

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



“Evaluación de la uniformidad de distribución del agua, en diferentes sistemas de riego sobre el cultivo de papa”.

POR:

JORGE MARTIN MUÑIZ ROCHA

TESIS

**Presentada como requisito parcial
para obtener el título de:**

Ingeniero agrónomo en irrigación.

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Marzo del 2000.**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**Evaluación de la uniformidad de distribución del agua en diferentes sistemas de riego
sobre el cultivo de papa.**

Realizado por:

JORGE MARTIN MUÑIZ ROCHA.

**Que se somete a la consideración del H. jurado examinador, como requisito parcial
para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Irrigación.**

APROBADA.

M.C. Gregorio Briones Sanchez.
Asesor interno U.A.A.A.N.
Presidente.

M.C. Juan M. Covarrubias R.
Asesor externo INIFAP.
Sinodal.

M.C. Lindolfo Rojas Peña.
Coasesor interno.
Sinodal.

Ing. Fernando Pérez Sato.
Coasesor interno.
Suplente.

Ing. Jesús R. Valenzuela García.
Coordinador de la División de Ingeniería.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Marzo del 2000.

DEDICATORIA.

A Dios:

Por darme el privilegio de ser uno mas de sus creaciones y permitirme realizar este sueño tan preciado.

A mis padres:

Alicia Rocha Ivón y Agustín Muñiz Galicia que Dios los tenga en su santa gloria y que en paz descansen, porque sé que les hubiera gustado compartir en vida conmigo este gran logro, por enseñarme a ser fuerte ante las situaciones mas adversas, por educarme y guiarme por el buen camino de la vida, pero sobre todo por enseñarme a ser humilde y honesto, con sincero amor, respeto y admiración por darme la vida y haberme traído a este mundo.

A mis segundos padres:

Mamy Lola y Arturo, por abrigarme con sus brazos y cariño cuando faltaron mis padres, por enseñarme a no temer cuando te encuentras lejos de tus seres queridos, por inculcarme que el dinero no lo es todo en la vida si tienes amor en el alma y alguien a quien regalarlo, pero sobre todo por ser mis padres y apoyarme y estando conmigo en los momentos de alegría, y aun mas en los de tristeza.

A mis hermanos:

Blanca Estela, María Felipa, Severiana, Irma, Olga Dolores, Rosa María, Gerardo, Agustín, Julio, Salvador, Fausto Javier, José Cruz y José Hugo; por su valioso apoyo incondicional durante mi formación profesional y por ser un ejemplo a seguir, ya que no es fácil seguir el camino de la vida sin tener un guía por delante, así también por sus palabras de aliento, que me brindaron cuando en ocasiones me sentía confundido y sobre todo por ser mis amigos incondicionales.

A mis hermanos políticos:

Teresa, María de Jesús , Cristina, Martina, Mara, Angélica, Juana, Raymundo, Juan de Dios, Lindsey, Arturo, Armando.

A mis Tíos y primos:

Por sus valiosas palabras de aliento que siempre me brindaron.

A mis sobrinos:

Por ser los que le dieran alegría a mi vida, con las sonrisas, travesuras y detalles que me han brindado en cada momento que pasamos juntos.

A todos mis amigos:

Por estar conmigo en las buenas y las malas.

A mi querido Villa de Reyes:

Por ser el lugar que me vio nacer y crecer al lado de todos mi seres queridos y que siempre llevare en mi corazón a donde quiera que vaya.

AGRADECIMIENTOS.

A mi “Alma Terra Mater”:

Por ser mi casa de estudios, y permitir que realizara aquí el sueño mas anhelado de todo estudiante, ser un “profesionista”, por brindarme la oportunidad de adquirir los conocimientos para mi formación como “Ingeniero Agrónomo Especialista en Irrigación”, pero sobre todo por brindarme los momentos mas importantes en mi carrera de estudiante.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología:

Por permitirme desarrollar esta investigación dentro de uno de sus proyectos aprobados en el SIREYES.

Al campo experimental “Saltillo” del INIFAP:

Por permitirme efectuar mis estudios dentro de sus proyectos.

A los M.C. Gregorio Briones Sánchez, M.C. Juan M. Covarrubias Ramírez, M.C. Lindolfo Rojas Peña, Ing. Fernando Pérez Sato:

Por su incondicional amistad y sus valiosas asesorías, las cuales me ayudaron a realizar este trabajo.

A la familia Marques Tovar :

Especialmente a Mary, Lety y Alma, por brindarme su gran amistad y darme ánimos para seguir adelante.

