

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”.
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.



**DISEÑO AGRONÓMICO DE UN SISTEMA DE PIVOTE CENTRAL EN LA
PEQUEÑA PROPIEDAD LOS ARENALES**

**POR
JESÚS IVÁN PÉREZ ZAVALA.**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA DICIEMBRE DEL 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Diseño agronómico de un sistema de pivote central en la pequeña propiedad los Arenales”

Jesús Iván Pérez Zavala

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA,
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:



Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

ASESOR:



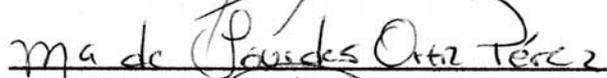
ING. MIGUEL SIFUENTES CABRERA

ASESOR:

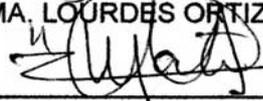


DR. JORGE LUIS VILLALOBOS ROMERO

ASESOR:



ING. MA. LOURDES ORTIZ PEREZ



MC. VICTOR MARTINEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA

DICIEMBRE DEL 2010

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

"ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

"Diseño agronómico de un sistema de pivote central en la pequeña propiedad los arenales"

Jesús Iván Pérez Zavala

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


Ph. D VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

VOCAL:

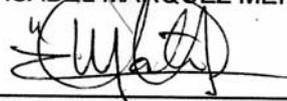

ING. MIGUEL SIFUENTES CABRERA

VOCAL:


DR. JORGE LUIS VILLALOBOS ROMERO

VOCAL SUPLENTE:


MC. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA


MC. VICTOR MARTINEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN COAHUILA

Coordinación de la División de Carreras Agronómicas
DICIEMBRE DEL 2010



DEDICATORIA

A MI DIOS por haberme dado la oportunidad de nacer, de crecer y ahora de lograr uno de mis tantos sueños; A el y solo a el por la oportunidad tan grande de haberlo conocido y el que tenga tan grande misericordia para con mi vida y nunca haberme dejado pese a mis errores además de escuchar cada una de mis oraciones en tiempos de angustia dándome consuelo, porque el solo sabe cuanto mi alma le anhela. Gracias Señor Jesús eres el deseo de mi corazón solo a ti sea la honra y la gloria el imperio y toda la potestad por todos los siglos de los siglos, amen.

A mi hermanita: Jessica Jazmín Pérez Zavala pese a que ya no esta conmigo, se que esta con el Señor, a ti mi hermanita linda sea pues también este gran logro en mi vida y sea también mi amor y corazón porque te amo, aunque no estés ya con nosotros te llevamos siempre en nuestros corazones también te lo dedico a ti.

A mis padres: Luís Alberto Pérez Martínez y Celia Zavala Ovando, por todo el apoyo incondicional a pesar de todo, por amarme pese a mis rebeldías y malos momentos. A mi padre por su enorme sacrificio por su amor el cual hoy se ve recompensado. A ti mama por tu manera de ser, por esa alma tan blanca y pura que tienes la cual siempre me aconsejaba, los amo mucho por el amor que siempre me han brindado, el Señor los bendiga y cuide, siempre los llevare en mi corazón.

A mis hermanos: Luis Alberto Pérez Zavala y Ana Celia Pérez Zavala, por darme todo su amor. A ti Luis gracias por tu paciencia y consejos y sobre todo por tu gran amor hacia a mi y compartir conmigo momentos bellos en

nuestra niñez, juventud y siempre. Te amo hermano lindo. A ti mi chelita preciosa porque se que al igual que mama tu corazón es puro, te amo bebita hermosa.

A mi esposa linda: por su apoyo en esta etapa tan importante de mi vida por sus oraciones y consejos, sobre todo por su espera, fidelidad y ayuda. El Señor te guarde siempre, gracias por esperarme, esto también te lo dedico a ti con mucho amor y cariño.

A mis dos hijitos lindos: por su paciencia y soportarme en los momentos malos, gracias por sus sonrisas y alegría que me contagia cada día, y su presencia, esto también es para ustedes, Joselyn y Javier.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS indiscutiblemente por su amor y su misericordia, porque siempre ha estado conmigo, ayudándome alcanzar cada sueño y meta, solo a el sea la honra, y glorifica.

A mi “Alma Terra Mater” por la estancia y facilidades que esta me brindó para lograr mi carrera.

Al Prof. Walter Pablo Teele Abaroa por su apoyo incondicional en la realización de esta tesis y por proporcionar todos los medios requeridos para llevar a cabo la investigación.

Al Ing. Miguel Sifuentes Cabrera por su apoyo, orientación y facilidades en el trabajo de campo de esta tesis y por proporcionarme la mejor orientación estudiantil.

Al Ph.D. Vicente de Paúl Reyna por su disponibilidad para la realización de esta investigación y su apoyo total en todos los aspectos en lo profesional y su orientación.

Al Dr. Jorge Luis Villalobos Romero por su asesoría, compartir sus conocimientos, su valioso tiempo dedicado a la realización de este trabajo de tesis y su gran calidad de ser humano y profesionalidad.

A todas aquellas personas que en algún momento me brindaron la mano y me dieron su apoyo y comprensión para la finalización de mis estudios.

INDÍCE DE CONTENIDO

	Pagina
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
INDICE DE CUADROS	VII
RESUMEN	IX
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 impacto en la Comarca Lagunera	2
1.2 Problemática actual.....	2
1.4 Objetivo	3
1.5 Metas.....	3
1.6 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Historia del riego por pivote central	4
2.1.1 Antecedentes	4
2.2 Componentes típicos y configuraciones	5
2.2.1 Pivote central.....	5
2.2.2 Tipos de boquillas	7
2.2.3 Aspersores de impacto.....	7
2.2.4 Boquillas rociadoras	8
2.2.5 Manejo del pivote	9
2.2.6 Ventajas del sistema de riego tipo pivote central	10
2.2.7 Desventajas del sistema de riego tipo pivote central.....	11
2.2.8 eficiencia del pivote central	12
2.2.9 Rendimientos de cultivos.....	15
2.3 Generalidades	16
2.4 Diseño agronómico	19

2.4.1 Características del suelo	20
2.4.2 Muestreo de humedad.....	21
2.4.3 Muestreo en sistemas de riego tipo pivote central	23
2.4.4 Fuente de energía	24
2.4.5 Fuente de agua	24
2.4.6 Cultivo de la alfalfa	25
2.4.6.1 Época de siembra	26
2.4.6.2 Selección y Preparación del terreno para siembra.....	26
2.4.6.3 Método y densidad de siembra.	27
2.4.6.4 Variedades	27
2.4.7 Clima	28
2.4.8 Movimiento del agua en el suelo	29
2.4.9 Evapotranspiración.....	30
2.4.9.1 Método de cálculos de evapotranspiración	31
2.4.9.2 Métodos directos	31
2.4.9.3 Métodos indirectos	32
2.4.9.3.1 Métodos de radiación	32
2.4.9.3.2 Métodos basados en la temperatura	33
2.4.9.3.3 Métodos de humedad relativa	33
2.4.10 Precipitación efectiva.....	33
2.4.11 Requerimiento de riego	34
2.4.11.1 Método GIR	35
2.4.12 Raspawin.....	35
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1 Localización geográfica	37
3.2 Clima	37
3.3 Temperatura	37
3.4 Precipitación	37
3.5 Humedad relativa	38

3.6 Infraestructura, superficie y patrón del cultivo	38
3.7 Características del cultivo.....	39
3.7.1 Época de siembra	39
3.7.2 Variedades	40
3.7.3 Densidad y Método de siembra.....	40
3.8 Características del suelo	40
3.9 Análisis de agua	41
3.2. Preparación del terreno	42
3.2.2 Toma de datos de campo.....	42
3.2.3 Frecuencia de riego.....	42
3.2.4 Labores de cultivo	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1 Cálculos en el raspawin	43
4.1.1 Cálculos de la Evapotranspiración	44
4.1.2 Cálculo del calendario de riego por el Método Analítico.....	45
4.1.3 Determinación del calendario de riego de acuerdo con el ciclo Vegetativo del cultivo de la alfalfa	46
4.1.4 Cálculos de la lámina de riego	48
4.1.5 Calculo de requerimiento de riego sin la eficiencia	48
4.1.6 Cálculos de los requerimientos de riego con el Método GIR.....	49
4.1.7 Cálculos de los requerimientos de riego con eficiencia.....	51
4.1.8 Cálculos de agua requerida.....	52
4.1.9 Cálculos del gasto de total del sistema	53
4.1.10 Cálculos de las láminas netas	54
4.1.11 Calculo del tiempo de riego.....	54
V. CONCLUSIÓN.....	55
VII. BIBLIOGRAFÍA	56

INDICE DE CUADROS

	Pagina
CUADRO 1. Aprovechamiento del área en equipos individuales y agrupados	10
CUADRO 2. Tabla de eficiencias de Riego.....	12
CUADRO 3. Comparación de rendimiento con varios tipos de sistema de riego (Rodríguez, 2004).	15
CUADRO 4. Temperaturas máximas y mínimas	43
CUADRO 5. Evapotranspiración por el Método de Blanney y Criddle..	44
CUADRO 6. Calendario de riego por el Método Analítico	45
CUADRO 7. Calendario de riego para el ciclo vegetativo de alfalfa.....	46
CUADRO 8. Calendario de riego	47
CUADRO 9. Lamina de riego	48
CUADRO 10. Cálculo de requerimientos de riego sin la eficiencia y la precipitación efectiva por el método de Ogrosky - Mockus.....	49
CUADRO 11. Requerimientos de riego por el método GIR	50

CUADRO 12. Requerimientos mensuales de riego/RASPAWIN con eficiencia del 85%	51
CUADRO 13. Gastos mensuales	52
CUADRO 14. Gasto total del sistema.....	53
CUADRO 15. Láminas netas	54
CUADRO 16. Tiempo de riego	54

RESUMEN.

El uso del pivote central se ha difundido a nivel mundial, fundamentalmente para el riego de cultivos forrajeros. A mediados de la década de los 90, se comenzaron a instalar en nuestro país, totalizando a la fecha, no más de una veintena de equipos, para el riego de cultivos como maíz y soja fundamentalmente.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue realizar el diseño agronómico de un sistema de riego presurizado en la modalidad de pivote central y demostrar el incremento en la producción por metro cubico de agua.

El trabajo se realizo en las instalaciones de la empresa Ultrarriegos de la Laguna S.A de C.V. en lo que fue el diseño agronómico contando con datos de campo como son muestras de suelo y agua, pendientes de terreno, disponibilidad de recursos (luz, agua, área de cultivo) y la otra parte se llevo acabo en la pequeña propiedad las arenas donde se muestreo el suelo para determinar sus características físicas, químicas e instalación del pivote central.

El diseño agronómico del pivote fue elaborado para evaluar las características que se tienen y contar con parámetros que permitan decidir la viabilidad del sistema de riego en cuestión, obteniendo un gasto total del sistema de 53.14 l/s de los 78 l/s disponibles para el riego, y una eficiencia de aplicación del agua de 85%, eficientando el sistema con el agua sobrante para utilizarla en otra superficie para riego.

PALABRAS CLAVES: datos de campo, pivote, características, gasto, Agua.

I. INTRODUCCIÓN.

Los sistemas de riego de pivote central están entre los sistemas más populares para la irrigación en la mayoría de los cultivos. Estos sistemas son utilizados en la mitad de la superficie regada por aspersión en los estados unidos. Estos han incrementado la eficiencia del riego en muchas áreas donde el riego superficial o los métodos convencionales de riego por aspersión no se han adaptado. Son relativamente más fáciles de manejar, y han abierto nuevos horizontes en la producción de cultivos. Los agricultores que han establecido el sistema de pivote central pueden aplicar riegos frecuentes y ligeros según se necesiten para de acuerdo a las necesidades del cultivo y maximizar la producción. Esto se vuelve práctico que requiere de una mínima labor asociada en cada riego. Por lo tanto, las aplicaciones pueden ser programadas sin considerar la frecuencia de labores o están asociadas al contenido o capacidad de retención de humedad del suelo (Rolando R. 2007.)

