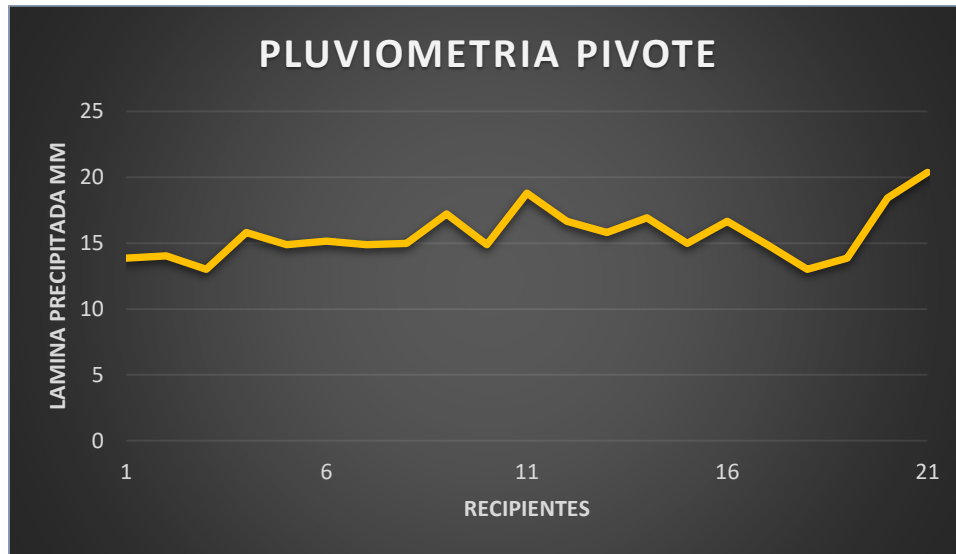


GRAFICO 4. Curva de comportamiento de Pluviometría

3.4 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CUC)

Botes	Lámina Precipitada en mm	\bar{Y}	$Y_i - \bar{Y}$
21	20.37	15.68	4.699
11	18.79	15.68	3.118
20	18.42	15.68	2.746
9	17.21	15.68	1.537
14	16.93	15.68	1.258
12	16.65	15.68	0.979
16	16.65	15.68	0.979
4	15.81	15.68	0.142
13	15.81	15.68	0.142
6	15.16	15.68	0.509
8	15.16	15.68	0.695
15	15.16	15.68	0.695
5	14.88	15.68	0.788
7	14.88	15.68	0.788
10	14.88	15.68	0.788
17	14.88	15.68	0.788
2	14.04	15.68	1.625
1	13.86	15.68	1.812
19	13.86	15.68	1.812
3	13.02	15.68	2.649
18	13.02	15.68	2.649
	329.44	15.68	31.198
	Media = 15.68		

CUC 90.51 %

TABLA 11. Parámetros usados para determinar CUC

$$\text{CUC} = \frac{1 - \sum_{i=1}^N [Y_i - \bar{Y}]}{N\bar{y}} * 100$$

$$\text{CUC} = 1 - \left[\frac{31.199}{329.08} \right] * 100 = 90.51\%$$

La eficiencia con la que cuenta el pivote central es muy buena, según la literatura, para este tipo de sistema de riego se clasifica de acuerdo, a regular, buena y muy buena que están dentro del porcentaje de 80, 85 y 90% respectivamente.

ZANAHORIA																		
Fecha	Riego	Intervalo de riego	Tiempo Acumulado	Lámina hidráulica mm	Tiempo de riego horas /25 has	Crecimiento Radicular 0.72cm/día	DPH mm	Lámina Depositada 80.55% LH	CUC	Eficiencia de Aplicación	Eficiencia de Requerimiento	Tiempo de riego horas /25 has	Horario Nocturno	Horario Diurno	Horas Excedidas	Horas Faltantes		
01-Abr	Aniego	0	0	19.44	30		3.306	15.65	90.51	21%	100%	30	24	6	23.7			
10-Abril	Primero	9	9	12.96	20	6.48	6.87	10.43	89.72	65.86%	100%	20	12	8	6.828			
20-Abr	Segundo	10	19	12.96	20	13.68	6.98	10.43	87.14	48.37%	100%	20	12	8	10.32			
30-Abr	Tercero	10	29	12.96	20	14.40	7.34	10.43	93.00	70.37%	100%	20	12	8	5.936			
10-May	Cuarto	10	39	15.56	24	20.08	14.32	12.53	92.00	100%	87.50%	24	12	12		3		
20-May	Quinto	10	49	15.56	24	35.28	18.00	12.53	88.45	100%	69.61%	24	12	12		7.29		
30-May	Sexto	10	59	15.56	24	42.48	21.67	12.53	91.00	100%	57.82%	24	12	12		10.12		
10-Jun	Séptimo	11	70	23.32	36	50.40	25.71	18.78	92.14	100%	73.04%	36	24	12		9.7		
20-Jun	Octavo	10	80	23.32	36	57.60	29.39	18.78	91.18	100%	63.89%	36	24	12		12.99		
30-Jun	Noveno	10	90	23.32	36	64.80	33.16	18.78	87.00	100%	56.63%	36	24	12		15.61		
10-Jul	Decimo	10	100	12.96	20		33.16	10.43	89.00	100%	56.63%	20	12	8		8.674		
20-Jul	Undécimo	10	110	12.96	20		33.16	10.43	91.50	100%	56.63%	20	12	8		8.728		
				200.88	310							310	192	118	46.784	76.112		
						DPH = 14.58 Cm/Mto x 0.35x .648=3.306mm												
0.65mts/90= 0.72 cm/día																	Balance 29.32 horas	
DPH en Base al crecimiento radicular																	FALTARON 29.32 HORAS DE RIEGO	

TABLA 12. Programa de riego en el cultivo de Zanahoria y determinación de DPH

CILANTRO																
Fecha	Riego	Intervalo de riego	Tiempo Acumulado	Lámina hidráulica mm	Tiempo de riego horas	Crecimiento Radicular .133 cm/día	DPH mm	Lámina Depositada 80.55% LH	CUC	Eficiencia de Aplicación	Eficiencia de Requerimiento	Tiempo de riego horas	Horario Nocturno	Horario Diurno	Horas Excedidas	Horas Faltantes
01-Mar	Aniego	0	0	17.28	30		6.10	13.91	93.04%	43.85%	100.00%	30	24	6	16.84	
10-Mar	Primer Riego	9	9	11.52	20	11.97	12.89	9.2793	89.71%	100%	71.98%	20	12	8		5.6
20-Mar	Segundo	10	19	11.52	20	25.27	20.41	9.2793	94.05%	100%	45.46%	20	12	8		10.9
30-Mar	Tercero	10	29	11.52	20	38.57	20.41	9.2793	88.14%	100%	45.46%	20	12	8		10.9
10-Abr	Cuarto	11	40	13.82	24		20.41	11.13	86.14%	100%	54.53%	24	12	12		10.91
20-Abr	Quinto	10	50	13.82	24		20.41	11.13	93.00%	100%	54.53%	24	12	12		10.91
				79.48	138							138	84	54	16.84	49.22
													Balance 39.32 horas			
DPH en Base al crecimiento radicular													FALTARON 39.32 HORAS DE RIEGO			