A mis mejores amigas de la Universidad:

Hilda Vite, Luz y Rosenda, por estar conmigo en las buenas y las malas y apoyarme en todo, pero sobre todo por los momentos de alegría que me brindaron cuando estábamos juntos.

A mis compañeros de la Rondalla Universitaria:

Por los momentos que pasamos juntos dentro y fuera del escenario, y por su valiosa amistad que nunca olvidare.

A mis compañeros de la generación 88:

Jaíme, Humberto, José de Jesús, Rodolfo, Roberto, Mario, Gilberto, Miguel A. y Enoc, por el apoyo brindado durante nuestra formación, pero sobre todo por ser mis hermanos de estudio.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma me apoyaron y que indeseablemente he omitido.

DE TODO CORAZÓN, INFINITAS GRACIAS.

ÍNDICE DE CONTENIDO.

Capitulo.	Pagina.
I.- INTRODUCCIÓN.	
1.1.- Antecedentes.....	3
1.2.- Objetivos.....	4
1.3.- Hipótesis.....	4
II.- REVISION DE LITERATURA.	
2.1.- Los sistemas de riego por aspersión.....	5
2.1.1.- Los sistemas de riego de pivote central.....	6
2.1.1.1.- Desarrollo histórico del pivote central.....	7
2.1.1.2.- Los sistemas de pivote central de baja presión.....	10
2.1.1.3.- Distribución de presiones.....	12
2.1.1.4.- Eficiencia de aplicación.....	13
2.1.2.- Sistemas de riego lateral rodante o Side-roll.....	13
2.1.2.1.- Ventajas y desventajas del Side-roll.....	14
2.1.3.- Sistemas de riego lateral semiportátil.....	15
2.1.3.1.- Componentes de un sistemas lateral semiportátil.....	15
2.1.3.2.- Factores que afectan la distribución del agua.....	18
2.2.- Los sistemas de riego por goteo.....	19
2.2.1.- Generalidades del riego por goteo.....	20
2.2.2.- Desarrollo histórico del riego por goteo.....	22
2.2.3.- Ventajas del riego por goteo.....	23
2.2.4.- Inconvenientes del riego por goteo.....	25
2.2.5.- Eficiencia del riego por goteo.....	26
2.2.6.- Componentes de un sistema de riego por goteo.....	27
2.3.- Las tasas de precipitación de aspersión.....	28
2.4.- Efecto de la variación topográfica sobre la uniformidad de riego.....	29
2.5.- Uniformidad de riego.....	30
2.6.- El cultivo de la papa.....	32
2.6.1.- Importancia de la papa.....	33
2.6.2.- Requerimientos de agua para el cultivo de la papa.....	35
2.6.3.- Consumo de agua en el cultivo de papa para la región de Sierra de Artega, Coah.....	37
2.6.3.- Clasificación taxonómica de la papa.....	37
2.6.4.- Nutrición y manejo del agua en papa en el Valle del Fuerte, Sinaloa.....	40

III.- MATERIALES Y METODOS.

3.1.- Evaluación de los sistemas.....	43
3.2.- Determinación de las presiones.....	44
3.3.- Aforo de las boquillas de cada sistema de aspersión.....	44
3.4.- Determinación de la velocidad de avance para el pivote central.....	45
3.5.- Determinación de la circunferencia recorrida para el pivote central.....	46
3.6.- Prueba de pluviometría.....	47
3.7.- Formato para el registro de datos en la evaluación de sistemas de riego por aspersión lateral semiportátil y Side-roll.....	48
3.8.- Formato para el registro de datos en la evaluación de sistemas de riego de pivote central.....	50
3.9.- Metodología para la evaluación de los sistemas de riego por goteo.....	52
3.10.- Formato para el registro de datos en la evaluación de sistemas de riego por goteo.....	53
3.11.- Determinación de la uniformidad de distribución del agua de riego.....	55
3.12.- Material utilizado para la evaluación.....	55

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1.- La distribución de las tasas de precipitación en el pivote central de la marca Reinke (Rancho El Cristal).....	59
4.2.- Velocidad de infiltración	55
4.3.- La distribución de las tasas de precipitación en el pivote central de la marca Valley (CESAL).....	60
4.4.- Distribución de las tasas de precipitación en el sistema Side-roll (San Francisco, Arteaga, Coah.).....	60
4.5.- La distribución de las tasas de precipitación en el sistema lateral semiportátil (El Tunal, Arteaga, Coah.).....	62
4.6.- Distribución de los flujos de emisión en el sistema de goteo (El Ranchito Arteaga, Coah.).....	62

ÍNDICE DE CUADROS.