La eficiencia de riego implica la capacidad de minimizar las pérdidas de agua. Factores como la dispersión por el viento o evaporación del agua de la superficie del suelo y planta afectan el nivel de eficiencia. Simplemente hacer llegar el agua al suelo y controlar la escorrentía incrementa la eficiencia. En el campo del riego mecanizado, el avance más significativo en lo que respecta a la eficiencia ha sido la instalación de los aspersores con extensiones, hacia abajo fuera del viento.

Las extensiones deben su éxito a que permiten distribuir el agua sobre una gran área, aun cuando están montados debajo de los tirantes del pivote. Estos dispositivos giratorios funcionan a baja presión y presentan una doble ventaja: un mayor tiempo de saturación y baja pluviometría. Un patrón de distribución más completo puede duplicar el tiempo de saturación de los aspersores fijos.

1.1 IMPACTO EN LA COMARCA LAGUNERA.

El gobierno de México, implementó en 1996, un programa denominado “Alianza para el campo”, con el que se pretende lograr la modernización y tecnificación del riego parcelario. Dicho programa ha beneficiado 5,369 productores de la comarca lagunera de Coahuila y Durango, instalándose de 1996 a 1999, 28 sistemas de riego de alta presión para 1449. 65 has. La inversión total fue de 20.68 millones de pesos, donde el gobierno federal apoyo con 33 %, el gobierno estatal con 9 % y los productores aportaron el 58 % restante.

Las estadísticas muestran que el costo por hectárea para modernizar el sistema de riego varía en función del sistema de riego que se implemente; lo cual permite recuperar la inversión, siempre y cuando se establezcan cultivos remunerativos. Uno de los sistemas que se han implementado en el campo de la comarca lagunera es el pivote central, sin embargo, actualmente en la comarca lagunera se instalan sistemas de riego por goteo, aspersión en las nogaleras y válvulas alfalferas. (El siglo de torreón, 2009)

1.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL.

Actualmente se cuenta con el área de riego abierta al cultivo, y acequias de tierra, se tiene problemas con el manejo de agua debido a que los regadores no tiene una capacitación adecuada en el manejo del recurso agua, se estima una eficiencia de aplicación actual del orden del 65%.

El sistema actual de riego es deficiente por la longitud de la acequia de tierra por donde se conduce el agua y longitud de las melgas.

1.3 OBJETIVO.

Obtener el diseño agronómico de un sistema de riego de pivote central mediante datos de campo y estadísticas, de fácil acceso.

1.4 METAS.

Facilitar el diseño agronómico del sistema de riego por pivote central.

1.5 HIPÓTESIS.

El procedimiento utilizado facilita el diseño agronómico del sistema de riego pivote central.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 ANTECEDENTES.

2.1.1 Historia del riego por pivote central.

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

A mediados del siglo XX reapareció gracias a la visión e inteligencia de Frank Zybach, un granjero de Strasburg, Colorado, quien diseñó y ensambló un “aparato autopropulsado de riego por aspersores” que puso en práctica y constituyó una alternativa práctica al esfuerzo de regar con palas y tubos (sifones) cargados a mano.

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 Valley Manufacturing Company, una pequeña fábrica de maquinaria que comenzó comercializarlos.

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. En 1968 Richard Reinke, un personaje clave en el

desarrollo temprano de los pivotes, inventó un pivote central llamado el Electrogator, pivote eléctrico reversible que excedía los 30 m de envergadura, el que ya usaba llantas de goma. Además Reinke desarrolló el primer pivote central de aluminio, el Alumigator, que gracias a su bajo peso redujo la ocurrencia de huellas profundas en el campo. (Valley Valmont Company, 2005.)

El sistema de un pivote central fue patentado en 1952. Después de haber pasado tres décadas, la maquinaria del pivote central ha sido bien perfeccionada. Este es un simple y fácil mecanismo para operar, aunque, al igual que cualquier maquinaria, requiere un mantenimiento sistemático rutinario. Se han desarrollado varios paquetes de boquillas que proporcionan una muy buena uniformidad de aplicación del agua. Se encuentran disponibles paquetes de boquillas de baja presión, que se usan para suelos donde la capacidad de infiltración o el almacenamiento superficial es suficientemente alta. Para topografía con terraza y colinas, se encuentran disponibles mecanismos para controlar el flujo y presión. (Richard G. y Jack Keller. 2009).

2.2 COMPONENTES TÍPICOS DEL PIVOTE Y CONFIGURACIONES.

2.2.1 Pivote central.

El Pivote central es llamado así por su movimiento circular alrededor de un punto central que recibe el nombre de pivote. Método eficiente para regar y distribuir fertilizantes y herbicidas. Su capacidad para regar tanto llanos como terrenos ondulados lo ha distinguido como un instrumento significativo de cambio en la concepción de la agricultura desde la invención del tractor. (Valley Valmont Company, 2005.)

El sistema consiste en una tubería lateral, de acero galvanizado, que gira en torno a un punto fijo en el centro de la parcela regada de ahí, su denominación de “pivot” (Santos 2004). El pivote central es fabricados

principalmente de acero galvanizado o aluminio. En general las secciones del pivote está conformadas por tubería de 6 5/8, 8 5/8 y 10 pulgadas y se ofrecen varias alturas de despeje, por ejemplo: perfil bajo: 1,85 – 1,95 m, perfil alto: 3,9 – 4 m, perfil ultra alto: 4,9 – 5 m. Entre más alto el pivote se eleva su costo que todas las piezas deben ser más robustas, y la base de las torres más anchas, etc. La altura también incide en la presión de trabajo ya que entre 2 y 5 m hay 3 m.c.a (4,27 psi) de diferencia de presión (Figuroa, 2008).

Se trata de una tubería de conducción porta emisores, dividida en tramos por una serie de torres cuya separación oscila generalmente entre 34 y 62 m.

Tanto los elementos de cada tramo como las torres deben estar contruidos con materiales inalterables (aceros de calidad) y sometidos a tratamientos de galvanizado. La unión entre tramos se hace con coplees flexibles que varía de unas marcas a otras, pero debe ser fuerte y estanca, además de permitir la articulación y giro entre tramos para adaptarse a los terrenos ondulados. Al final del pivote se suele disponer un tramo de tubería en voladizo, de longitud variable (6-30 m.) donde se instala el cañón final, en caso de llevarlo. La tubería porta emisores es simultáneamente tubería de conducción de agua y estructura portante del pivote. Cañones y sistemas de esquinas pueden ser colocados al final del equipo para aumentar el radio mojado o regar en las esquinas. La longitud más común del pivote es 400 m y su vida útil es de 15 a 20 años (Morillo 2001).

La mayoría de pivotes son eléctricos, aunque también usan motores hidráulicos que son más caros. Un motor eléctrico normalmente de 3/4 HP va en cada torre para su movimiento en forma autónoma. Cables eléctricos y líneas hidráulicas van colocados longitudinalmente a la tubería lateral, contando con cajas de control en cada torre. El panel de control usualmente se localiza en la estructura base o centro de pivote (Holzaphel, 2001).

Generalmente la torre más alejada del punto de Pivote controla el movimiento de la máquina. El tiempo de rotación es función de su longitud y

velocidad, al considerar llantas de mayor diámetro o cajas reductoras de mas revoluciones se puede aumentar la velocidad de la ultima torre de (3.2 m/min.), normalmente se maneja con llantas de 14.9"x24". Un panel de control regula la velocidad media de la torre más alejada, que actúa como guía para el sistema completo. Esta torre se hace funcionar un cierto porcentaje de tiempo de cada minuto, un 100% produce que la máquina avance a máxima velocidad (mínimo tiempo de rotación), mientras al 50% de avance, la última torre se mueve a la mitad de la velocidad máxima, por lo cual la rotación más lenta aplica mayor cantidad de agua (Holzaphel, 2001).

2.2.2 Tipo de boquilla.

La clasificación más común de boquillas de los aspersores son de impacto y mecanismos de baja presión. Existen otras clasificaciones que incluyen los rociadores, y diversos tipos de boquilla con varias técnicas para aumentar el área de cobertura de cada boquilla (Allen et al , 2000).

2.2.3 Aspersores de impacto.

Los aspersores de impacto son mecanismos que se utilizan en el sistema portátil manual, de avance lateral y fijo. El chorro de agua golpea un brazo y se precipita en el terreno. El brazo regresa mediante un resorte, que se mueve un mecanismo de impacto que causa una ligera rotación de la boquilla. Normalmente se necesitan de 100 o más impactos para hacer girar la boquilla 360° (Allen et al , 2000).

La gran ventaja de los aspersores de impacto es que lanzan el agua a mayor distancia que cualquier tipo de boquilla. Esto es importante en laderas o suelo pesado que no infiltra el agua rápidamente, debido que una franja ancha significa menor agua por superficie (Allen et al , 2000).

La mayor desventaja de los aspersores de impacto es que requieren de una mayor presión y el agua es lanzada al aire y expuesta al viento.

2.2.4 Boquillas Rociadoras.

El tipo básico de aspersores de baja presión es un plato estacionario con estrías, que al pasar el agua por una boquilla llega al plato que lanza el agua causando que el chorro se distribuya en un patrón circular. Estos rociadores operan con un patrón totalmente circular o parcial, y se manejan bien a baja presión. En muchos casos, esto significa que las boquillas deben estar menos espaciadas o más juntas, por lo tanto se necesitarán más boquillas (Allen et al , 2000).

El sistema LEPA (del inglés: "bajo uso de energía en aplicación de precisión") ofrece considerables ventajas en los sistemas de Pívor Central. Consiste en un aspersor cónico que cuenta con cuatro opciones de aplicación del agua, incluidas por rociadura y tipo goteo, con la aptitud de regar el cultivo, a medida que el sistema avanza. Cuando se aplica junto con las técnicas agrícolas de ahorro de agua, este método puede tener una eficiencia máxima del 95 por ciento. Como este sistema funciona con baja presión, los costos energéticos se reducen de un 20 a un 50 por ciento, en comparación con los sistemas corrientes. En la actualidad, el Pívor Central se puede programar para regar y aplicar productos agroquímicos en el momento preciso. El sistema de riego de Pívor Central ofrece ventajas sobre el riego tradicional por inundación, especialmente en lo que se refiere a. Ahorros de mano de obra y agua, Uniformidad de aplicación (Montico 2010).

De los 6 emisores que se ofertan en el mercado internacional se han comprobado en Cuba hasta el momento tres (Spray, Rotator Y Wobbler), los resultados obtenidos han sido buenos. Es factible la utilización de emisores del tipo Spray para suelos con altas velocidades de infiltración (suelos medios y ligeros). Para los suelos pesados se recomienda utilizar emisores del tipo Rotator y Wobbler, debido a la aplicación instantánea que ellos proporcionan (Gonzales 2002).