TABLA 13. Programa de riego en el cultivo de Cilantro y determinación de DPH

COL																
Fecha	Riego	Intervalo de riego	Tiempo Acumulado	Lámina Hidráulica mm	Tiempo de riego horas	Crecimiento Radicular .57 cm/día	DPH mm	Lámina Depositada 80.55% LH	CUC	Eficiencia de Aplicación	Eficiencia de Requerimiento	Tiempo de riego horas	Horario Nocturno	Horario Diurno	Horas Excedidas	Horas Faltantes
06-abr	Aniego	0	0	16.3	30		2.61	13.12965	89.34	19.89%	100.00%	30	24	6	24	
15-abr	Primer Riego	9	9	10.8	20	5.13	5.52	8.6994	87.14	63.45	100.00%	20	12	8	7.31	
25-abr	Segundo	10	19	10.8	20	10.83	8.43	8.6994	93.14	97.00%	100.00%	20	12	8	0.6	
05-may	Tercero	10	29	10.8	20	16.53	11.63	8.6994	95.00	100.00%	74.80%	20	12	8		5.04
15-may	Cuarto	11	40	12.99	24	22.8	14.54	10.463445	96.13	100.00%	71.93%	24	12	12		6.73
25-may	Quinto	10	50	12.99	24	28.5	12.31	10.463445	90.15	100.00%	84.97%	24	12	12		3.6
04-jun	Sexto	10	60	12.99	24	24.20	20.35	10.463445	89.94	100.00%	51.40%	24	12	12		11.66
14-jun	Séptimo	10	70	12.99	24	40.00	20.35	10.463445	91.13	100.00%	51.40%	24	12	12		11.66
24-jun	Octavo	10	80	10.8	20	40.00	20.35	8.6994	93.25	100.00%	42.74%	20	12	8		11.45
				111.46	206							206	120	86	31.91	50.14
													Balance 18.23 horas			
DPH en Base al crecimiento radicular													FALTARON 18.23 HORAS DE RIEGO			

TABLA 14. Programa de riego en el cultivo de Col y determinación de DPH

3.5 CALCULO DE CDT DE LOS DIFERENTES ESCENARIOS

Escenario 1

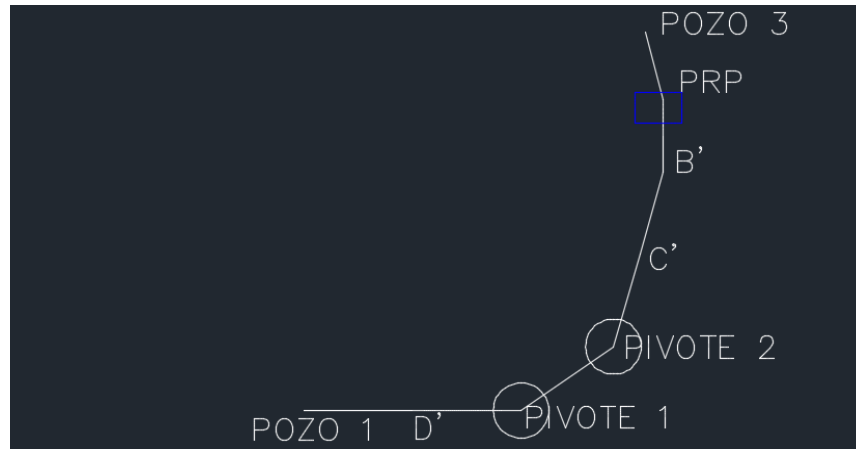


FIGURA 29. Comportamiento de líneas de abastecimiento para escenario 1

$$D' - \text{Piv 1} = \frac{20 \text{ PSI}}{1.422} + (2029 \text{ m} - 2028 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 6''}^{12 \text{ LPS}} x 326 \text{ m}$$

$$D' - \text{Piv1} = 16.03 \text{ mca}$$

$$\text{Pozo1} - D' = 16.03 + (2028 \text{ m} - 2031 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 6''}^{12 \text{ LPS}} x 489 \text{ m}$$

$$\text{Pozo1} - D' = 14.53 \text{ mca}$$

Calculo de MHP (Motor Horse Power) para Pozo 1 con:

$$ND = 215 \text{ m}, 12 \text{ lps}$$

$$\text{CDT Pozo 1} = 14.53 + 215 + \int_{\text{fofo } 4''}^{12 \text{ LPS}} x 215 \text{ m}$$

$$\text{CDT Pozo 1} = 242.88 \text{ mca}$$

$$\text{MHP Pozo 1} = 0.018 \times 242.88 \times 12$$

$$\text{MHP Pozo 1} = 52.46 \text{ HP}$$

$$\text{Piv2} - \text{Piv1} = \frac{20 \text{ PSI}}{1.422} + (2029 \text{ m} - 2033 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 10''}^{33 \text{ LPS}} x 708 \text{ m}$$

$$\text{Piv2} - \text{Piv1} = 11.21 \text{ mca}$$

$$C' - \text{Piv2} = 11.23 + (2033 \text{ m} - 2050 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 10''}^{33 \text{ LPS}} x 690 \text{ m}$$

$$C' - \text{Piv2} = -4.62 \text{ mca}$$

$$B' - C' = - 4.62 + (2050 \text{ m} - 2048 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 10''}^{33 \text{ LPS}} x 38.50 \text{ m}$$

$$B' - C' = - 2.50 \text{ mca}$$

$$\text{PRP} - B' = - 2.50 + (2048 \text{ m} - 2139 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 6''}^{33 \text{ LPS}} x 1560 \text{ m}$$

$$\text{PRP} - B' = - 62.43 \text{ mca}$$

Valvula reguladora de presión = 88.77 psi

Calculo de MHP para Pozo 3 con:

ND = 192 m, 32 lps

$$\text{CDT Pozo 3} = 192 + \frac{5 \text{ PSI}}{1.422} + \int_{\text{fofo } 6''}^{32 \text{ LPS}} x 192 \text{ m}$$

$$\text{CDT} = 205.69$$

$$\text{MHP Pozo 3} = 0.018 \times 32 \times 205.69$$

$$\text{MHP Pozo 3} = 118.48 \text{ HP}$$

La relación (HP/LPS) tiene que: $\frac{118.48 \text{ HP}}{32 \text{ LPS}} = 3.7 \text{ HP/LPS}$