	Página.
2.1.- Rendimiento comercial (ton/ha) de variedades de papa bajo tres programas de riego en función a la humedad del suelo.....	39
2.2.- Consumo de agua como lámina de riego (mm) de variedades de papa bajo tres programas en función a la humedad del suelo.....	39
2.3.- Comparación de algunos estados en superficie y rendimiento en el cultivo de la papa.....	42
3.1.- Localización geográfica de los sistemas.....	43
3.2.- Clasificación de los rangos de uniformidades de distribución y su grado de aceptabilidad.....	57
3.3.- Eficiencias máximas de distribución del agua en diferentes sistemas de riego.....	57
4.1.- Resultados de la uniformidad de distribución mediante el método de Wilcox-Swales.....	64
4.2.- Resultados de la uniformidad de distribución mediante el método de Karmeli-Keller.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura.	Página
4.1. Distribución de las tasas de precipitación a lo largo de la Línea del pivote central ubicado en el rancho El Cristal, Galeana, N.L.....	65
4.2. Velocidad de infiltración del agua en el suelo, rancho El Cristal, Galeana, N.L.....	65
4.2. Distribución de las tasa de precipitación a lo largo de la línea del Pivote Central ubicado en la localidad del Campo Experimental del INIFAP Saltillo (CESAL), en Arteaga, Coah.....	66
4.4. Distribución de las tasa de precipitación a lo largo de la línea de aspersión del sistema side-roll, ubicado en el rancho San Francisco, Arteaga, Coah.....	67

Figura	Pagina.
4.5. Distribución de las tasas de precipitación lo largo de la línea de Aspersión del sistema lateral semiportátil, El Tunal, Arteaga, Coah..	68
4.6. Comportamiento de los flujos de emisión a lo largo de la línea de goteo en el sistema ubicado en El Ranchito, Arteaga, Coah.....	69

	Pagina.
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFIA.....	67

I.- INTRODUCCION.

El riego es un “arte” que se considera tan antiguo como el hombre mismo, ya que desde que este se vió en la necesidad de hacer uso de la agricultura también ha venido implementando el uso del riego, y conforme va pasando el tiempo ha buscado la forma de hacer más eficiente el uso del agua de riego.

En la actualidad se han investigado y desarrollado a través de todo el mundo, nuevos métodos y tecnologías más avanzadas en riego, adaptándolas a las diferentes necesidades de las especies que se cultivan mundialmente.

Los sistemas de riego son y han sido sumamente esenciales en la producción, tanto a nivel agrícola como pecuario, por esto se ha venido incrementando su importancia y ha propiciado que se incremente la capacitación de profesionistas en todo el mundo para llevar acabo este tipo de actividades.

Se debe destacar el espectacular avance que han tenido los sistemas de riego que existen en la actualidad, tales como los sistemas de riego por aspersión, en los cuales se pueden englobar los pivotes centrales, lateral rodante o side-roll, lateral semiportátil o de movimiento manual, así como también los sistemas de riego por goteo.

La correcta utilización del agua por el regador para conseguir un uso eficiente de la misma requiere la aplicación de las técnicas de programación de riegos, que indican el momento y la cuantía de cada riego, además de un adecuado manejo de las redes de distribución y del proceso de aplicación del agua.

Las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua en base a ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego.

Con estos cambios se puede conseguir ahorrar el agua, mano de obra, energía, suelo, etc., así como una mejora de los rendimientos de los cultivos.

La evaluación realizada a un conjunto de sistemas de riego puede servir además para establecer los criterios de elección del sistema más adecuado a las condiciones de cada zona regable.

Debido al elevado número de variables que intervienen (caudal, presión, duración del riego, etc.) y al hecho de que todas están directa o indirectamente relacionadas, el problema de la correcta utilización del agua no tiene siempre una solución evidente, ni inmediata.

A veces las mejoras a introducir pueden ser sencillas, así el funcionamiento de un riego por aspersión puede mejorarse variando la presión de trabajo, tamaño y número de boquillas, altura de los emisores, duración de la postura de riego o cambiando el material desgastado (Tarjuelo, 1995).

1.1.- Antecedentes.

La agricultura es la mayor consumidora de agua en desarrollo, y por consiguiente enfrenta el reto de utilizarla de la forma más eficiente posible para producir mejor y así competir con los demás sectores.