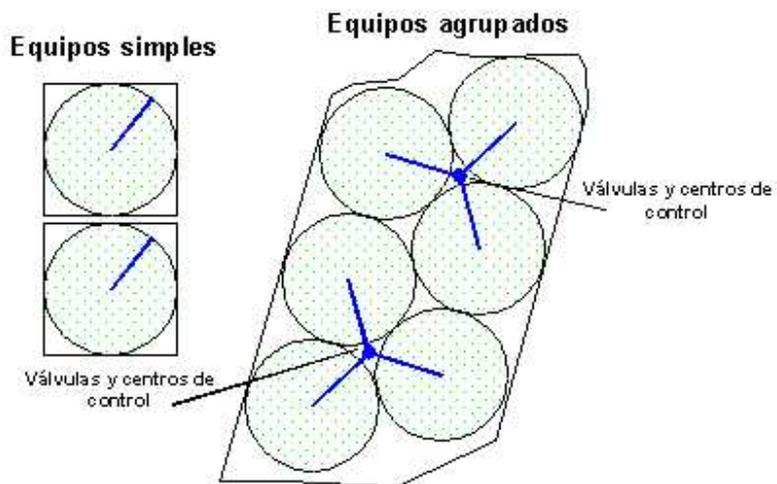
2.2.5 Manejo del pivote central.

La tecnología del Pivote Central con corriente eléctrica es considerada confiable, segura, simple de operar y requiere poca supervisión. Sin embargo, el manejo de estos equipos es diferente, comparado a otros métodos de riego. Estos sistemas se caracterizan por aplicar riegos pequeños, frecuentes (por ejemplo diarios) lo que ofrece numerosas ventajas en el manejo del agua y nutrientes, como también desventajas para el cultivo. Desde el punto de vista del agua y nutrientes, estos pueden ser aplicados en forma precisa. Las pequeñas aplicaciones de agua pueden potencialmente reducir la lixiviación en suelo arenoso (o en arcilla agrietada). Desde el punto de vista del cultivo, el humedecimiento frecuente del follaje crea condiciones para enfermedades fungosas, especialmente en la zona más cercana al centro del pivote. El desarrollo radicular superficial es favorecido en muchos cultivos por riego frecuente y suave, habiendo poca amortiguación del efecto del estrés hídrico cuando el equipo falla. Razón por la cual, el nivel de agua en la zona superior a la zona radicular debe ser mantenido a niveles relativamente altos (Holzaphel, 2001).

El riego frecuente también requiere ajuste del tiempo de rotación, tal que la máquina no esté en el mismo punto del terreno cada día a la misma hora, ello para promediar pérdidas y sobre aplicación a través del campo en el tiempo. Así los tiempos de rotación múltiplos de 12 hrs. deben ser evitados (Holzaphel, 2001). Es importante destacar que el 75% del área se encuentra en la mitad externa del radio. Por ello el manejo se enfoca a las torres externas, pero enfermedades y problemas de distribución de agua ocurren en las porciones internas. El estado actual de la tecnología, trata el campo entero como un sistema suelo-cultivo uniforme (Holzaphel, 2001).

Los Pivotes son utilizados para regar de 2 a 200 hectáreas, aunque lo normal son 50 hectáreas. Consideraciones económicas limitan su uso a áreas menores de 25 hectáreas. Las áreas regadas con un pivote dependen del radio del lateral principal, más el radio producido por el cañón final y sistema de esquina. Si el pivote central es posicionado en el centro de un cuadrado de suelo sin cañón final, regará casi el 80% del área total. (Tabla 1). Los Pivotes son generalmente agrupados cuando son instalados sobre una gran extensión de suelo, tal que el 85% ó 95% del área sea regada.

Cuadro 1. Aprovechamiento del área en equipos individuales y agrupados.



2.2.6 Ventajas.

- Debido a que la dosis de riego es únicamente función de la velocidad de rotación, puede adaptarse tanto a dosis grandes como pequeñas.
- Se puede decir que es un sistema de riego automático, el cual requiere poca mano de obra.
- Otra es la aplicación de agroquímicos a través del sistema, práctica conocida como "Ferti-irrigación", lo que permite disminuir el uso de maquinaria e incrementar la eficiencia en el uso de los fertilizantes

- El poder modificar la pluviometría permite al sistema adaptarse a distinto tipo de suelo.
- El sistema permite realizar riego de alta uniformidad.
- No necesita nivelación, adaptándose a topografía ondulada. Esto permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- Evita la construcción de acequias y canales, aumentando la superficie útil.
- Posee bajo costo por hectárea.
- Bajo costo de operación.
- El sistema trabaja a baja presión requiriendo menor energía.
- Permite una rotación de cultivos, con la condición de que el dimensionamiento se realice para el cultivo más exigente.

2.2.7 Desventajas.

- Un alto costo inicial.
- la aplicación del agua por el sistema es afectada por las condiciones climáticas, es decir, zonas de alta temperatura, radiación solar y baja humedad relativa, las eficiencias se ven mermadas entre un 60 y 75%, lo que en otras palabras se puede expresar que por cada litro de agua asperjada por los rociadores, el 40 al 25% se evapora directamente a la atmósfera y no es aprovechada por el cultivo.
- Es que demanda una alta capacitación del operador para obtener un buen uso eficiente del agua, entendiéndose ésta como la mayor producción por unidad de volumen de agua aplicada.
- Necesita de adaptación de los predios para su funcionamiento (mover cercos, realizar nuevos trazados de líneas eléctricas, eliminar arboles, modificar caminos, etc).
- Al ser un sistema de riego circular se puede perder la superficie en las esquinas de los predios.

- Para un buen manejo del riego y presencia de varios cultivos bajo el Pivote, el sistema obliga a cultivar en sectores circulares.
- Requiere de sistemas de decantación y filtraje cuando se presenta problema con la calidad del agua.
- En suelo muy arcilloso o problemas de sodicidad puede ser no costeable este sistema de riego.

2.2.8 Eficiencia del pivote central.

La uniformidad de riego se relaciona con la uniformidad de rendimiento, cuando el agua no es una limitación. Sin embargo existen factores que afectan la operación normal de un sistema de pivote central en el campo, relacionados con la distribución del agua y por consiguiente, su uniformidad. Estos factores pueden ser divididos en tres categorías: climáticos, de equipamiento y operación (Stanley 2002).

Los climáticos son variables ambientales que pueden incidir en la distribución del agua de los aspersores. Entre los más importantes están la velocidad, dirección de viento y temperatura. El equipamiento es un aspecto esencialmente constante en el diseño del sistema. Incluye características de los aspersores tales como, modelo, configuración y tamaño de boquilla, altura, condición hidráulica y espaciamiento entre uno y otro a lo largo del pivote.

Cuadro 2. Tabla de eficiencias de Riego.

Sistema de riego	Ea %	Cantidad de agua requerida
Surcos	35-85	1.2-2.8

Surcos corrugados	30-55	1.8-3.8
Melgas a nivel	60-85	1.2-1.7
Melgas en pendiente	55-75	1.3-1.8
Inundación sin control	15-35	2.8-6.7
Impulsos	50-85	1.2-2.0
Lateral estacionario o portátil (side roll)	60-85	1.2-1.7
Lateral fijo	60-85	1.2-1.7
Cañón viajero	55-80	1.2-1.8
Cañón estacionario	50-75	1.3-2.0
Pivote central de alta presión	65-85	1.3-1.5
Pivote central de baja presión	75-90	1.1-1.3
Lateral de avance frontal movimiento lineal	80-90	1.1-1.2
Goteo	80-95	1.05-1.2
Microaspersión	75-90	1.1-1.3

La operación, son aquellas condiciones que el agricultor puede operar en forma conveniente. Correctamente la única variación que se considera es la presión de las boquillas. Sin embargo, también es posible cambiar la posición de la boquilla según el movimiento y parada del sistema con diferente lámina en un mismo ciclo.

Las boquillas difusoras deben de estar a un 1 m por encima del suelo y no es necesario usar reguladores de presión donde la pendiente muy suaves al menos de que el pivote sea de una longitud grande (Esquivel, 2010).

El patrón de aspersión tiene gran influencia en la uniformidad. Los aspersores de cabezal rotativo han maximizado la uniformidad en la irrigación mecanizada, actualmente la selección correcta del paquete de aspersores y diseño por computadora permite obtener valores de CU (Coeficientes de Uniformidad de Cristianasen) del 90 al 95%. Resultado de un buen patrón de superposición de aspersores y la cuidadosa consideración de las alturas de montaje con relación a altura del cultivo e interferencias estructurales de la máquina propiamente dicha. La uniformidad es limitada por un correcto diseño y calidad del equipo. La programación del mantenimiento preventivo y reparaciones son una buena estrategia para optimizar el desempeño (Nelsonirrigation, 2002).

Una buena práctica es evaluar el desgaste de boquillas y reguladores de presión, y reemplazando el paquete aspersor cuando sea necesario. Generalmente, cada cinco o seis años es lo máximo para asegurar la máxima uniformidad posible de vida del sistema de irrigación. La vida de un paquete de aspersores instalado en un sistema de irrigación mecanizado depende de la cantidad de abrasivos en el agua y otras condiciones (Nelsonirrigation, 2002).

El sistema LEPA (Aplicación Precisa de Baja Energía) en el pivote central el objetivo es minimizar la pérdida de arrastre de las gotas al caer por efecto del viento y evaporación, prevenir el escurrimiento, maximizar la

infiltración de la lluvia y aprovechamiento del agua. Lo cual constituye una alternativa más en la búsqueda de mayor eficiencia en el uso del agua (Roque 2005).

2.2.9 Rendimiento de cultivos.

Algunos de los cultivos que son regados con los sistemas de pivote central son: maíz, diferentes hortalizas, soja, trigo, algodón, maní, papa, girasol, alfalfa, sorgo, pasturas naturales, etc. Incluso existe experiencia internacional en riego con pivote de cultivos comerciales perennes como café, cítricos y otros (Arrieta 2007). En el sistema de riego de pivote central en alfalfa se ha tenido mayor rendimiento que los demás sistemas de riego como power roll y superficial (Rodríguez, 2004).

Cuadro 3. Comparación de rendimiento con varios tipos de sistema de riego (Rodríguez, 2004).

Forma de pago	Producción en ton/ha			
	Año 1	Año 2	Año 3	Promedio
Pivote central	136.1	135.6	108.5	126.7
Power Roll	110.8	124.8	96.3	110.4
Riego Superficial	91	100.2	52.4	81.2

2.3 GENERALIDADES.

Estos sistemas consisten de una línea lateral con uno de sus extremos fijos a un punto pivote mientras que el otro extremo se desplaza en círculo alrededor del punto pivote.

El agua entra al sistema a través del extremo fijo, la línea lateral es soportada por torres metálicas, las cuales son desplazadas por unidades motrices equipadas con propulsión individual, montada sobre grandes ruedas; estas torres están separadas unas de otras de 25 a 75 cm y la longitud de la línea lateral varía frecuentemente de 50 a 800 m.

La línea lateral es mantenida en forma alineada durante el movimiento del sistema alrededor del punto pivote mediante un sistema de control que regula la velocidad de avance en cada torre, en caso de que la alineación del sistema falle, un dispositivo de seguridad automáticamente suspende el funcionamiento de todo el sistema de riego antes que la línea lateral u otra parte del sistema resulte dañado.

El mecanismo de las unidades motrices instaladas en cada torre es impulsado por diferentes tipos de unidades de potencia como son:

- Impulsión hidráulica con agua a presión.
- Impulsión con motor eléctrico.
- Impulsión de aire- presión.

Los primeros sistemas de riego autopropulsados fueron desarrollados en Nebraska, Estados Unidos, en 1948. Desde ese momento, se ha producido un constante mejoramiento de los equipos, hasta llegar a los actuales pivotes centrales. (Valley Valtmont Company, 2009).

Estos equipos de riego han experimentado una gran expansión en los últimos años debido a los siguientes factores:

1. La alta eficiencia de agua que pueden alcanzar si son bien utilizados.
2. El grado de automatización que los caracteriza, con lo que disminuyen las labores respecto a otros métodos de riego;
3. La capacidad para aplicar agua y nutrientes solubles en una amplia gama de suelo, cultivos y condiciones topográficas.