Donde para la PRP (Pila Rompedora De Presión): Salen 33 lps generando al multiplicarlo por la relación anterior un MHP de:

$$\text{MHP PRP} = 122.18 \text{ HP}$$

Escenario 2

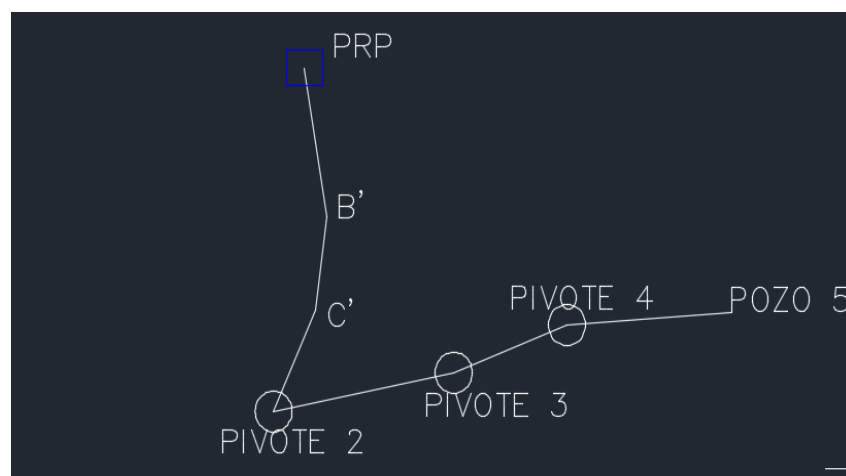


FIGURA 30. Comportamiento de las líneas de abastecimiento para escenario 2

$$\text{Piv 3} - \text{Piv 2} = \frac{20 \text{ PSI}}{1.422} + (2033 \text{ m} - 2031 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 10''}^{25 \text{ LPS}} \times 892 \text{ m}$$

$$\text{Piv 3} - \text{Piv 2} = 16.93 \text{ mca}$$

$$\text{Piv 4} - \text{Piv 3} = 16.93 + (2031 \text{ m} - 2036 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 10''}^{25 \text{ LPS}} \times 1070 \text{ m}$$

$$\text{Piv 4} - \text{Piv 3} = 12.98 \text{ mca}$$

$$\text{Pozo 5} - \text{Piv 4} = 12.98 + (2036 \text{ m} - 2044 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 6''}^{25 \text{ LPS}} \times 5120 \text{ m}$$

$$\text{Pozo 5} - \text{Piv 4} = 64.58 \text{ mca}$$

Calculo de MHP (Motor Horse Power) para Pozo 5 con:

$$\text{ND} = 197 \text{ m}, 25 \text{ lps}$$

$$\text{CDT Pozo 5} = 64.58 + 197 + \int_{\text{fofo } 6''}^{25 \text{ LPS}} \times 197 \text{ m}$$

$$\text{CDT Pozo 5} = 268.04 \text{ mca}$$

$$\text{MHP Pozo 5} = 0.018 \times 25 \times 268.04$$

$$\text{MHP Pozo 5} = 120.61 \text{ HP}$$

$$\text{C}' - \text{Piv 2} = \frac{20 \text{ PSI}}{1.422} + (2033 \text{ m} - 2050 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 10''}^{23 \text{ LPS}} \times 690 \text{ m}$$

$$\text{C}' - \text{Piv 2} = -2.36$$

$$\text{B}' - \text{C}' = -2.36 + (2050 \text{ m} - 2048 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 10''}^{23 \text{ LPS}} \times 38.5 \text{ m}$$

$$\text{B}' - \text{C}' = -.32$$

$$\text{PRP} - \text{B}' = -.32 + (2048 \text{ m} - 2139 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 6''}^{23 \text{ LPS}} \times 1560 \text{ m}$$

$$\text{PRP} - \text{B}' = -75.75 \text{ mca}$$

Valvula Reguladora De Presión = 107.72 psi

PRP en relación (HP/LPS) se tiene que:

$$\text{MHP PRP} - \text{Piv 2} = 3.7 \times 23$$

$$\text{MHP PRP} - \text{Piv 2} = 85.1 \text{ HP}$$

Escenario 3

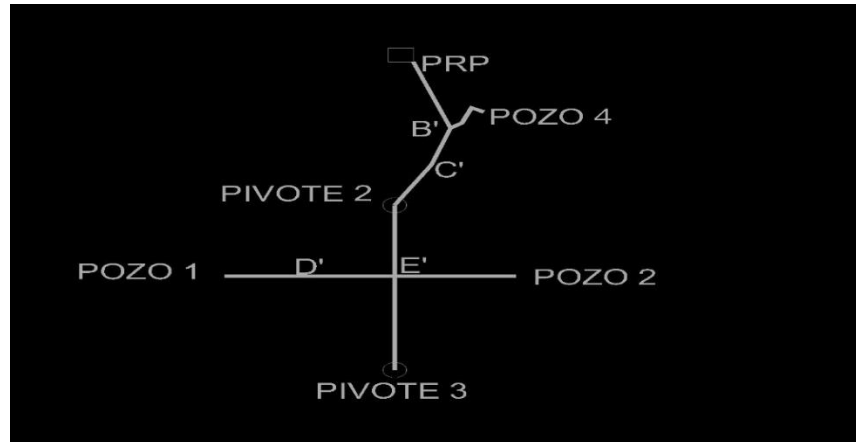


FIGURA 31. Comportamiento de líneas de abastecimiento para escenario 3

$$E' - \text{Piv 3} = \frac{20 \text{ PSI}}{1.422} + (2031 \text{ m} - 2033 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 10''}^{48 \text{ LPS}} x 417.51 \text{ m}$$

$$E' - \text{Piv 3} = 13.41 \text{ mca}$$

$$\text{Pozo 1} - E' = 13.41 + (2033 \text{ m} - 2031 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 6''}^{12 \text{ LPS}} x 875.55 \text{ m}$$

$$\text{Pozo 1} - E' = 18.02 \text{ mca}$$

Calculo de MHP para Pozo 1 con:

$$\text{ND} = 215 \text{ MCA}, 12 \text{ lps}$$

$$\text{CDT Pozo 1} = 18.02 + 215 + \int_{\text{fofo } 4''}^{12 \text{ LPS}} x 215 \text{ m}$$

$$\text{CDT Pozo 1} = 246.07 \text{ mca}$$

$$\text{MHP Pozo 1} = 0.018 \times 12 \times 246.07$$

$$\text{MHP Pozo 1} = 53.15 \text{ HP}$$

$$\text{Pozo 2} - E' = 13.41 + (2033 \text{ m} - 2033 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 4''}^{7 \text{ LPS}} x 351 \text{ m}$$

$$\text{Pozo 2} - E' = 16.19 \text{ mca}$$

Calculo de MHP para Pozo 2 con:

$$\text{ND} = 189 \text{ m}, 7 \text{ lps}$$

$$\text{CDT Pozo 2} = 16.19 + 189 + \int_{\text{fofo } 4''}^{7 \text{ LPS}} x 189 \text{ m}$$