La humanidad ha dependido para lograr el desarrollo de la agricultura, del uso de la irrigación, y aun en la actualidad la irrigación sigue ofreciendo grandes beneficios hacia la agricultura y más aun con los avances tecnológicos que se desarrollan a gran velocidad facilitando mas el “arte” de irrigar, lo cual facilita el desarrollo de la agricultura; hoy en día la ferti-irrigación ha facilitado el manejo y avance de la agricultura, ya que ayuda a ahorrar tiempo y esfuerzo para la aplicación de nutrimentos en el agua de riego necesarios para el buen desarrollo de la planta.

Se debe destacar el espectacular avance que han tenido los sistemas de riego por aspersión igual que los de goteo durante los últimos años ; el perfeccionamiento de los mecanismos de alineación y de articulación permite a las unidades producidas salvar pendientes y obstáculos muy serios, lo que facilita su aplicación y operación en terrenos de relieve irregular.

Aunque en el caso particular de los pivotes centrales no se ha resuelto el problema de erosión que causan las ruedas que los mueven al pasar por terrenos algo accidentados este tipo de sistemas son muy eficientes ya que facilitan y disminuyen el empleo de mano de obra, así como también facilitan el empleo de agua de riego en forma de lluvia.

1.2.- Objetivos.

Evaluar la uniformidad de distribución del agua en diferentes sistemas de riego, tales como (Pivote Central, Side-roll, lateral semiportátil y Goteo).

1.3.- Hipótesis.

Ho: Con las acciones de este proyecto, incrementar al menos en un 20 % la eficiencia en el uso del agua en el cultivo de papa.

Ha: Con las acciones de este proyecto, no lograr el incremento deseado.

II.- REVISION DE LITERATURA.

2.1. Los sistemas de riego por aspersión.

Según *Rojas y Briones (1990)* el riego por aspersión es conocido de mucho tiempo atrás, sin embargo este sistema de regado se ha difundido ampliamente durante los últimos 40 a 50 años, como resultado de gran avance de los procesos industriales en la fabricación de tuberías de reducido peso, así como la construcción de dispositivos que proporcionaron tasas de precipitación uniforme, logrando de esta forma un sistema de riego mas mecanizado que asegura un preciso control de la lámina aplicada, ajustándose a las condiciones edafoclimáticas y del cultivo.

El riego por aspersión es definido como la aplicación artificial de agua a los cultivos en forma similar a la lluvia que se forma con el agua que sale por las boquillas de los aspersores y chocar con la paleta oscilante dispersándose por el aire, la intensidad de agua aplicada debe ser menor que la velocidad de infiltración del suelo para evitar problemas de escurrimiento así como encharcamiento. Este método se caracteriza por ser el agua bombeada desde la fuente de abastecimiento, conducida y distribuida a través de una red de tuberías a presión hasta el área de cultivo, eliminando así en gran medida las acequias y canales que generalmente presentan significantes pérdidas por conducción del agua de riego.

2.1.1. Los sistemas de riego de pivote central.

Los sistemas de riego de pivote central, consisten de una línea lateral con uno de sus extremos fijos a un punto pivote, mientras que el otro extremo se desplaza en círculos 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 torres motrices equipadas con propulsión individual generalmente con energía eléctrica, montadas sobre grandes ruedas. Estas torres están separadas una de otra de 25-75 metros, y la longitud de la línea lateral varía frecuentemente de 50-800 metros. Por lo general un pivote central estándar tiene 10 torres.

El 90% de los equipos que se instalan, se operan con baja presión, esto es de 30 a 40 psi a la entrada del punto pivote.

En la actualidad, se instalan equipos que pueden ser arrancados, y controlados sistemáticamente y con una perfecta comodidad desde algún vehículo, la casa del propietario, la oficina o cualquier otro lugar mediante el uso de un software moderno que ayuda a la obtención de la información más completamente, como las velocidades de avance de los sistemas con las cuales se controlan las laminas de riego, dosis de fertilización aún en el mismo pivote, etc.

2.1.1.1. Desarrollo histórico del pivote central.

Frank Zybach (1894 – 1980) citado por Patiño. 1997 nos comenta que, diseñó y patentó el primer sistema de riego por pivote central. En el verano de 1948, creó un prototipo de pivote central que solo contaba con dos torres, y un sistema de propulsión a base de agua a presión; obtuvo la patente el 22 de julio de 1952. Para la primavera de 1952, ya había construido un sistema de pivote central con cinco torres con el cual alcanzaba a irrigar una superficie de 40 acres (161,874.8 m²) el cual fue instalado en Strasburg, Colorado, para regar un cultivo de alfalfa.