Este sistema de riego autopropulsado consistente en un lateral único, montado sobre torres, que gira sobre su eje, regando una superficie en forma de círculo o semicírculo. Uno de los extremos del equipo esta anclado a una estructura de soporte central, la que también supe de agua al equipo. El otro extremo, en tanto, se mueve libremente en forma circula al mismo tiempo que aplica el agua, (Tartuelo, 2008).

El agua es conducida a través de la estructura del pivote y entregada al cultivo mediante aspersores de tamaño variable, más pequeños al centro y más grande hacia la preferencia del equipo, donde la velocidad de avance es mayor. El conjunto formado por tuberías, estructuras y aspersores entre dos torres se denomina tramo y varía entre 30 y 50 metros de longitud. Cada torre cuenta con un motor y grandes ruedas que permiten su avance. Al final del equipo, después de la ultima torre, se encuentra una tubería de menor diámetro, suspendida por cables, denomina voladizo, en cuyo extremo se ubica un cañón de riego (aspersor gigante), lo que permite aumentar el radio mojado y, por ende, el área de riego. Adicionalmente, algunos equipados cuentan con sistema de esquina que contribuye a aumentar, aún más, la superficie mojada, (De Santa O, 2008).

Al igual que para otros métodos de riego, la decisión de instalar equipos de este tipo, requieren tener la claridad respecto de sus características

técnicas, condiciones edafoclimáticas y requerimientos hídricos de los cultivos que serán regados. Además, es fundamental conocer la cantidad y calidad del agua disponibles, para asegurar el buen funcionamiento de los equipos, (Martin y Kranz, 2008).

Antes de decidir la adquisición de equipos de alto costo, como pivotes o laterales de avance frontal, el agricultor debe realizar un análisis económico adecuado. Esto implica hacer una evaluación del proyecto, comparado la situación actual (sin proyecto) y la situación con proyecto (donde se cuenta con pivote), (Valley Valmont Company, 2009).

En este análisis, son muy importantes los presupuestos que se hagan y, en especial, los relacionados con la productividad esperada tras la incorporación de riego tecnificado, puesto que los efectos no son los mismos para diferentes condiciones de suelo o clima. Esto quiere decir que, si tenemos un suelo de mala calidad (problemas topográficos, baja capacidad de retención de humedad, poca profundidad) y que sometido a condiciones de riego normal produce bajos rendimientos, al tecnificar lograremos un aumento productivo importante. Esto, producto de la mejor disponibilidad de agua para la planta, de manera que la evaluación, economía estará en condiciones de arrojar una buena rentabilidad indicado que resulta conveniente invertir en riego tecnificado, (Lackas et al, 2007).

En resumen, podemos decir que si bien los equipos de riego de ramales desplazables son buenos en muchas situaciones, no siempre son la mejor alternativa para solucionar los problemas de riego de los agricultores. Por ello, es conviene tener en cuenta de manera permanente la información técnica, agronómica, edafoclimática y económica antes de decidir como regar, (<http://www.inia.cl/cobertura/quilamapu/bioleche/BOLETIN7.html>).

2.4 DISEÑO AGRONÓMICO.

El diseño agronómico es un componente fundamental del cálculo que justifica cualquier expediente técnico de un proyecto de riego (presas de riego, reservorios de riego, canales de riego, riego por aspersión, riego por goteo etc.) (De Santa O, 2008).

La importancia de un buen diseño agronómico en los proyectos de riego repercutirá directamente en:

- La producción y operación del riego
- Capacidad de la red y estructuras de riego

En la determinación de un diseño agronómico de un sistema de riego tipo pivote central se debe de tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Suelo.
- Topografía.
- Fuente de energía.
- Fuente de agua.
- Cultivo.
- Programa de manejo del cultivo.
- Necesidades de agua.
- Guías de riego.
- Calculo de ET y balance de agua en el suelo.

2.4. 1 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.

La información de suelo incluye el conocimiento de las características de textura, estructura e infiltración.

La textura del suelo: describe el contenido de partículas finas y gruesas del suelo. Estas son generalmente clasificadas en términos de porcentajes de arena, limo y arcilla, los porcentaje de los componentes del suelo se determina mediante el triangulo de textura del suelo. (Albert, G. 2009).

Tipos de suelo

- Textura arenosa.
- Textura arcillosa.
- Textura franca.
- Textura franco arenoso.
- Textura franco arcilloso.

La estructura del suelo: describe la forma en que las partículas individuales de suelo se agrupan. La estructura incluye la relación entre partículas a partículas que determinan el tamaño y la consistencia de los agregados de suelo. Los agregados del suelo, que están formados por ciento o miles de partículas de suelo y que están frecuentemente cementadas, determinan como el suelo puede ser disgregado y las formas de sus espacios o macro poros. Los macro poros influyen grandemente en la infiltración del suelo. La cementación de los agregados esta influenciada por la cantidad de materia orgánica presente, debido a que la materia orgánica tiene una función como pegamento. La estructura del suelo es tan importante como la textura del suelo en la determinación de las características de infiltración del suelo. (Charly, F.2007).

Tipos de estructuras del suelo

- Estructuras granular y migajonosa.
- Estructura de bloques y subangulares.
- Estructuras prismáticas y columnares.
- Estructura laminar.

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 de infiltración o tasa de infiltración instantánea (i), es de suma importancia en el diseño y operación de un sistema de riego. A la lámina de agua que se ha infiltrado a un tiempo dado se le conoce como infiltración acumulada (I).

Existe una diversidad de ecuaciones para representar el proceso de infiltración. La mayoría de estas ecuaciones son de naturaleza empírica en el sentido que sus coeficientes carecen de sentido físico. Estos parámetros son obtenidos, en la mayoría de las veces, usando la técnica de regresión para ajustar los datos observados al modelo propuesto.

La mayor fuente de información de la infiltración es el muestreo en el suelo donde está el pivote central. Esto se hace con anillos de infiltración, donde se colocan enterrados en el suelo y se llenan de agua a una lámina dada y la infiltración de esta se registra a través del tiempo, pero también existe un segundo método para medir la infiltración y es utilizando infiltrometros de aspersión o lluvia.

2.4.2 MUESTREO DE HUMEDAD.

La humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente, con base en la masa, o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad

gravimétrica es la forma más básica de expresar la humedad del suelo y se entiende por ella la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. Frecuentemente se expresa como un porcentaje.

% de la humedad gravimétrica:

$$(M(\text{suelo}) - M(\text{suelo secado al horno}) / M(\text{suelo secado al horno})) * 100$$

La masa del suelo secada al horno es la masa de suelo puesta en el horno hasta que pierda toda su agua (que no sea agua químicamente ligada) y se mantenga una masa constante. Generalmente esto se logra a 100 – 110°C por 24 horas, mientras que en el horno de microondas se dejan 15 minutos. En este estado se le denomina “suelo seco”. Esta masa secada al horno se usa como base para calcular el contenido de humedad por su naturaleza constante y reproducible bajo varias condiciones ambientales, (Hillel, 1980).

Contenido de humedad del suelo es muy variable, tanto en tiempo para un mismo punto, como en distancia o profundidad para un tiempo dado. Se dice que el contenido volumétrico de humedad del suelo es, en promedio, alrededor del 25 por ciento del volumen del suelo, pero su rango de variación es desde menos de 5 por ciento hasta más de 45 por ciento, (Hillel, 1980).

El contenido de agua del suelo se puede expresar en tres formas generales:

- a) Contenido volumétrico (θ), que es el volumen de agua contenido en una unidad de volumen de suelo.
- b) Contenido gravimétrico (ω), que es la masa de agua contenida en un suelo por cada gramo de masa de sólido.
- c) Lamina de agua (d), que es la cantidad de agua presente en un suelo expresado como centímetros (o unidades equivalentes) de agua en un estrato dado de suelo.

El conocimiento de la lamina de agua contenida en un estrato de suelo es muy útil para el calculo de las laminas de agua de riego que se deben aplicar a los suelos para llevarlos a capacidad de campo, (Kramer, 1974).

Desde el punto de vista agrícola, es muy importante conocer el contenido de humedad del suelo, ya que esta característica se relaciona directa o indirectamente con todas las funciones que el suelo desempeña en beneficio de las plantas. La capacidad de retención de humedad de los suelos esta íntimamente relacionada con la porosidad y con el diámetro de los poros; a su vez, dependen de la textura, del contenido de materia orgánica y otras características del suelo, (Thorne y Peterson, 1981).

2.4.3 MUESTREO EN SISTEMAS DE RIEGO TIPO PIVOTE CENTRAL.

Existe la tendencia a tomar muestras de áreas muy grandes en campos con sistemas de riego tipo pivote central, creando una excesiva variación en los resultados de un año a otro. Para obtener mejores resultados se sugiere lo siguiente:

1. Dividir el área circular en cuartos. Esto limita el área para tener un mejor muestreo, tomar una muestra de 15 a 20 puntos de cada tercio.
2. Si existen limitaciones de tiempo o de costo, tomar una muestra de las laderas y otras de las partes bajas del terreno.
3. Si el área circular es plana, se recomienda muestrear dos áreas no mayores de 16 hectáreas. Estas dos áreas pueden ser seleccionadas de entre las variaciones extremas del campo, por ejemplo: arenoso frente a franco arcilloso, o un área, de la cual se tenga conocimiento de que presente un rendimiento inferior a la otra. Entonces se recomienda promediar los resultados del laboratorio de esas dos áreas o aplíqueles tratamiento de forma individual.

Independientemente de los métodos que se usen, mantener las mismas áreas de muestreo cada año. Con este método las variaciones en los resultados de un año a otro serán minimizadas y tendrán un mejor historial del campo. (González, 2002).

2.4.4 FUENTE DE ENERGIA.

La energía eléctrica que es necesaria para mover las torres del pivote central y operar el panel de control. La energía eléctrica también es necesaria para la unidad de bombeo. El costo de las líneas de energía y su localización de la fuente de poder disponibles determina donde la bomba debe estar localizada ya sea cerca de un punto pivote o fuera del círculo de riego, colocando la bomba en el punto pivote elimina la necesidad de 1200 pies (400m) o más de línea principal si se está bombeando agua subterránea. Como siempre, los costos de la línea principal pueden compensar el costo de las líneas de electricidad de alto voltaje al punto pivote. (De Santa O, 2008).

2.4.5 FUENTE DE AGUA.

El suministro de agua para el pivote central puede ser de fuentes superficiales o subterráneas. Las fuentes superficiales pueden ser de un arroyo cercano, o de un río de riego, el tipo y naturaleza de la fuente de agua puede definir la localización de la unidad de bombeo. Depósito, o de un canal de riego operado por un distrito de riego o una compañía. (Thorne y Peterson, 1981).

Para el suministro de agua superficial, una rápida opción es utilizar depósitos formados por diques instalados en la esquina del área de riego o en el centro o a la orilla muy cercana del área del pivote, por otro lado el agua subterránea por lo general no requiere de depósitos de reserva debido a que se usa una bomba para obtener el agua subterránea de un pozo con ademe con filtros para eliminar cualquier arena fina. (De Santa O, 2008).

La calidad química del suministro del agua debe ser evaluada por un análisis de laboratorio. Estos análisis deben incluir pH, salinidad total (conductividad eléctrica), calcio, fierro, carbonatos y sulfatos.

2.4.6 CULTIVO DE ALFALFA.

Los actuales o potenciales cultivos deben ser identificados. Por lo general los cultivos de porte alto requieren de especificaciones de que tan alto deben de estar las torres, la altura del cultivo también impacta en la longitud que alcanza las gotas de los rociadores desde el lateral del pivote central donde las boquillas rociadoras se van a utilizar. Los tipos de cultivos impactan en la frecuencia de riego y el máximo intervalo entre riegos. Cultivos que tienen una profundidad de raíces somera o una baja tolerancia al estrés deben tener un intervalo de riego corto, estos cultivos por lo tanto deben tener altos requerimientos de agua y necesitan un sistema que suministre el agua perdida por la evapotranspiración durante la etapa de máximo consumo en un periodo corto de días. (Charly, F.2007).