CDT Pozo 2 = 209.42 mca

MHP Pozo 2 = 0.018 X 7 X 214.63

MHP Pozo 2 = 26.38 HP

$$C' - E' = 13.41 + (2033 \text{ m} - 2050 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 10''}^{29 \text{ LPS}} \times 1164.49 \text{ m}$$

C' - E' = - 2.10

$$B' - C' = - 2.10 + (2050 \text{ m} - 2048 \text{ m}) + \int_{\text{PVC } 10''}^{29 \text{ LPS}} \times 38.5 \text{ m}$$

B' - C' = - .5 mca

Calculo de MHP para Pozo 4 con:

ND = 175 METROS, 4 LPS, 5 PSI

$$\text{CDT Pozo 4} = \frac{5 \text{ PSI}}{1.422} + 175 + \int_{\text{fofo } 2''}^{4 \text{ LPS}} \times 175 \text{ m}$$

CDT Pozo 4 = 220.07 mca

MHP = 0.018 X 4 X 220.07

MHP = 15.84 HP

PRP en relación (HP/LPS) se tiene que:

PRP - Piv 3 = 3.7 X 25

PRP - Piv 3 = 92.5 HP

DIAGRAMA DE FLUJO					
Punto	Destino	Distancia	Altimetría	Gasto lps	Diámetro
Pozo 3	PRP	429.00	2170-2139	32	6 PVC
PRP	B´	1560.00	2139-2048	Variable	6 PVC
Pozo 4	B´	92.00	2056-2048	4	4 PVC
B´	C´	38.50	2048-2050	Variable	10 PVC
C´	Pivote 2	690.00	2050-2033	Variable	10 PVC
C´	E´	1164.49	2050-2033	Variable	10 PVC
Pozo 2	E´	351.00	2033-2033	7	4 PVC
Pivote 2	Pivote 1	708.00	2033-2029	Variable	10 PVC
Pivote 3	Pivote 4	1070.00	2031-2036	Variable	10 PVC
Pozo 1	D´	489.00	2031-2028	12	6 PVC
Pozo 2	D´	1080.00	2033-2028	7	10 PVC
Pivote 2	E´	474.49	2033-2033	Variable	10 PVC
Pivote 2	Pivote 3	892.00	2033-2031	Variable	10 PVC
D´	Pivote 1	326.00	2028-2029	Variable	6 PVC
Pozo 5	Pivote 4	5120.00	2044-2036	32	6 PVC
D´	E´	386.55	2028-2033	12	6 PVC
E´	Pivote 3	417.51	2033-2031	48	10 PVC

TABLA 15. Parámetros utilizados en los escenarios.

RESUMEN CÁLCULO DE Kw

Escenario Funcionando Pivote 1

Gasto 45 lps

Presión de operación es de 20 psi

MHP Pozo 1 =	52.46
MHP PRP-B'-C'-Piv2-Piv1 =	122.10
Total MHP =	174.56
Kw =	130.22

TABLA 16. Total de Kw usado para Pivote 1

Escenario Funcionando Pivote 2

Gasto 48 lps

Presión de operación es de 20 psi

MPH Pozo 5-Piv4-Piv3-Piv 2 =	120.61
MPH PRP-B'-C'-Piv 2 =	85.10
Total MHP =	205.71 HP
KW =	153.46

TABLA 17. Total de Kw usado en pivote 2

Escenario Funcionando Pivote 3

Gasto 48 lps

Presión de operación es de 20 psi

MHP Pozo 2-E =	16.19
MHP Pozo 1-E =	18.02
MHP PRP- E' =	92.50
MHP E'-Piv 3 =	13.41
MPH Pozo 4 =	15.84
Total MHP =	155.96 HP
Kw =	116.34

TABLA 18. Total de Kw usado en Pivote 3

COSTO X BOMBEO TOTAL						
# DE PIVOTE	Kw	HORAS DIURNO	HORAS NOCTURNO	TARIFA 9M \$ 7.017 KwH	TARIFA 9N \$.28 KwH	SUTOTALES
1	130.22	118	192	\$ 107,822.94	\$ 7000.62	\$ 114,823.57
2	153.46	54	84	\$ 58,148.76	\$ 3609.38	\$ 61,758.14
3	116.34	86	120	\$ 70,206.76	\$ 3909.02	\$ 74,115.78
COSTO TOTAL POR CICLO						\$ 250,697.49

TABLA 19. Costo total de bombeo ciclo marzo-junio 2016

TOTAL DE VENTAS CICLO 2016					
Cultivo	Área total cultivada en Ha.	Producción Por Ha	Costo unitario x Unidad	Costo De Venta En Campo X Ha	Total \$ x cultivo
ZANAHORIA	30	47.5 Ton	\$ 4250.00 Ton	\$ 201,875.00	\$ 6,056,250.00
COL	4	52 Ton.	\$ 2500.00 Ton	\$ 130,000.00	\$ 520,000.00
CILANTRO	45	1800 Cajas	\$ 50.00 Caja	\$ 90,000.00	\$ 4,050,000.00
Total venta 2016					\$ 10,626,250.00

TABLA 20. Total de venta marzo-junio 2016

IV CONCLUSIONES

- 1.- El sistema tiene una uniformidad buena y aceptable según la literatura el rango debe de ser del 85 al 90 % y tal como lo muestran las gráficas evaluadas en campo poseen un CUC. Del 90.51 %.
- 2.- El requerimiento presenta una eficiencia del 49.5 % es decir cumple.
- 3.- Sin embargo, la eficiencia de aplicación está al 100 % todo lo que se aplica queda en la zona radicular.
- 4.- La eficiencia global nos indica que pierde el 19.45 % por efectos de la velocidad del viento y su distorsión obedece a boquillas mal calibradas, muy viejas o no ajustadas a la distancia como se muestra en la GRAFICO 4.
- 5.- Se puede observar que para el pozo Núm. 1 requiere en el inicio 16.7 Hp de potencia y para cumplir la carga dinámica total se requiere 174.56 Hp (TABLA 16), con lo que la potencia en el consumo del pivote es aceptable, pero la gran diferencia de la carga

dinámica total es que en esta zona los niveles de bombeo, así como las distancias son enormes.

De la misma manera realizo un análisis con los otros escenarios de bombeo Como se puede observar en las TABLAS 16-18 del cálculo de la carga dinámica total.

En conclusión, nos da un costo de bombeo (TABLA 19) de \$ 250,697.49/ 5 meses =
\$ 50,139.50 /Mes

Como se puede observar en la TABLA 20, con este comparativo de costos de venta justifican uno de los costos de producción, el costo de energético que según estadísticas solo reporta el 30-40 % del costo total de producción, sumado a que hay cierta confianza a recibir el estímulo de luz eléctrica por uso agrícola.

De este trabajo concluyo que los pivotes muestran un buen Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, pero no están calibradas las boquillas a la distancia de trabajo, como consecuencia distorsionan su descarga.