En el transcurso de diciembre de 1952 a septiembre de 1954, Zybach realizó un rediseño del sistema de tal forma que la tubería principal quedara suspendida aproximadamente a 10 pies (3.0 m) de la superficie del suelo y por lo consiguiente se pudo utilizar en cultivos de porte alto. En julio de 1952 Zybach vendió el 49% de sus derechos sobre la patente a E. Trowbridge.

Durante el verano de 1954 estos dos decidieron vender sus derechos a Robert B. Daugherty (Valley Manufacturing Company, en Valley, Nebraska), hasta la expiración de la patente en 1969. Daugherty, además, se hizo acreedor a los derechos de distribución del sistema en Nebraska y Colorado por tiempo indefinido. Para finales de los años 50's the Valley Manufacturing Company, obtuvo los derechos del mercado del sistema y posteriormente adquirió los derechos de fabricación de Zybach y Trowbridge, (la firma cambio su nombre por el de Valmont Industries en 1966).

En 1954, Valley Manufacturing Co. tenía construidos solo 7 sistemas de riego de pivote central, y para 1960 la producción anual había alcanzado solo 50 sistemas por año.

La primera firma en entrar que compitió con Valley fue Layne & Bowler de La Puenta, California, la cual en 1958 introdujo al mercado un sistema llamado “Rain Cat” el cual agregó una armadura bajo la tubería principal en lugar de los sistemas soportados por cable. El “Rain Cat” introdujo así mismo motores eléctricos para cada torre con llantas tipo oruga, y dos años después Layne & Bowler introdujo las llantas de caucho en cada torre.

El tercer competidor fue Reinke Manufacturing Company, la cual fue fundada por Richard Reinke en 1956 en Deshler, Nebraska. Reinke construyó su primer prototipo en 1965. En 1966 Reinke Manufacturing Company inicio la fabricación y venta de sistemas de riego de pivote central bajo el nombre comercial de “electrogator”.

Una cuarta firma se hizo presente en la industria del riego por pivote central la cual entró con el nombre de Olson Brothers Manufacturing Company, originaria de Atkinson, Nebraska. Los hermanos Ted y Carrol Olson, habían comprado un sistema Valley a mediados de los años 50's. En 1966 habían desarrollado un sistema de propulsión a base de aceite hidráulico y remodelando el resto del sistema, se inicio en el mercado para el año de 1967.

En el año de 1968, Art y Bernie Zimmerer, cuyo padre había fundado una pequeña firma llamada Lindsay Manufacturing Company, localizada en Lindsay, Nebraska, iniciaron la construcción de pivotes centrales. En 1969 lograron vender su primer sistema, bajo el nombre comercial de “Zimmatic” y logro aceptación rápidamente.

En 1969 Lockwood Corporation de Gering, Nebraska, entró a la industria del pivote central con la adquisición de una pequeña firma en Texas, la cual había fabricado un pivote central bajo el nombre comercial de “Hidro – Cyrle”. Ellos rediseñaron el sistema el cual ha sido vendido con el nombre de “Lockwood”.

Los sistemas de pivote central son usados por lo menos en 25 países incluyendo Canadá, Argentina, México, China, Australia, India, Brasil, Venezuela, Irán, Arabia Saudita, Francia, España, Italia, Libia, Sudan, Egipto, Marruecos, entre otros.

La superficie regada por sistemas de riego de pivote central se ha venido incrementando ya que este tipo de sistema reduce la mano de obra así como también eficientan el uso del agua, aunque requieren de gran inversión son muy rentables y requieren de menor mantenimiento que otros tipos de sistemas disminuyendo así los costos a largo plazo.

Este tipo de sistemas en la actualidad y en particular en la región de estudio, han venido reformando, eficientando y modernizando el uso de los equipos de riego dado que proveen muy diversas tasas de aplicación del agua de riego.

2.1.1.2. Los sistemas de pivote central de baja presión.

Hace referencia *Fipps (1990)* al concepto LEPA (Aplicación Precisa a Baja Presión), indicando que fue desarrollada por los ingenieros agrícolas de la Universidad de Texas A&M, para buscar un sistema que pudiera reducir los requerimientos de energía en los sistemas de movimiento mecánico y a la vez maximizar el aprovechamiento de la lluvia y agua de riego aplicada. El concepto fue introducido por primera vez en 1981 y desde entonces LEPA ha promovido varios dispositivos comerciales que están ahora instalados en más de 400 pivotes en el estado de Texas donde actualmente existen aproximadamente 9500 pivotes en operación regando mas de medio millón de hectáreas.