El tipo cultivo y el método de manejo también impacta en la parte del terreno que va a estar cubierta por este, afecta la cantidad de residuos de cosechas que están presentes en la superficie por varias secciones de tiempo en el año. La cubierta vegetativa y los residuos de cosechas afectan los sellados y agrietamientos de la superficie del suelo debido al riego y la erosión, por ultimo el tipo de cultivo puede regir la aplicación de agroquímicos como también los programas de cultivo. . (González, 2002).

2.4.6.1 EPOCA DE SIEMBRA.

La alfalfa es un cultivo que prácticamente se pueden sembrar en cualquier época del año, sin embargo, en regiones como la laguna, el periodo optimo para su siembra es en los meses de noviembre y diciembre. A causa de

las condiciones de clima que prevalecen durante este periodo, las siembras de alfalfa que se establecen en estos meses no presentan problemas de alta infestaciones de maleza y el tiempo que necesitan la alfalfa para alcanzar su primer corte. (Hillel, 1980).

Por otro lado, la baja evaporación que prevalece durante este periodo, permite mantener humedad por más tiempo la superficie del suelo, lo que proporciona la emergencia y establecimiento las plántulas de alfalfa.

2.4.6.2 SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL TERRENO.

Para tener un desarrollo óptimo de alfalfa se requiere de suelos profundos, ya que su sistema radicular se puede desarrollar hasta una profundidad de seis o más metros, el suelo debe tener una alta capacidad de retención de humedad pero también un excelente drenaje y estar libre de capas compactas.

Para un adecuado establecimiento de alfalfa, se requiere una buena preparación del terreno o cama de siembra. Para la preparación del terreno usualmente se requiere de un barbecho, un rastreo y nivelación (tradicional o láser) o empareje del suelo. De ser necesario, previo al barbecho se puede dar un paso de subsuelo para romper capas compactas de suelo también llamadas pisos de arado que pudieran estar presentes. . (González, 2002).

2.4.6.3 METODO Y DENSIDAD DE SIEMBRA.

La semilla de la alfalfa es muy pequeña, por lo que la profundidad de siembra y su interacción con la humedad del suelo son puntos críticos en el establecimiento de la alfalfa. La semilla debe de quedar a una profundidad suficiente para que pueda disponer de una adecuada humedad para su

germinación, pero también lo suficientemente superficial que permita la apropiada emergencia para su germinación. En términos generales para suelos con textura arcillosa a migajón, se sugiere una profundidad de siembra de 0.6 a 1.3 cm y de 1.3 a 2.5 cm para suelos arenosos.

Para lograr una distribución homogénea de la semilla en la superficie y que quede depositada a la profundidad adecuada, se sugiere utilizar la sembradora Brillion, la cual compacta la capa de tierra arriba de la semilla para asegurar un buen contacto de la semilla con la humedad, también es posible utilizar la sembradora de granos pequeños o triguera, en cuyo caso la alfalfa queda sembrada en hileras espaciadas de 15 a 20 cm. (González, 2002).

En cuanto a la densidad de población en la Comarca Lagunera se sugiere utilizar de 30 a 35 kg/ha y en el caso de emplear semilla peletizada, aumentar la densidad de siembra de un 10 a 20 %.

2.4.6.4 VARIEDADES.

La selección de la variedad a sembrar es un factor importante. A parte del costo de la semilla también se debe de tomar en cuenta el potencial de rendimiento y los grados o niveles de resistencia o tolerancia a diferentes plagas y enfermedades que se presenta en la región. (Hillel, 1980).

De acuerdo a los estándares antes mencionados se citan las siguientes variedades en la región:

- Moapa-69.
- Astro.
- Maxidor.
- Pierce.

- Sundor.
- Comet.
- El camino -93.
- El camino -91.
- Alta verde 82.
- Alta verde 83.
- Alta verde 84.
- Alta verde 90.
- Cuf 101.
- Alta verde Reyna.

2.4.7 CLIMA.

La capacidad de un pivote central es gobernada en gran parte por los requerimientos de consumo de agua de los cultivos que van a establecerse. Por lo general la información del consumo máximo de agua para varios cultivos en la región puede ser obtenida de las guías locales o estatales. En algunas situaciones, los requerimientos de agua pueden necesitar ser calculados por computadora utilizan la información climáticas para determinar las ecuaciones evapotranspiración y los coeficientes del cultivo. (Manual de operación Linsay, 2009)

2.4.8 MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO.

Se realiza a través de los espacios porosos y ocurre como consecuencia de diferencias en el potencial de agua. (Albert, G. 2009).

- Por acción de gravedad.

- Por diferencia en potencial mátrico
- Por combinaciones de ambas.

El movimiento se puede dividir en:

Flujo saturado: por poros grandes (porosidad no capilar) bajo la acción de la gravedad y el suelo esta saturado.

Flujo no saturado (movimiento de capilaridad): poros más pequeños y por diferencia de potencial matricio.

El movimiento del agua en el suelo esta regido por la ley de Darcy. Expresa la relación entre la velocidad de flujo y el gradiente de potencial.

$$v \left(\frac{cm}{dia} \right) = -k * d\Phi / dz$$

V: velocidad de flujo.

K: constante de proporcionalidad (conductividad hidráulico).

d Φ /dz: gradiente de potencial.

2.4.9 EVAPOTRANSPIRACIÓN.

Existen dos conceptos que muchas veces se confunden: evapotranspiración y uso consuntivo. La evapotranspiración, es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cual se desarrolla. El llamado uso consuntivo esta formado por la evapotranspiración mas el agua que se utiliza las plantas en la formación de sus tejidos durante todo el ciclo vegetativo de los cultivos, la diferencia entre estos términos es de tipo

académico por que el error que se comete cae en el rango normal de las mediciones; actualmente se utiliza mas el concepto de evapotranspiración que uso consuntivo. (Stallings, 1990)

Dando como resultado esta interpretación:

$ET=U_c$ = uso consuntivo = agua que se evapora del suelo + agua transpirada por las plantas + agua utilizada para construcción de tejidos.

Penman (1956) sugirió que la definición original se modificaría para incluir la especificación que la superficie estuviera cubierta totalmente por vegetación verde, pues se ha encontrado que la evapotranspiración depende de la densidad de cubierta vegetal sobre el suelo y de la edad de la planta.

De acuerdo a la diferencia entra la evapotranspiración real y la potencion se ha definido la siguiente formula para su cálculo:

$$E_t = E_{tp} * K$$

Donde:

E_t : evapotranspiración real o uso consuntivo.

E_{tp} : evapotranspiración potencial, que influye efectos del clima.

K : coeficiente que representa el efecto de las relaciones agua- suelo – planta.

Grassi (1974), agrupa entres subcoeficientes los factores que interviene en K .

$$K = K_c * K_s * K_h$$

Donde:

K_c : coeficiente del efecto de la planta.

K_s : coeficiente del efecto del suelo.

K_h : coeficiente de la humedad del suelo.

El coeficiente K_c depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la especie de la planta y expresa la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su ciclo vegetativo, por lo que el tamaño de la planta, en cuanto a su sistema foliar y radicular gobiernan este coeficiente.

2.4.9.1 MÉTODOS DE CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN.

Los métodos para la estimación de la evapotranspiración pueden clasificarse en métodos directos e indirectos. Los primero proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando para ello aparatos e instrumentos para la determinación, los segundos en forma indirecta obtienen una estimación de agua a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la utilización de formulas empíricas. (Kramer, 1974).

2.4.9.2 MÉTODOS DIRECTOS.

Estos métodos son aplicables para zonas donde se tiene una agricultura establecida, proporcionan valores muy apegados a la realidad y sirven a la vez para ajustar los parámetros de los métodos empíricos, y son los siguientes:

- Método gravimétrico.
- Método del lisímetro.
- Método del evapotranspirometro de Thorthwaite.
- Atmómetros.

2.4.9.3 MÉTODOS INDIRECTOS.

Varios investigadores han tratado de relacionar los diferentes datos climatológicos con la evapotranspiración logrando formulas que permiten

estimarla con diferentes aproximaciones. Existen metodologías que se basan en principios bien fundamentados y que en términos generales, de acuerdo con los factores que se consideran pueden agruparse de la siguiente manera:

- Métodos basados en dispositivos evaporométricos.
- Métodos basados en datos climáticos.

Los segundos estiman la evapotranspiración utilizando datos históricos, meteorológicos y de cultivo o bien, predecir sus valores a futuro. Estos pueden agruparse de acuerdo con los factores que consideran en:

- Métodos de radiación.
- Métodos basados en la temperatura.
- Métodos de humedad relativa.

2.4.9.3.1 Método de radiación.

Estos métodos se sugieren para aquellas regiones en donde se dispone de datos de temperatura y de porcentajes de horas luz, nubosidad o radiación pero no se tienen datos de humedad relativa, estos son los métodos:

- Método de Penman.
- Métodos de Jensen – Haise.

2.4.9.3.2 Métodos basados en la temperatura.

Estos métodos se basan en la obtención de las horas luz, temperatura, aire, calor efectivo y humedad relativa. Estos son los métodos:

- Método de Hedke.
- Método de Lowry y Johson.
- Método de Thorthwaite.
- Método de Blaney y Criddle.

2.4.9.3.3 Método de humedad relativa.

Los cuales toman en cuenta la relación de la evaporación y la humedad relativa, temperatura y la duración del día en horas. Del cual destaca el siguiente método:

- Método de Hargreaves.

2.4.10 PRECIPITACIÓN EFECTIVA.

Oliver (2009), define la lluvia efectiva “como la porción de la precipitación que puede llegar a estar disponible en la zona ocupada por las raíces de las plantas”. Por tanto, el aprovechamiento de la lluvia depende de varios factores, tales como:

- Intensidad, duración y distribución de la lluvia.
- Velocidad de infiltración en el suelo.
- Cubierta vegetal.
- Topografía.

Por otra parte existen otros métodos de estimación para el cálculo de la precipitación efectiva fáciles de usar.

Entre los métodos para el cálculo de la precipitación efectiva se encuentran los siguientes.

- Blaney y Criddle.
- Ogrosky y Mockus.
- Palacios.
- Doorenbos y Pruitt.

2.4.11 REQUERIMIENTO DE RIEGO.

El requerimiento de riego de los cultivos se define como la suma de la evapotranspiración y el requerimiento de lavado, menos el valor de la precipitación efectiva, y se expresa así:

$$R_r = E_t + R_1 + P_e$$

Donde :

R_r: requerimientos de riego.

E_t: evapotranspiración.

R₁: lamina de lavado.

P_e: precipitación efectiva.

El requerimiento de riego en un cultivo, en una determinada parcela, puede diferir en función del tipo de suelo, de cómo riega el agricultor, del microclima y del método general de cultivo que este empleando dicho agricultor, en general dependen de muchos factores como lo son:

- Niveles de humedad a que se riegue el suelo.
- Cantidad de lluvia aprovechada por el cultivo durante su ciclo vegetativo.

2.4.11.1 MÉTODO DEL GIR.

Es la lámina total de agua aplicada que se requiere para completar la demanda de evapotranspiración y las pérdidas. El GIR es calculado para el periodo de mayor demanda de agua cuando la evapotranspiración es la mayor. (Kramer, 1974).

$$\text{GIR} = ((K_f * ET_c - P_e) / (E_a / 100)) * f$$

GIR: requerimiento total de riego.

ET_c: requerimientos de evapotranspiración diaria.

P_e: lamina de precipitación diaria durante el periodo máximo de consumo.