El programa de riego no está fundamentado en un análisis de porcentaje de humedad del suelo, o uso consuntivo del cultivo, se riega a criterio y experiencia de Humedad del operador.

No se cuenta con un balance de humedad real ya que no existen reales estaciones pluviométricas de precipitación como para realizar un ajuste o balance.

Para lo cual recomiendo que se debe de instalar un sistema de balance de agua con una estación de automatización a base de tensiómetros en el suelo inalámbricos que manden la orden de ejecución de velocidad y taza de precipitación.

Las boquillas deben de cambiarse y el plato dispersor debe ajustarse a la zona, es decir para que el tamaño de gota sea más grande y no sea fácilmente arrastrado y vulnerable a la evaporación, por lo mismo cabe mencionar que resulta acertada mi hipótesis cuando menciono que puede mejorar el consumo de agua por hectárea de cultivo.

La evaluación constante de los equipos de riego en general y su debido mantenimiento pueden reducir no solo el costo energético sino también contribuir al uso eficiente del agua, ya que es un recurso invaluable que está cada vez menos disponible.

BIBLIOGRAFIA

Becerra, F. & Francisco, C. (1995). Diseño, Manejo Y Evaluación Del Pivote Central Y Sus Perspectivas Para Chile. Proyecto De Título. Facultad De Ingeniería Agrícola, Universidad De Concepción Chillan, Chile.

Claude H. Pair. P.E. (1969). Operation and Maintenance. Chapter XVII were by Claude H. Pair. P.E. Agricultural engenieer (Irrigation) USDA-ARS. Washington, D.C. 1969.

Claude H. Pair. P.E. Hinz, W.W., Reid C., Frost, K.R. (1975). Sprinkler Irrigation. Fourth Edition Cap XVIII, Electric Power consumption KWH per hour. Ed. The Irrigation Asociación 13975 Conecticut Avenue, Silver Spring, Mary Land 209096. November 1975.

Conuee (2011). Estudio De Los Sistemas De Bombeo Agropecuarios En México. Conuee/Giz, México, D.F. Diciembre, 2011.

De Cook, K.J.* (1983). Potencial Rainfall and Runoff utilization in the Tucson Urban Area. Water Resources research Center. Office of Arid Lands Studies, University of Arizona. Tucson 1983.

De la Loma, J.L. (1962). El uso consuntivo Métodos Para su determinación S.R.H. México D. F. 1962.

Israelsen, O.W., Hansen, V.E. (1980). Irrigation Principles and Practices. Third Edition. Cap. 13, Irrigation Efficiencies. Utah State Univerty. Ed. John Wiley & Sons, Inc.

Karmeli D., Salazar, L.J. & Walker, W.R. (1978). Assening the Spatial Variability of Irrigation Water Applications. Ed. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research And Develapmet, Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma 1978.

Keller J. y Karmeli D. 1975. Trickle irrigation design Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, Glendora, California, USA. 132 p. June 1975.

Lopez, S.L& Herrero, B.F.S. (2016). Determinación Del Consumo De Energía En La Máquina De Pivote Central Modelo «Agrocaja» En El Cultivo De La Caña De Azúcar. Vol. 5, No. Universidad De Ciego De Ávila Máximo Gómez Báez. Abril- Julio 2016.

Lopez, S.L., Mujica, C.A., Brown, M.O. & Castellano, C.L. (2012). Evaluación Del Consumo Energético De Las Máquinas De Pivote Centrales Eléctricas En La Empresa Cultivos Varios La Cuba Provincia Ciego De Ávila. Revista Ciencias Técnicas

Agropecuarias, Issn-1010-2760, Rnps-0111, Vol. 21, No. Esp. , Pp. 30-34, Diciembre 2012.

Márquez, Fonseca, L.: Ahorrar Combustible (I)". Disponible En: [Http://Www.Revistaambienta.Es/Webambienta/Marm/Dinámicas/Secciones/Artículos/Marquez.Htm](http://www.Revistaambienta.Es/Webambienta/Marm/Dinámicas/Secciones/Artículos/Marquez.Htm), Consulta: 10 De Enero Del 2012.

Mejía de Tafur, M.S., Marín P. G. E., Menjivar, F. J.C (2014) Respuesta Fisiológica del Cilantro (*Coriandrum Sativum L.*) A La Disponibilidad De Agua En El Suelo. Universidad Nacional De Colombia Sede Palmira, Facultad De Ciencias Agropecuarias. (25 Abril 2014)

Mena, M.H., Tijerina, C.L., Acosta, H.R. (2010) Evaluación Técnica Y Económica Del Manejo De Equipos De Pivote Central Terra Latinoamericana, Vol. 28, Núm. 2, Abril-Junio, 2010, Pp. 177-184 Sociedad Mexicana De La Ciencia Del Suelo, A.C. Chapingo, México

Morábito, J., Rearte, E., Schhilardi, C., Martin, L., Salatino, S. (2015). Desempeño Del Riego De Equipos De Pivote Central En La Provincia De Mendoza, Argentina*.1instituto Nacional Del Agua – Centro Regional Andino. Facultad De Ciencias Agrarias. Universidad Nacional De Cuyo.Belgrano Oeste 210. Ciudad, Mendoza. Email: Jmorabito@Ina.Gob.Ar.Tel/Fax: (+54 261 4286993). *Trabajo Presentado El Conagua 2015, Paraná - Entre Ríos, Argentina.

Moreno, R. G (2016). Tesis: Evaluación Hidráulica Del Riego Mecanizado Tipo Pivote Central. Uaaan Saltillo, Coahuila, Junio 2016.

Perez, L. R., Blanco, C. J. L., Piña, G.N., Perez, G. A. G. (2010). Emisores, Uniformidad De Riego Y Rendimiento Agrícola En Pivotes Para Cultivos Varios. Ingeniería Hidráulica Y Ambiental. Vol Xxxi, No. 1 La Habana.

Pinter, P.J., Reginato, R.J. (1981). Irrigation scheduling for wate & energy conservation in the 80'. Proceedings of the american society of agricultural energineers, Irrigation scheduling Conference Dicember 1981.

Plantot (2007). Proyecto Para El Análisis Y La Conciencia De La Vegetación Urbana. Manual De Siembra Y Aprovechamiento Del Cilantro. [Www.Jstk.Org](http://www.Jstk.Org).

Programa Editorial del Gobierno de la República (2014). NUMERAGUA 2014.

Programa Integral De Desarrollo Rural 2014. Carta Tecnológica # 16. SAGARPA.

Salomon, K & Keller, J. (1975). Trickle Irrigation Uniformity and Efficiency. Articulo presentado en la convencio anual ASCE y la National Environmental Engenieering convention, Kansas City 1975.

Salomon, K. (1997). Manufacturing Variation of Emitters in TrickleIrrigation Systems. ASAE Paper No. 77-7009, presentado en la reunión de verano de 1997 de la ASAE.