Menciona *Kincaid et al. (1990)*, que en los Estados Unidos las mayores superficies regadas con sistemas de pivote central se localizan en las altas llanuras y al noreste del pacífico donde predominan suelos que varían de arenosos a franco arcillosos ; también manifiestan que gran parte de los sistemas de pivote central diseñados para zonas semiáridas tienen una capacidad bruta que satisface una evapotranspiración pico estacional cercana a 10 mm/día.

La longitud típica de una lateral de pivote central de aproximadamente 400 m evolucionó a partir de los tamaños de campo que comúnmente se encuentran al Oeste de los Estados Unidos

Hace notar **Guilley (1984)** que debido al incremento en el requerimiento de energía para la operación de pivotes centrales es de considerable interés la reducción de la presión de este tipo de sistemas. Mediante el análisis que desarrolla en este trabajo concluye que es posible cambiar los pivotes de alta presión a baja presión con emisores para varios tipos de suelo.

Menciona **Larsen (1980)** que siempre se esta buscando encontrar formas de ahorrar agua y energía, sin embargo la urgencia por reducir la presión requerida en los sistemas de irrigación ha repercutido no solo en la reducción de los costos de operación sino también en el surgimiento de problemas en la aplicación del agua.

Comentan **Von Bernuth y Guilley (1985)** que reduciendo la presión de un sistema de riego de pivote central, se pueden observar las siguientes situaciones:

1. Disminución del área de mojado, reduciendo el tiempo de aplicación e incrementando la tasa de aplicación.
2. Incremento del tamaño de la gota. Como consecuencia de la disminución de la presión o por el incremento en el tamaño de la boquilla.

3. Disminución de la uniformidad de aplicación debido a los cambios de presión inducidos al terreno. Pero se incrementa la eficiencia de aplicación al reducir el arrastre de la lluvia por el viento.
4. Incremento en el costo inicial debido a la adición de material (reguladores de presión en el paquete de boquillas) para satisfacer las necesidades del diseño.

2.1.1.3. Distribución de presiones.

Indica *Gardner Den (1983)* que al parecer, reducir el agua es un camino para reducir los costos de energía, pero dicen que para ahorrar energía y reducir el agua se deberían usar sistemas de riego de baja presión utilizando boquillas de baja presión en pivote central.

Mencionan *Kincaid y Heermann (1970)* que una presión mas adecuada tendrá que mantenerse en todas las partes del sistema para obtener la descarga deseada y los patrones de aspersión en la aplicación. Lógicamente que los aspersores en la parte exterior final normalmente requieren de presión de operación alta en comparación con los aspersores pequeños mas cercanos al punto pivote.

Reporta *New (1982)* que la presión del sistema en el punto pivote, adecuadamente debe tener la superación de la presión en la perdida por fricción y proporcionar la presión deseada en los aspersores, rociadores o boquillas en toda la lateral. Menciona también que el uso de tubería de 8 a 10 pulgadas sobre la línea principal permiten al sistema operar a

presiones bajas y ahorrarse miles de pesos al reducir los costos durante el bombeo y la vida útil del sistema.

2.1.1.4. Eficiencia de aplicación.

Menciona *New (1982)* que el tiempo de riego de 16 a 17 horas por acre por año con el riego por surcos se reduce de 12 a 13 horas por acre por año mediante unidades de pivote central

Subraya *Jaynes (1989)* que algunos autores ilustran como eficiencia de aplicación a la percolación profunda, y la fracción del área completamente regada que puede ser calculada por varias funciones comúnmente usadas que describen a las áreas de distribución del agua de riego.

2.1.2. Los sistemas de riego tipo lateral rodante.

Este tipo de sistemas comúnmente llamados side-roll, tienen el principio básico del semiportátil, con la diferencia de que sus tuberías laterales de aluminio por lo regular son de 4 o 5 pulgadas y van montadas en ruedas para su mejor desplazamiento, estas tuberías reforzadas, están adecuadas con acoplamientos de alta torsión dado que funcionan como un eje de las ruedas lo cual permite su desplazamiento; este tipo de equipos son movidos por una unidad motriz la cual semeja un carro con cuatro ruedas en el cual va montado todo el mecanismo de movimiento el cual esta constituido por:

- Chasis.
- Motor orbital (estrella que es movida por pistones hidráulicos circulares).
- Motor estacionario de gasolina de 7-8 h.p.
- Bomba hidráulica la cual es impulsada por el motor de gasolina.
- 4 ruedas que se usan por lo general de 70-96 cm de altura.