E_a: eficiencia de aplicación del sistema pivote.

K_f: factor de frecuencia de humedad.

F: numero de días representado por el GIR (intervalo de riego).

2.4.12 RASPAWIN.

Este software fue creado por la Universidad de Chapingo, calcula requerimientos de riego, tiempo de riego, la precipitación efectiva y la Evapotranspiración por medio de los siguientes métodos:

1. Método de Blaney y Criddle por Grassi Christiansen
2. Método de Blaney y Criddle por Phelan
3. Método de Jense-Haise
4. Método de Penman modifica por Doorembus y Pruitt

Y para el calcula de la precipitación efectiva cuenta con los siguientes métodos:

1. Ogrosky Mockus
2. Blaney y Criddle
3. Palacios
4. Introducción de datos Manualmente

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

La presente investigación se llevo a cabo en la pequeña propiedad “los Arenales”, rancho ubicado en el municipio de Tlahualilo Durango, en las coordenadas geográficas 103° 28' 36” de latitud Oeste al meridiano Greenwich y 25° 55' 24” de latitud Norte con una altura de 1102 msnm. (Boletín Meteorológico. 2010)

3.1.2 CLIMA.

El clima de la comarca lagunera se define como tipo desértico con escasa humedad atmosférica, precipitación promedio entre 200 y 300 mm anuales en la mayor parte de la región. (Boletín Meteorológico. 2010).

3.1.3 TEMPERATURA.

Una temperatura anual de 20°C en los meses de noviembre a marzo la temperatura media mensual varía de 13.6, 9.4°C en estos meses.

3.1.4 PRECIPITACIÓN.

La precipitación promedio es de 200 a 300 mm anuales en la mayor parte de la región lagunera.

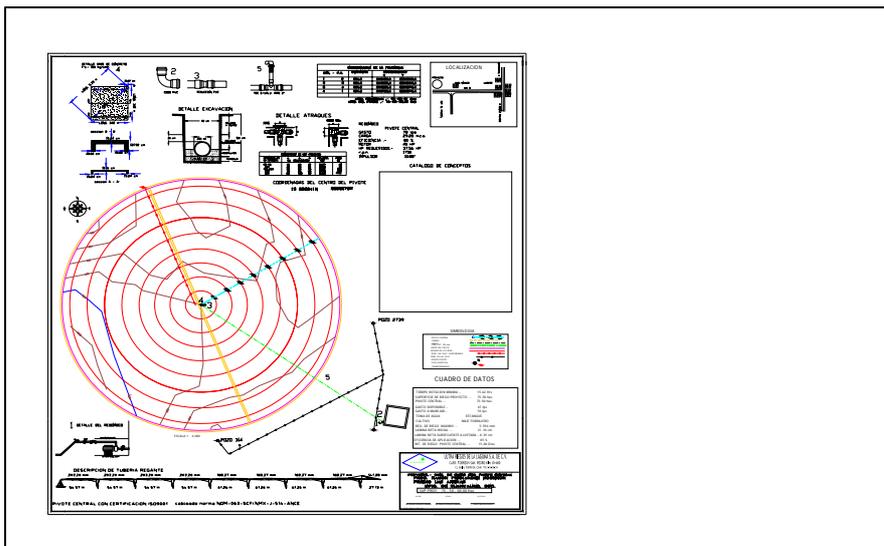
3.1.5 HUMEDAD RELATIVA.

Varia en el año en primavera tiene un valor de 30.1 %, en otoño de 49.3%, finalmente en invierno un 43.1%.

3.2 INFRAESTRUCTURA, SUPERFICIE Y PATRÓN DEL CULTIVO.

El área de diseño (pequeña propiedad) cuenta con una superficie agrícola total para riego por pivote central de 75.50 has de las cuales todas se explotan para el cultivo de alfalfa, es un pivote que cuenta de 8 torres y un voladizo, se cuenta con dos pozos con capacidades de 35 y 32 lps como resultado de 67 lps con un volumen autorizado de 480 000 m³ y un gasto disponible para las 75.5 has de 78 l/s, con un estanque revestido de concreto con capacidad de 12,000m³. En el área de trabajo de campo se cuenta con implementos agrícolas (sembradora - fertilizadora, rastra, arado, cultivadora, subsoleador, estanque el cual es factible de utilizarlo en el proyecto, equipos de rebombeo en el estanque factible de utilizarse, red de conducción de PVC de 10” en buen estado.

CROQUIS.



Variedad Royal Ten

Características generales:

Alfalfa de excelente calidad, Alto potencial de rendimiento, Buena resistencia a insectos, Buena recuperación después del corte y Muy buena tolerancia a suelos salinos.

Características agronómicas:

Latencia otoñal (dormancia): 9, Recuperación después del corte: Muy rápida, Madurez: Precoz, Promedio longevidad: Alta y Tipo de corona: Mediana

Resistencia a enfermedades:

- Pudrición de la raíz (*Phytophthora*): Resistente
- Marchitez bacteriana: Moderadamente resistente
- Marchitez por *Verticilium*: Moderadamente resistente
- Marchitez por *Fusarium*: Altamente resistente

Resistencia a insectos:

- Pulgón del chícharo: Altamente resistente
- Pulgón manchado: Resistente
- Pulgón azul de la alfalfa: Resistente

Resistencia a nemátodos:

- Nematodo del tallo: Moderadamente resistente
- R.K. nematodo: Altamente resistente

3.3.1 EPOCA DE SIEMBRA.

La alfalfa es un cultivo que prácticamente se puede sembrar en cualquier época del año, sin embargo, en regiones como la laguna el periodo óptimo para su siembra se basa en los meses de noviembre y diciembre.

3.3.2 VARIEDADES.

En la región de la comarca lagunera ha predominado por mucho tiempo la variedad Moapa-69 pero hoy en día existen mas variedad con características muy buenas con respecto al los parámetros tomados para una mejor producción la cual se recomiendan las siguientes el Astro, Maxidor, Pierce, sundor, comet, el camino -93A, el camino-91A, alta verde-82, alta verde-83, CUF-101, 5929, 5939 y SW-14.

3.3.3 DENSIDAD Y METODO DE SIEMBRA.

Para nuestro suelo que es de textura arcillosa a migajón, se sugiere una profundidad de siembra de 0.6 a 1.3 cm. Utilizando la sembradora de granos pequeños o trigueña, que siembra en hileras de 15 a 20 cm de espaciamiento. Teniendo una densidad de siembra 30 a 35 kg/ha

3.4. CARACTERÍSTICA DEL SUELO.

De acuerdo al análisis de suelo se encontró que es de textura migajón arenoso, llevándose a cabo un muestreo en varios puntos y tomándose como muestra representativa la numero s-24882. Una capacidad de campo de 30.05% y un punto de marchites permanente de 16.42%, capacidad de intercambio catiónico de 30.00 meq/100 gr de suelo, siendo medio, pudiéndose deber lo anterior al contenido de arcilla y materia orgánica. Un pH de 7.96 considerado como moderadamente alcalino. La infiltración básica es de 2.5 cm/hr. Una conductividad eléctrica de 4.63 mscm-1 siendo mediamente salino y Materia orgánica de 3.41 % siendo un suelo regular, recomendándose la aplicación de abonos orgánicos (estiércol) con el fin de mejorar la estructura y retención de agua no se debe aplicar demasiado estiércol para evitar el incremento de sales.

El contenido de nitrógeno fue de 73.02 ppm, siendo alto su contenido y esperando algo de respuesta a la aplicación de este elemento. El contenido de fósforo fue de 54.11 ppm siendo medio en caso de cultivar forrajes, como en este caso, es importante hacer aplicación de estos elementos ya que se reflejaría en incremento en la producción. El contenido de potasio es 373.4 ppm siendo alto, en el extracto el potasio encontrado fue de 1.87 meq/l. Recomendándose en un rango de 1.5 a 3 meq/l observándose que no es necesario aplicar este elemento. No recomendándose adición de calcio pero sí de magnesio ya que se encuentra en abundancia siendo el rango óptimo de Ca 3-6 y Mg 2-5 ambos en meq/l.

3.5. ANÁLISIS DEL AGUA.

Se tomó una muestra del agua del pozo agrícola a utilizar en el proyecto, encontrándose una conductividad eléctrica de 0.88 ms/cm, siendo un agua de salinidad baja. La relación de absorción de sodio ajustado fue de 5.51 meq/l, esperando no tener problemas de infiltración, es de esperar alta infiltración, lo anterior considerando el tipo de textura, no obstante se recomienda llevar a cabo aplicación de mejoradores para acidificación de agua, pudiéndose lograr esto mediante el equipo de fertilización.

El contenido de bicarbonato fue de 5.52 meq/l, no presentando grado de restricción. El contenido de sulfatos fue de 2.67 meq/l, siendo bajo el contenido, buscando la aplicación de productos que lleven las sales a una solubilidad alta. Se recomienda aplicar fertilizantes que contengan calcio y magnesio para incrementar su contenido en relación al sodio.

El pH del agua fue de 6.74 siendo ligeramente alcalino y en sólidos se encuentra en un rango de restricción moderada por estar dentro del rango de leve a moderado, para lo cual se considera un rango de 450-2000.

3.6 PREPARACIÓN DEL TERRENO.

En el lado de la instalación del pivote central el marcado de puntos para su colocación por medio de una nivel mecánico y el rastreo como preparación del terreno para la siembra.

3.7 TOMA DE DATOS DE CAMPO.

Se tomaron tres muestras para determinar las características físicas y químicas de suelo, y un muestreo de agua.

Muestras de 0-30, 30-60, 60-120 cm.

3.8 FRECUENCIA DE RIEGO.

El sistema de riego utilizado es por pivote y la lamina de riego será la que se necesite será según el calculo por el método de Blaney y Criddle (esta a través del diseño agronómico hecho en el programa RASPAWIN).

3.9 LABORES DE CULTIVO.

Se realizaron algunos rastreos para eliminar las malezas y permitir una mejor aireación en el suelo.

Las labores para la preparación del terreno la siembra del grano fueron un barbecho, dos pasos de rastra y posteriormente se trazo el terreno.

Barbecho se dio a una profundidad de 30 cm, un rastreo doble, nivelación con pendientes de 0.1 a 0.2 % con el método convencional o equipos con rayo láser.

IV. DISCUSIÓN Y RESULTADOS.

4.1 CALCULOS EN EL RASPAWIN.

Los cálculos realizados en el software RASPAWIN fueron elaborados con datos de fácil acceso; como son datos climatológicos mensuales de temperatura, viento, humedad. Además, de datos de localización del terreno como son, latitud, altitud y características del suelo así como las fisiológicas de desarrollo de la alfalfa para el calculo de las láminas de riego. Se utilizo el método de Blaney y Criddle modificado por Grassi – Christiansen por la facilidad de obtener los datos que requiere para el cálculo de la evapotranspiración y obtención de la precipitación efectiva por el método de Ogrosky – Mockus.

En el cuadro 4, Se presentan los datos de la estación climatológica de Torreón Coahuila, de la cual se utilizo la temperatura máxima y mínima, así como la tabla de precipitación que fueron vaciados en el software (RASPAWIN), para calcular la evapotranspiración por la formula de Blaney y Criddle y la formula de precipitación efectiva de Ogrosky – Mockus.

Cuadro 4. Temperaturas máximas y mínimas.

ESTACION CLIMATOLOGICA TORREON, COAH.

ALTITUD: 1123 m.s.n.m.