Tarjuelo, J. 1999. El Riego Por Aspersión Y Su Tecnología. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. 670 P.

Terry, A. H., Hiler, E.A. (1974). Designing Trickle Irrigation Laterals for Uniformity. Journal of the Irrigation and Drainage Division. Pag. 443-453. Dicember 1974.

Varas, B.E., Sandoval & H. Jorge (1989). Riego Por Aspersión. Convenio Inia-Fndr. Estación Experimental Carillanca. Temuco-Chile, Marzo 1989.

Velez, F. (2003) Sector Agropecuario: Diagnóstico Y Perspectivas. Cambio Institucional: Agenda Pendiente Para Las Políticas Públicas, Itam , México.

Winthers, B., Vipond, S. (2000). Irrigation desing and prctice. Second edition. The Irrigation asociation . August 2000.

Wu, I-P. & Gitlin, H.M. (1973). Hydraulics and Uniformity for Drip Irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Vol. 99 Pag. 157-167. June 1973.

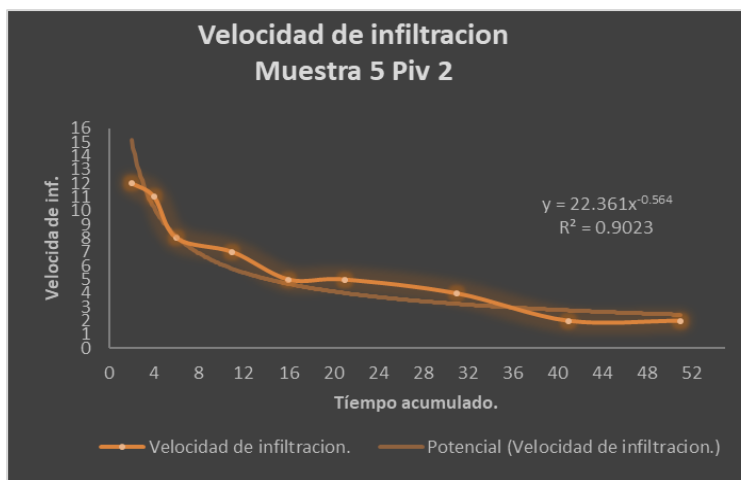
Zimmerman, D.J. (1966). Irrigation. Cap. 25 Pumping Equipment for Irrigation Systems. Ed. John Wiley & Sonc, Inc. Michigan university 1966.

ANEXOS

Muestra 5 Piv 2								
Tiempo (min)	Dif. Lectura (cm)	Tiempo acum.	Vel de inf. En cm/min	inf acumulada.	log x	log y	x.y	x^2
0	0	0						
2	0.3	2	12	12	0.301	1.079	0.325	0.091
2	0.2	4	11	23	0.602	1.041	0.627	0.362
2	0.1	6	8	31	0.778	0.903	0.703	0.606
5	0.3	11	7	38	1.041	0.845	0.880	1.084
5	0.2	16	5	43	1.204	0.699	0.842	1.450
5	0.2	21	5	48	1.322	0.699	0.924	1.748
10	0.2	31	4	52	1.491	0.602	0.898	2.224
10	0.4	41	2	54	1.613	0.301	0.485	2.601
10	0.4	51	2	56	1.708	0.301	0.514	2.916
Suma					10.061	6.471	6.198	13.082

Suma x^2	N	n	y media	x media	m	log m	k
101.22	9	-0.56403	0.719	1.118	0.0885	1.2260	16.8251

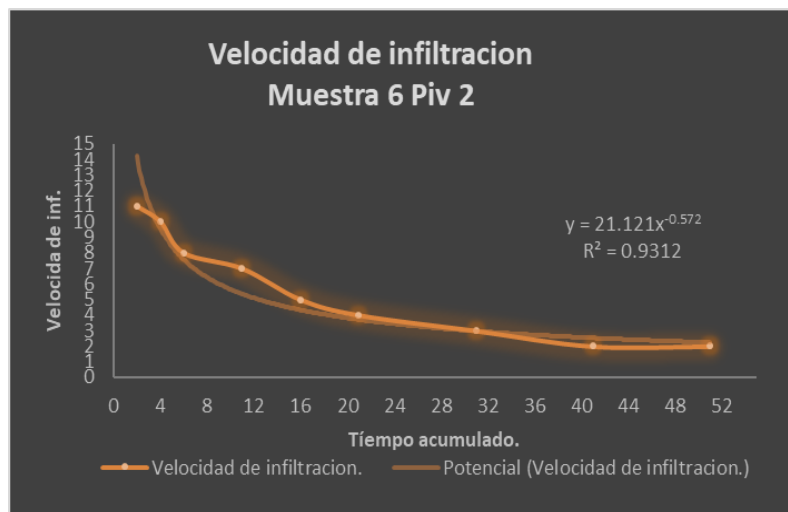
Ecuación de Infiltración		
tiempo=	60	1.671183509 cm/horas



Muestra 6 Piv 2								
Tiempo (min)	Dif. Lectura (cm)	Tiempo acum.	Vel de inf. En cm/mi	inf acumulada.	log x	log y	x.y	x^2
0	0	0						
2	0.3	2	11	11	0.301	1.041	0.313	0.091
2	0.2	4	10	21	0.602	1.000	0.602	0.362
2	0.1	6	8	29	0.778	0.903	0.703	0.606
5	0.3	11	7	36	1.041	0.845	0.880	1.084
5	0.2	16	5	41	1.204	0.699	0.842	1.450
5	0.2	21	4	45	1.322	0.602	0.796	1.748
10	0.2	31	3	48	1.491	0.477	0.712	2.224
10	0.4	41	2	50	1.613	0.301	0.485	2.601
10	0.4	51	2	52	1.708	0.301	0.514	2.916
Suma					10.061	6.170	5.847	13.082

suma x^2	N	n	y media	x media	m	log m	k
101.22	9	-0.5718	0.686	1.118	0.0463	1.1126	12.9606

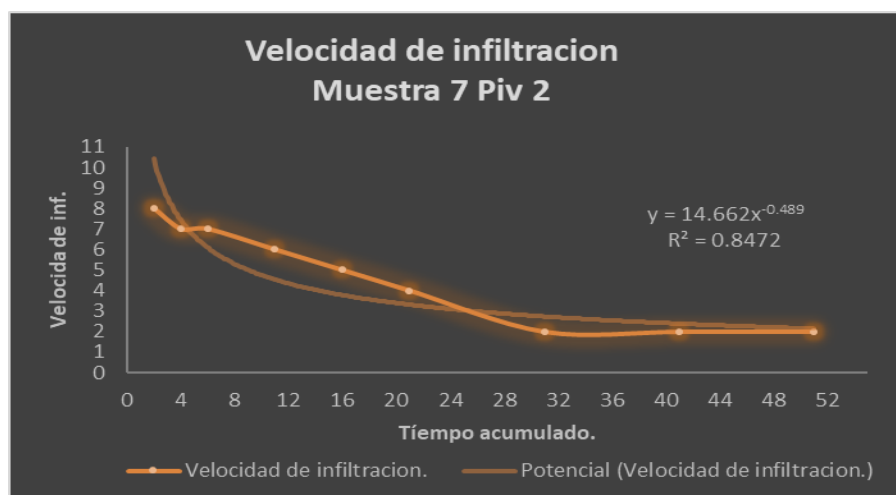
Ecuación de Infiltración		
tiempo=	60	1.247057133 cm/horas