2.1.2.1.- Ventajas y desventajas del side-roll.

La gran ventaja de este tipo de sistemas es su fácil movimiento sin mucho esfuerzo físico, lo cual es favorecido mayormente cuando el operador es el mismo agricultor; además de que este tipo de sistemas nos ayudan a ahorrar agua, así como dinero y mano de obra.

La principal desventaja y la mas importante la constituye el hecho de que se requiere de un gran desembolso al momento de adquirirlo además de que este requiere para su manejo, de áreas regulares y libres de obstáculos tales como postes de luz, canales, corrales o construcciones.

2.1.3.- Los sistemas de riego lateral semiportátil.

Los sistemas de riego del tipo semiportátil, son los que mayor auge han tenido, dado que es el más económico de los equipos presurizados así como el más versátil, además se adapta a la mayoría de los cultivos, así como a casi cualquier terreno. Estos equipos son los más comúnmente conocidos, y están constituidos por tuberías de conducción y sus conexiones, tuberías alimentadoras o principales, todas ellas generalmente de materiales plásticos (PVC) y se colocan subterráneamente por lo general a un metro de profundidad, hidrantes usualmente de 3” y 4” en fierro o aluminio, colocados normalmente a espaciamientos de 46 y 55 mts., tuberías laterales de aluminio normalmente de 3” y 4” y en longitudes estándar de 6.10, 9.15 y 12.20 mts., las cuales son portátiles y se mueven en forma manual, mismas que cuentan con acoplamientos de enganche rápido en los que van roscados los elevadores por lo común de 1”x ¾” de longitudes variables, sobre los cuales se montan los aspersores que trabajan con una o dos boquillas dependiendo de las necesidades del agua y operan a presiones de 45 a 55 psi, aunque en algunos casos son manejados a presiones mayores o menores y fuera de eficiencia.

2.1.3.1.- Componentes de un sistema de riego por aspersión lateral semiportátil.

Señalan *García y Briones (1997)* que un sistema de riego por aspersión está compuesto por muchas partes. Estas partes van desde la boquilla del aspersor hasta las válvulas que controlan la entrada del agua al sistema. Dentro de esa gama de piezas, se encuentran las siguientes:

Aspersores. Una característica que es común en todos los sistemas de riego por aspersión es la que el agua debe ser arrojada a través de aspersores, boquillas o perforaciones a una gran velocidad. En los sistemas de riego por aspersión se usan aspersores con cabeza giratoria, aspersores con cabeza fija, rociadores con boquilla y placas de impacto y también pequeñas perforaciones hechas directamente en las tuberías.

Los aspersores de cabeza giratoria. La mayoría de estos aspersores giran alrededor de un eje vertical. La rotación resulta del torque (principio del impulso-momento) causado por la reacción que produce el agua al salir de la boquilla al impactarse sobre el brazo giratorio del aspersor (equipado con un resorte que provoca el retroceso) que periódicamente interrumpe el chorro que sale por alguna de las boquillas del aspersor.

Los aspersores de cabeza fija. Estos aspersores son comúnmente usados en jardines, arbustos ornamentales y sistemas de riego en invernaderos. En los sistemas de riego agrícola este tipo de aspersores es usado en forma de rociador; por ejemplo en los pivotes centrales.

Las boquillas. Son los orificios o aperturas usados en los aspersores para controlar el volumen de descarga, la distribución de la precipitación, el diámetro de humedecimiento y el tamaño de la gota.

Los elevadores. Son tramos de tubo que conectan a los aspersores o rociadores a la línea de la tubería lateral. Frecuentemente consisten de un tramo de tubo de longitud fija, y a veces puede ser un tubo telescópico como es el caso de algunos usados en jardines. Usualmente se emplean tuberías de 12 a 75 mm de diámetro con coples estándar. Para aspersores pequeños deben de tener un mínimo de 8 cm de alto y hasta 1 m para aspersores gigantes, con el fin de asegurar el flujo uniforme a la entrada del aspersor.

Las tuberías. Las tuberías usadas en los sistemas de riego por aspersión pueden ser de acero, aluminio y plástico (PVC). Los diámetros usados van desde pequeños como 50 mm y hasta 250 mm o más grandes.

Las tuberías son usadas como líneas de conducción del agua y en dicho caso se les conoce como “línea o tubería lateral”. Sin embargo, cualquiera que sea el caso, las tuberías son fabricadas en longitudes estándar de 6.10, 9.15 y 12.19 m.