LATITUD : 25° 31' 11" N

LONGITUD : 103° 25' 57" W

CONCEPTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT.
TEMP. MIN. (°C)	-0.3	1.8	5.4	9.4	14.3	17.1	18.0	17.8	14.5	8.7	3.6	-0.2	9.18
TEMP. MED. (°C)	14.5	17.2	21.1	24.3	27.3	27.7	27.5	26.9	24	22.1	18.1	15.2	22.16
TEM. MAX. (°C)	38.5	34.0	39.5	41.0	42.2	41.6	39.8	39.5	37.5	37.5	34.8	32.5	38.2
PRECIP.(mm)	11.3	3.6	1.9	5.4	21.7	34.3	35.5	41.5	41.2	16.7	6.5	10.9	230.5
HUMED. REL. %	54	46	38	38	41	47	58	54	57	56	55	57	50.08
VIENTO (m/s) (CIAN)	1.50	3.57	4.21	4.94	5.04	3.95	5.04	2.70	2.30	2.50	1.40	3.25	3.37
EVAP. (mm)	112.98	148.74	217.21	255.01	296.58	282.91	254.49	237.11	197.04	163.84	127.62	113.69	2,407.22

4.1.1 Cálculo de la evapotranspiración.

El Cálculo agronómico se realizó utilizando el programa RASPAWIN, tomando en cuenta el método Blaney y Criddle modificado por Grassi-Christiansen para el cálculo de la evapotranspiración de cada mes, En el cuadro 5, se puede apreciar un listado de la temperatura media durante todo un año (Enero – Diciembre), porcentaje de horas luz mensual y evapotranspiración mensual por un factor de corrección. Los resultados obtenidos son aceptables para fines de prácticas culturales como la siembra y riego.

Cuadro 5. Evapotranspiración por el método de Blaney y Criddle.

MES	Temp	TTrans	P(%)	f(cm)	Km	Et	Fact.Cor.	Et"
1.00	14.59	1.49	6.87	10.21	0.31	3.16	1.02	3.24
1.00	17.34	1.61	6.46	10.41	0.49	5.10	1.02	5.22
1.00	21.20	1.79	7.57	13.54	0.65	8.80	1.02	9.02
1.00	24.40	1.94	7.84	15.17	0.78	11.83	1.02	12.12
1.00	27.31	2.07	8.57	17.74	0.88	15.61	1.02	15.99
1.00	27.69	2.09	8.62	17.99	0.95	17.09	1.02	17.50
1.00	27.48	2.08	8.95	18.60	0.99	18.41	1.02	18.86
1.00	26.81	2.05	8.69	17.78	1.00	17.78	1.02	18.21
1.00	23.94	1.91	7.96	15.24	0.98	14.93	1.02	15.29
1.00	21.97	1.82	7.71	14.07	0.93	13.09	1.02	13.40
1.00	18.00	1.64	6.99	11.48	0.85	9.76	1.02	10.00
1.00	15.20	1.51	6.91	10.46	0.74	7.74	1.02	7.93
				0.00		143.30		146.78

Kg = 0.85

Donde:
Temp = Temperatura media mensual
TTrans = $(T+17.8) / 21.8$
P = Porcentaje de horas luz del mes con respecto al total anual
f = factor de luminosidad y temperatura
Km = Coeficiente periódicos de evapotranspiración
fact.Cor = factor de corrección
Etp" = Evapotranspiración corregida

4.1.2 Calculo de calendario de riego por el método analítico.

Los cálculos del calendario de riego por el método analítico considerando la lámina almacenada, requerimiento de riego diario y consumo de agua en cada uno de los riegos que se efectúan se presentan en Cuadros 6 y 7, de acuerdo con el calendario de riego.

Cuadro 6. Calendario de riego por el Método Analítico.

Cálculo del Calendario de Riego por el Método Analítico

Mes	Lámina Almacen. (cm)	Req. Diario de Riego. (cm)	Consumido periodo (cm)	Consumo acum/riego (cm)	Consumo perm. (cm)	Consumo acum. total (cm)	Riego
Dic 31	19.33	0.221	0.00	21.10	6.33	0.00	1
Ene 1	21.10	0.078	0.08	0.08	6.33	0.08	-
Feb 1	18.69	0.174	2.58	2.58	6.33	2.58	-
Feb 23	14.87	0.174	6.41	6.41	6.33	6.41	2
Mar 1	20.23	0.284	1.15	1.15	6.33	7.56	-
Mar 20	14.83	0.284	6.56	6.56	6.33	12.96	3
Abr 1	17.97	0.384	3.51	3.51	6.33	16.47	-
Abr 9	14.90	0.384	6.59	6.59	6.33	19.55	4
Abr 26	14.95	0.384	6.53	6.53	6.33	26.08	5
May 1	19.56	0.445	1.98	1.98	6.33	28.06	-
May 11	15.11	0.445	6.43	6.43	6.33	32.51	6
May 26	14.87	0.445	6.68	6.68	6.33	39.19	7
Jun 1	18.87	0.479	2.71	2.71	6.33	41.90	-
Jun 9	15.04	0.479	6.54	6.54	6.33	45.73	8
Jun 23	14.87	0.479	6.71	6.71	6.33	52.45	9
Jul 1	17.74	0.503	3.86	3.86	6.33	56.31	-
Jul 6	15.23	0.503	6.37	6.37	6.33	58.82	10
Jul 19	15.07	0.503	6.53	6.53	6.33	65.35	11
Ago 1	15.07	0.471	6.50	6.50	6.33	71.85	12
Ago 15	14.98	0.471	6.59	6.59	6.33	78.44	13
Ago 29	14.98	0.471	6.59	6.59	6.33	85.04	14
Sep 1	20.16	0.398	1.34	1.34	6.33	86.37	-
Sep 14	14.98	0.398	6.51	6.51	6.33	91.55	15
Sep 30	15.13	0.398	6.37	6.37	6.33	97.92	16
Oct 1	21.10	0.380	0.38	0.38	6.33	98.30	-
Oct 17	15.03	0.380	6.45	6.45	6.33	104.37	17
Nov 1	15.79	0.311	5.62	5.62	6.33	109.99	-
Nov 4	14.85	0.311	6.56	6.56	6.33	110.93	18
Nov 25	14.88	0.311	6.53	6.53	6.33	117.46	19
Dic 1	19.54	0.221	1.78	1.78	6.33	119.24	-
Dic 22	14.90	0.221	6.42	6.42	6.33	123.88	20

4.1.3 Determinación del calendario de acuerdo al ciclo vegetativo del cultivo (alfalfa).

El calendario de riego considerando el desarrollo del cultivo se presenta en el Cuadro 7. El cultivo de alfalfa se mantiene en producción todo el año, por lo que los resultados de los meses de marzo a septiembre son en los que se presentan las mas altas temperaturas y por consiguiente por lo tanto la lamina de almacenamiento es menor debido a la alta evapotranspiración que se presenta en estos meses.

Cuadro 7. Calendario de riego para el ciclo vegetativo de alfalfa.

Mes	Ciclo Veg. (días)	Consumo acum./riego (cm)	Consumo permisible (cm)	Consumo acum. total (cm)	Riego No.	Intervalo de riego (días)	Lámina reposición (cm)	Almace. Final (cm)
Dic	0	21.10	6.33	0.00	1	-	21.10	21.10
Ene	1	0.08	6.33	0.08	-	1	-	21.02
Feb	32	2.58	6.33	2.58	-	32	-	18.52
Feb	54	6.41	6.33	6.41	2	54	6.41	21.10
Mar	60	1.15	6.33	7.56	-	6	-	19.95
Mar	79	6.56	6.33	12.96	3	25	6.56	21.10
Abr	91	3.51	6.33	16.47	-	12	-	17.59
Abr	99	6.59	6.33	19.55	4	20	6.59	21.10
Abr	116	6.53	6.33	26.08	5	17	6.53	21.10
May	121	1.38	6.33	28.06	-	5	-	19.12
May	131	6.43	6.33	32.51	6	19	6.43	21.10
May	146	6.68	6.33	39.19	7	15	6.68	21.10
Jun	152	2.71	6.33	41.90	-	6	-	18.39
Jun	160	6.54	6.33	45.73	8	14	6.54	21.10
Jun	174	6.71	6.33	52.45	9	14	6.71	21.10
Jul	182	3.86	6.33	56.31	-	8	-	17.24
Jul	187	6.37	6.33	58.82	10	13	6.37	21.10
Jul	200	6.53	6.33	65.35	11	13	6.53	21.10
Ago	213	6.50	6.33	71.85	12	13	6.50	21.10
Ago	227	6.59	6.33	78.44	13	14	6.59	21.10
Ago	241	6.59	6.33	85.04	14	14	6.59	21.10
Sep	244	1.34	6.33	86.37	-	3	-	19.76
Sep	257	6.51	6.33	91.55	15	16	6.51	21.10
Sep	273	6.37	6.33	97.92	16	16	6.37	21.10
Oct	274	0.38	6.33	98.30	-	1	-	20.72
Oct	290	6.45	6.33	104.37	17	17	6.45	21.10
Nov	303	5.62	6.33	109.99	-	15	-	15.47
Nov	308	6.36	6.33	110.93	18	18	6.56	21.10
Nov	329	6.53	6.33	117.46	19	21	6.53	21.10
Dic	335	1.78	6.33	119.24	-	6	-	19.32
Dic	356	6.42	6.33	123.86	20	27	6.42	21.10

El calendario de riego programado, con las fechas para regar con láminas de riego brutas con una eficiencia del 85 %, se presenta en Cuadro 8. Los resultados muestran las fechas programadas para cada riego planificado de acuerdo a una lamina inicial o de siembra de 21.10 cm., y las laminas restantes las aplicadas em cada riego de auxilio. Además, se muestran las laminas brutas considerando una eficiencia de aplicación de 85%.

Cuadro 8. Calendario de riego.

- CALENDARIO DE RIEGO -

Riego No.	Fecha	Intervalo (Días)	Lámina (cm)	Lámina bruta (cm)
1	1/Ene	0	21.10	24.52
2	23/Feb	54	6.41	7.54
3	20/Mar	25	6.56	7.71
4	9/Abr	20	6.59	7.75
5	26/Abr	17	6.53	7.68
6	12/May	15	6.43	7.57
7	26/May	15	6.68	7.86
8	9/Jun	14	6.54	7.70
9	23/Jun	14	6.71	7.90
10	8/Jul	13	6.37	7.50
11	19/Jul	13	6.53	7.69
12	1/Ago	13	6.50	7.65
13	13/Ago	14	6.59	7.75
14	29/Ago	14	6.59	7.75
15	14/Sep	16	6.51	7.66
16	30/Sep	16	6.37	7.49
17	17/Oct	17	6.45	7.59
18	4/Nov	18	6.56	7.72
19	25/Nov	21	6.53	7.69
20	22/Dic	27	6.42	7.55

4.1.4 Cálculo de lamina de riego.

A continuación se presenta la lamina de riego sin considerar la eficiencia de 85%, Cuadro 9. Se aprecia que las laminas obtenidas tanto para siembra como de auxilio son laminas brutas, de acuerdo al muestreo realizado en campo.

Cuadro 9. Cálculo de lamina de Riego.

- INFORMACION SOBRE EL SUELO -

Estrato	Prof. (m)	CC (%)	PMP (%)	Da	Lamina (cm)
1	1.20	30.05	16.42	1.29	21.099

Lamina total = 21.099 cm.
Lamina de Siembra = 21.099 cm.
Lamina Auxiliar = 6.330 cm.

(Se aplicará el riego al consumirse el 30.00 % de la H.A.)

4.1.5 Cálculo de requerimiento de riego sin la eficiencia.

En el Cuadro 10, se presenta el requerimiento de riego y precipitación efectiva mensual así como la lámina de lavado sin considerar la eficiencia de aplicación. Los resultados que se muestran en dicho cuadro muestran un resumen de la evapotranspiración corregida expresada en cm obtenida por el Método de Blaney y Criddle, la precipitación efectiva calculada por el Método de Ogrosky – Mockus y lamina de lavado cuyo valor es despreciable y el requerimiento de riego mensual y diario. Los resultados obtenidos en lámina de riego y requerimiento de riego en el software RASPAWIN no cuenta con la consideración de la eficiencia de aplicación del 85%.