Muestra 7 Piv 2								
Tiempo (min)	Dif. Lectura (cm)	Tiempo acum.	Vel de inf. En cm/mi	inf acumulada.	log x	log y	x.y	x^2
0	0	0						
2	0.3	2	8	8	0.301	0.903	0.272	0.091
2	0.2	4	7	15	0.602	0.845	0.509	0.362
2	0.1	6	7	22	0.778	0.845	0.658	0.606
5	0.3	11	6	28	1.041	0.778	0.810	1.084
5	0.2	16	5	33	1.204	0.699	0.842	1.450
5	0.2	21	4	37	1.322	0.602	0.796	1.748
10	0.2	31	2	39	1.491	0.301	0.449	2.224
10	0.4	41	2	41	1.613	0.301	0.485	2.601
10	0.4	51	2	43	1.708	0.301	0.514	2.916
Suma					10.061	5.576	5.335	13.082

suma x^2	N	n	y media	x media	m	log m	k
101.22	9	0.48905	0.620	1.118	0.0728	1.1826	15.2248

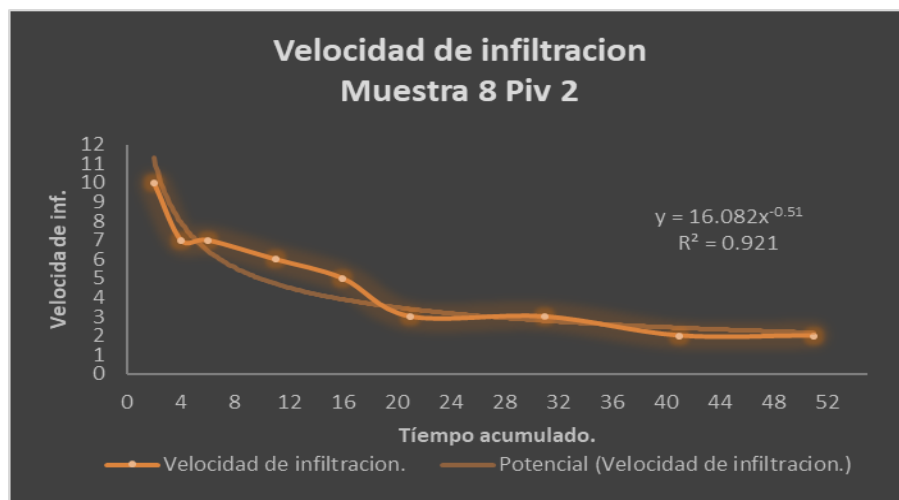
Ecuación de Infiltración		
tiempo=	60	2.055634686 cm/horas



Muestra 8 Piv 2								
Tiempo (min)	Dif. Lectura (cm)	Tiempo acum.	Vel de inf. En cm/mi	Inf acumulada	log x	log y	x.y	x^2
0	0	0						
2	0.3	2	10	10	0.301	1.000	0.301	0.091
2	0.2	4	7	17	0.602	0.845	0.509	0.362
2	0.1	6	7	24	0.778	0.845	0.658	0.606
5	0.3	11	6	30	1.041	0.778	0.810	1.084
5	0.2	16	5	35	1.204	0.699	0.842	1.450
5	0.2	21	3	38	1.322	0.477	0.631	1.748
10	0.2	31	3	41	1.491	0.477	0.712	2.224
10	0.4	41	2	43	1.613	0.301	0.485	2.601
10	0.4	51	2	45	1.708	0.301	0.514	2.916
				Suma	10.061	5.724	5.461	13.08
							2	

suma x^2	N	n	y media	x media	m	log m	k
101.22	9	0.5102	0.636	1.118	0.0656	1.1630	14.5540

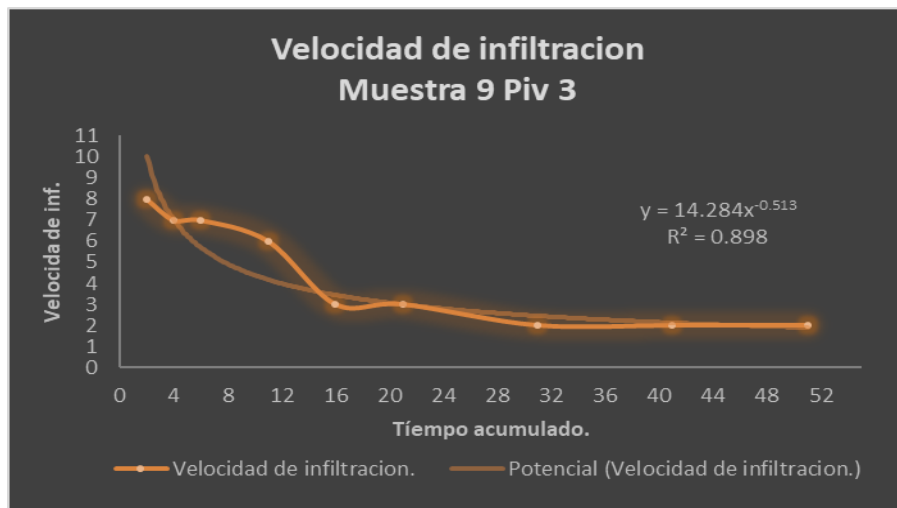
Ecuación de Infiltración			
tiempo=	60	1.80170316	cm/horas



Muestra 9 Piv 3								
Tiempo (min)	Dif. Lectura (cm)	Tiempo acum.	Vel de inf. En cm/mi	inf acumulada.	log x	log y	x.y	x^2
0	0	0						
2	0.3	2	8	8	0.301	0.903	0.272	0.091
2	0.2	4	7	15	0.602	0.845	0.509	0.362
2	0.1	6	7	22	0.778	0.845	0.658	0.606
5	0.3	11	6	28	1.041	0.778	0.810	1.084
5	0.2	16	3	31	1.204	0.477	0.575	1.450
5	0.2	21	3	34	1.322	0.477	0.631	1.748
10	0.2	31	2	36	1.491	0.301	0.449	2.224
10	0.4	41	2	38	1.613	0.301	0.485	2.601
10	0.4	51	2	40	1.708	0.301	0.514	2.916
Suma					10.061	5.229	4.902	13.082

suma x^2	N	n	y media	x media	m	log m	k
101.22	9	-0.51338	0.581	1.118	0.0071	1.0165	10.3862

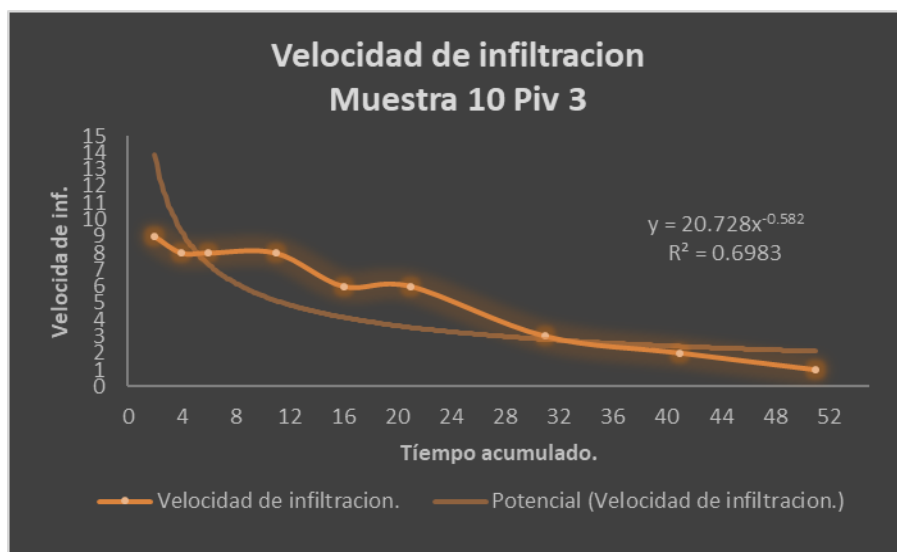
Ecuación de Infiltración		
tiempo=	60	1.26936353 cm/horas



Muestra 10 Piv 3								
Tiempo (min)	Dif. Lectura (cm)	Tiempo acum.	Vel de inf. En cm/mi	inf acumulada.	log x	log y	x.y	x^2
0	0	0						
2	0.3	2	9	9	0.301	0.954	0.287	0.091
2	0.2	4	8	9	0.602	0.903	0.544	0.362
2	0.1	6	8	17	0.778	0.903	0.703	0.606
5	0.3	11	8	25	1.041	0.903	0.940	1.084
5	0.2	16	6	31	1.204	0.778	0.937	1.450
5	0.2	21	6	37	1.322	0.778	1.029	1.748
10	0.2	31	3	40	1.491	0.477	0.712	2.224
10	0.4	41	2	42	1.613	0.301	0.485	2.601
10	0.4	51	1	43	1.708	0.000	0.000	2.916
Suma					10.061	5.998	5.637	13.082

suma x^2	N	n	y media	x media	m	log m	k
101.22	9	-	0.666	1.118	0.0163	1.0383	10.9216

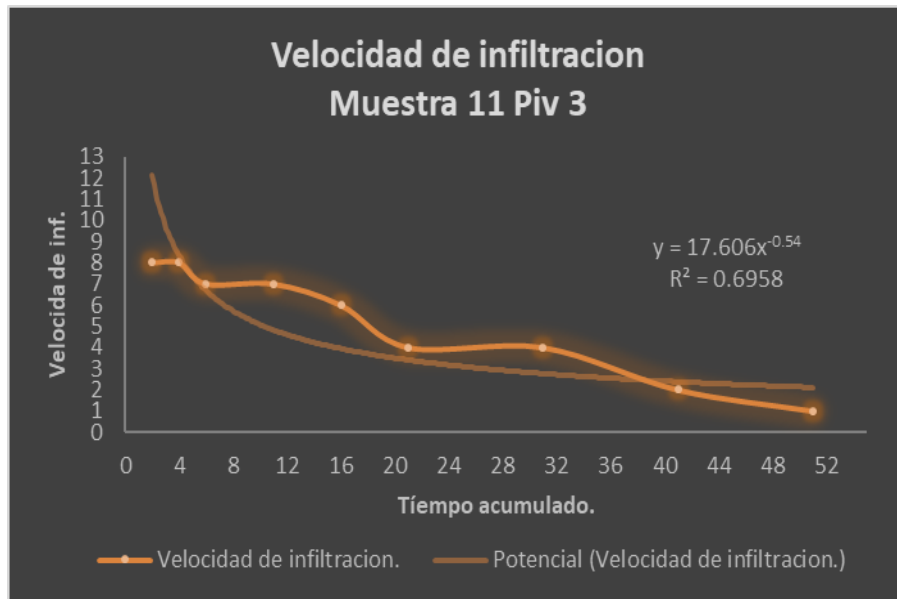
Ecuación de Infiltración		
tiempo=	60	1.009594831 cm/horas



Muestra 11 Piv 3								
Tiempo (min)	Dif. Lectura (cm)	Tiempo acum.	Vel de inf. En cm/mi	inf acumulada.	log x	log y	x.y	x^2
0	0	0						
2	0.3	2	8	9	0.301	0.903	0.272	0.091
2	0.2	4	8	9	0.602	0.903	0.544	0.362
2	0.1	6	7	16	0.778	0.845	0.658	0.606
5	0.3	11	7	23	1.041	0.845	0.880	1.084
5	0.2	16	6	29	1.204	0.778	0.937	1.450
5	0.2	21	4	33	1.322	0.602	0.796	1.748
10	0.2	31	4	37	1.491	0.602	0.898	2.224
10	0.4	41	2	39	1.613	0.301	0.485	2.601
10	0.4	51	1	40	1.708	0.000	0.000	2.916
Suma					10.061	5.780	5.470	13.082

suma x^2	N	n	y media	x media	m	log m	k
101.22	9	-0.53986	0.642	1.118	0.0387	1.0932	12.3937

Ecuación de Infiltración		
tiempo=	60	1.3590868 cm/horas



Muestra 12 Piv 3								
Tiempo (min)	Dif. Lectura (cm)	Tiempo acum.	Vel de inf. En cm/mi	inf acumulada.	log x	log y	x.y	x^2
0	0	0						
2	0.3	2	10	9	0.301	1.000	0.301	0.091
2	0.2	4	9	9	0.602	0.954	0.575	0.362
2	0.1	6	9	18	0.778	0.954	0.743	0.606
5	0.3	11	6	24	1.041	0.778	0.810	1.084
5	0.2	16	5	29	1.204	0.699	0.842	1.450
5	0.2	21	4	33	1.322	0.602	0.796	1.748
10	0.2	31	3	36	1.491	0.477	0.712	2.224
10	0.4	41	2	38	1.613	0.301	0.485	2.601
10	0.4	51	2	40	1.708	0.301	0.514	2.916
Suma					10.061	6.067	5.777	13.082

suma x^2	N	n	y media	x media	m	log m	k
101.22	9	-0.5472	0.674	1.118	0.0624	1.1545	14.2734

Ecuación de Infiltración		
tiempo=	60	1.518872091 cm/horas