Cuadro 10. Cálculo de requerimientos de riego sin la eficiencia y la precipitación efectiva por el método de Ogrosky y Mockus.

- REQUERIMIENTOS DE RIEGO DEL CULTIVO -

Mes	Et'	Precipitación		Lámina de Lavado	Requerimientos de Riego		
		Obs.	Efnd.		Mensual	Acum.	Diario
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ene	3.241	1.11	0.84	0.00	2.404	2.404	0.078
Feb	5.224	0.35	0.35	0.00	4.871	7.275	0.174
Mar	9.016	0.20	0.20	0.00	8.814	16.089	0.284
Abr	12.115	0.59	0.59	0.00	11.526	27.615	0.384
May	15.991	2.21	2.19	0.00	13.803	41.418	0.445
Jun	17.503	3.43	3.12	0.00	14.384	55.803	0.479
Jul	18.856	3.57	3.28	0.00	15.580	71.383	0.503
Ago	18.208	4.15	3.61	0.00	14.593	85.977	0.471
Sep	15.294	4.04	3.35	0.00	11.941	97.917	0.399
Oct	13.404	1.64	1.64	0.00	12.766	109.683	0.380
Nov	9.987	0.66	0.66	0.00	9.334	119.017	0.311
Dic	7.927	1.09	1.08	0.00	6.848	125.865	0.221

* Se utilizó Ogrosky y Mockus para el cálculo de la precipitación efectiva.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el RASPAWIN considerando la eficiencia de aplicación de 85%. Además, se observa una variación en los cálculos de los requerimientos de riego por el método de GIR y de RASPAWIN la cual se considera mínima debido a las variables utilizadas en sus cálculos dando resultados muy similares.

4.1.6 Cálculos de los requerimientos de riego con en Método GIR.

En el cuadro 11, se aprecian los cálculos de los requerimiento de riego mensuales por el método de GIR usando la eficiencia de 85%, tomado en cuenta la evapotranspiración mensual, los cuales comparados con los obtenidos en el software RASPAWIIN no se observa mucha variación debido a a la información utilizada en la formula del GIR

$$GIR = ((K_f * ET_c - P_e) / (E_a / 100)) * f$$

Cuadro 11. Requerimiento de riego por el método GIR.

Mes	mm	Mes/cm	unidades
Enero	1.22960152 0.12296015	3.68880455	Cm
Febrero	2.19327731 0.21932773	6.14117647	Cm
Marzo	3.42314991 0.34231499	10.6117647	cm
Abril	4.59962049 0.45996205	14.2588235	cm
Mayo	6.0683112 0.60683112	18.8117647	cm
Junio	6.64136622 0.66413662	20.5882353	cm
Julio	7.15749526 0.71574953	22.1882353	cm
Agosto	6.91081594 0.69108159	21.4235294	cm
Septiembre	5.80265655	17.9882353	cm

	0.58026565		
Octubre	5.08538899	15.7647059	cm
	0.5085389		
Noviembre	3.79506641	11.7647059	cm
	0.37950664		
Diciembre	3.00948767	9.32941176	cm
	0.30094877		

Estos resultados contrastan con los que se presentan en el Cuadro 11. Observándose una variación debido al tipo de variables utilizadas en las formulas, para su calculo en el requerimiento diario y mensual. En el Cuadro 12 se pueden observar los requerimientos de riego mensual obtenidos en el software RASPAWIN pero ajustados por la eficiencia de aplicación la cual es semejante a los obtenidos por el Método de GIR.

4.1.7 Cálculos de los requerimientos de riego con eficiencia.

Cuadro 12. Requerimientos mensuales de riego/RASPAWIN considerando una eficiencia del 85%.

Requerimiento	
mensual	acumulado
2.82823529	2.82823529
5.73058824	8.55882353
10.3694118	18.9282353

13.56	32.4882353
16.2388235	48.7270588
16.9223529	65.6494118
18.3294118	83.9788235
17.1682353	101.147059
14.0482353	115.195294
13.8423529	129.037647
10.9811765	140.018824
8.05647059	148.075294

4.1.8 Cálculos de Agua requerida.

Los resultados que se presentan en el Cuadro 13, son para detallar el manejo de agua mensual en el se aprecia que los gastos mensuales en los meses de enero febrero, noviembre y diciembre son menores al resto de los meses debido a la evaporación que se presenta.

Los Gastos (l/s) mensuales que se aprecian en el Cuadro 13, fueron calculados considerando la evapotranspiración, y en base a una disponibilidad de agua de 78 l/s para el sistema y una superficie por regar de 75.5 ha para cultivo del alfalfa.

Cuadro 13. Gasto mensual.

mes	Evt (mm)	Q/mes
enero	32.4	9.12984968
febrero	52.2	16.2851882
marzo	90.2	25.4170506
abril	121.2	34.1524006

mayo	159.9	45.0574989
junio	175	49.3124597
julio	188.6	53.1447423
agosto	182.1	51.3131366
septiembre	152.9	43.0850005
octubre	134	37.7592548
noviembre	100	28.1785484
diciembre	79.3	22.3455889
total		415.180719

4.1.9 Calculo del gasto (l/s) del sistema para regar 75.5 has considerando el mes mas critico (julio).

El gasto del sistema para regar las 75.5 has., de superficie del pivote central se presenta en Cuadro 14., con el gasto obtenido es posible regar toda la superficie y tener excedente de agua.

Cuadro 14. Gasto total del sistema.

variables	valores	unidades
área	75.5	ha
mes critico		
(julio)	188.6	mm
Q requerido	53.1447423	l/s

4.1.10 Calculo de lámina neta con una eficiencia del 85%.

Las láminas de riego tanto de siembra como de auxilio ajustadas para un 85% de eficiencia de aplicación que se toma en cuenta para implementar el riego en el pivote centra se presentan en Cuadro 15.

Cuadro 15. Láminas netas de riego.

Laminas netas		Ea 85%/brutas	
Ir de siembra	21.099	24.8223529	cm
Ir de auxilio	6.33	7.44705882	cm

4.1.11 Calculo del tiempo de riego.

Se que observa el tiempo de riego que se aplicara para el intervalo de riego de 15 días, y su calculo se tomaron los datos de volumen aplicado sobre el gasto total del sistema en metros cúbicos dando como resultado un tiempo de riego de 12.2 días con las laminas de riego de auxilio determinadas considerando un abatimiento de 30%

Cuadro 16. Calculo de tiempo de riego.

calculo de tiempo de riego		
variables		unidades
Ir (abatimiento de 30%)	0.07446706	mm
superficie	755000	m2
volumen aplicado	56222.6294	m3
gasto de sistema	0.05314474	m3
tiempo de riego	293.865327	hr
tiempo de riego (días)	12.2443886	días

V. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Diseño agronómico del sistema de riego por pivote central se concluye que:

1. En la determinación del Diseño agronómico de un sistema de riego de tipo pivote central es necesario que la cantidad de agua (gasto) destinada para dicho sistema sea la necesaria para regar un determinada superficie.
2. En la determinación de la lámina de requerimiento es necesario considerar la evapotranspiración máxima del cultivo.
3. La variación en la determinación del requerimiento de riego por el método del GIR y del programa RASPAWIN es considerada inapreciable.

VI. BIBLIOGRAFÍA.

Ahorre agua, ahorre energía y mejore el riego. www.nelsonirrigation.com (consultada en día 1 de octubre de 2010).

Albert, G. (2009). (En línea) <http://articulos.infojardin.com/articulos/Textura.htm> (Consultada el 5 del noviembre de 2010).

Boletín meteorológico. SAGARPA, 2010. Región Laguna – Coahuila. Publicado el 10 de Enero del 2010.

Boletín7.<http://INIA.cl/cobertura/quilamapu/bioleche/BOLETIN7.com>, 2002.

Charly, F. (2007). (En línea) <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%204.pdf> (Consultada el 8 del noviembre del 2010).

De Santa O, M., Juan V, J, A. 1993. Agronomía del Riego. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. Primera Edición. P. 549.

Esquivel. R. et al. Estudio de la uniformidad de riego, en una maquina de pivote central. Revista Ciencia Técnica Agropecuaria. Vol. 19. No 1, 2010.

Figueroa. V.P. Especial pivote. Revista Chile Riego. No 33, 2008.

Gonzales B.P. et al. Algunas consideraciones para el diseño, explotación y adquisición de maquinas de pivote central. Revista Ciencia Técnica Agropecuaria. Vol. 11. Numero 1. 2002.

Hillel, D. (1980). Applications of soil physics. Academic Press, Nueva York.

Hillel, D. (1980). Fundamentals of soil physics. Academic Press, Nueva York.

Holzalphel. E, Pivote central, INTA-CARILLANGA, febrero 2001.

Instalación, Uso y manejo del sistema de riego tipo lateral Móvil. Manual de la compañía, Zimmatic, 2009.

Kramer, P. J. (1974). Relaciones hídricas de los suelos y plantas, una síntesis moderna. Editorial Edutex. P. 140.

Lackas G., Kranz B., Martin D.L. Minimum Center Pivot Desing Capacities in Nebraska. Published by Cooperative Extension, institute of Agriculture and Natural Resource, University of Nebraska. Lincoln, 2007.

Martin D.L., Yonts C Dean., Kranz W., L. 2008. Published by Cooperative Extension, institute of Agriculture and Natural Resource, University of Nebraska. Lincoln.

Montemayor José A. El sistema de riego pivote central en la comarca lagunera, agropecuaria. El siglo de Torreón. Febrero 2008.

Montico M. Riego presurizado. La nueva provincia. Noviembre 2010.

Morrillo R. et al. Técnicas de riego en la remolacha azucarera. Valladolid. Marzo 2001.

OliverF.2009. (En línea)<http://actuacioneshidraulicas.blogspot.com/2008/09/historia-del-riego-por-pivote-el-primer.html>

(Consultada el 19 de agosto del 2010).

Operación de pivote centro. Manual de la compañía, Zimmatic, 2009.

Operación de panel de control GROWSMART. Manual de la compañía, Zimmatic, 2008.

Pivote de centro Manual de operación LINSAY (www.zimmatic.com).

Richard G, y Jack Keller. 2009. Manual de Diseño de Pivote Central. Pág. 2.

Rodolf D. 2008. (En línea) www.traxco.es/pages/posts/informacion-general-del-pivot-central177.php (pivote)
(Consultada el 9 de agosto del 2010).

Rodríguez. A. et al. Los sistemas de riego por aspersión en el cultivo de alfalfa en el norte de México (Comarca Lagunera).

Rolando R. 2007. Tesis "Nivelación en sistemas de Riego por aspersión tipo pivote central. Torreón Coahuila.

Roque. R. Emisores LEPA. Filosofía de manejo del agua en los pivotes centrales. Revista Ciencia Técnica Agropecuaria. Vol. 14, No 3. 2005.

Stanley. S. Manejo de pivotes centrales. Tierra adentro No 46, 2002.

Tartuelo M-B, J. M. 2005. El riego por aspersión y su tecnología. Editorial Mundi Prensa. Segunda edición, Barcelona, España. P. 239.

Thorne D, W y Peterson H, B. 1981. Técnica del riego. Fertilidad y Explotación de los suelos. Editorial C.E.C.S.A. Primera Edición. P. 15.

Valley Valmont Company, 2005. Manual para el uso y manejo de un sistema de riego tipo lateral Móvil. Valmont, Nebraska.

Zimmerman J. F. (1991). El riego. Editorial C.E.C.S.A. 2ª Edición. México, D.F.
Pp 183-241.