Las partes que acoplan las tuberías. Son piezas que permiten el acoplamiento de tramos individuales de tubo y formar líneas de tuberías, dentro de los cuales podemos nombrar a los de tipo auto-cierre en los cuales se encuentran los de cierre manual, los cuales en un extremo tienen un gancho o un cerrojo y en el otro extremo una ranura o una perilla, las cuales mediante un movimiento de cuarto de círculo quedan trabados y unidos los tramos de tubería. También se encuentran los de cierre mecánico, que son aquellos en los cuales la unión es sujeta por anillos, o tuercas y tornillos. Este tipo es el más usado para líneas principales de aluminio.

Las partes que ajustan las tuberías. Cierta tipo de piezas son necesarias dentro de un sistema de riego por aspersión para lograr operarlo bajo determinadas circunstancias. Estas piezas son: codos, reducciones, tees, tapones finales, etc.

Las partes de control en los sistemas de riego por aspersión. Son aquellas partes que por su disposición ayudan a operar y controlar el sistema, las mas usadas son: válvulas de varios tipos, reguladores, manómetros, hidrantes, etc.

2.1.3.2.- Factores que afectan la distribución del agua en los sistemas de riego por aspersión.

Señalan ***García y Briones (1997)*** que los factores que afectan la distribución del agua en los sistemas de riego por aspersión son los siguientes:

1. Condiciones climáticas.

- a) Velocidad del viento: valor absoluto y variación.
- b) Evaporación: energía solar, movimiento del aire, temperatura, humedad, etc.

2. Condiciones de equipo.

- a) Marca y modelo del aspersor, configuración interna, velocidad de rotación, sus variaciones en la fabricación y el espaciamiento de los aspersores y laterales.

- b) El diámetro y configuración de la boquilla.
- c) La altura del elevador del aspersor.
- d) Las condiciones hidráulicas del equipo.

3. Condiciones de operación.

- a) La presión.
- b) El espaciamiento de los laterales entre si.

4. Condiciones topográficas.

5. Efectos aerodinámicos.

2.2. Los sistemas de riego por goteo.

Un sistema de riego por goteo es aquel donde se aplica agua filtrada dentro o sobre el suelo, directamente a cada planta en forma individual. En los arboles sembrados en huertas y otros cultivos sembrados ampliamente espaciados, esto se realiza con la ayuda de líneas laterales que corren a lo largo de cada hilera del cultivo. Los emisores que son anexados a la línea lateral suministran las necesidades de agua a cada planta. En el caso de algunos cultivos de hortalizas existen mangueras de pared delgada, las cuales tienen orificios pequeños hechos con un rayo láser, espaciados a intervalos regulares, a este conjunto de emisores se le llama comúnmente “manguera con gotero integrado”.

Con un sistema de riego por goteo, el agua puede ser suministrada al cultivo en base a una baja tensión y una alta frecuencia, con lo cual se crea un medio ambiente óptimo de humedad en el suelo. Debido a la alta frecuencia de los riegos, se pueden obtener eficiencias muy altas.

La eficiencia en el uso del agua se define como el rendimiento del cultivo por unidad de agua aplicada.

2.2.1. Generalidades del riego por goteo.

Dice *Berlijn (1991)* que con el sistema de riego por goteo, el agua humedece el área cercana a la planta o arboles. El agua que se utiliza en este sistema de riego debe estar libre de impurezas tales como sales químicas y bicarbonatos, porque estos pueden bloquear el flujo. Este sistema se puede utilizar en terrenos con pendientes, debido a que el agua se aplica al pie de la planta.

Explica *Roberts (1992)* que el riego por goteo es un sistema que aplica pequeñas cantidades de agua a la zona radicular de las plantas, las cuales muchas de las veces son diarias. El riego por goteo asegura que el agua fluya de los orificios de los emisores llegando exactamente al lugar donde mas se necesita.

Mencionan *Rojas y Briones (1990)* que el riego por goteo, se define como la aplicación artificial del agua al suelo en forma lenta pero frecuente y en pequeñas cantidades aplicadas directamente a la zona radicular de las plantas a donde llega a través de

emisores o goteros con flujo gradual y uniforme, permitiéndose así condiciones optimas de humedad en el suelo, durante el desarrollo del cultivo.

Comenta *Medina San Juan (1981)* que el riego por goteo, es una mejora tecnológica importante, que contribuirá por tanto a una mejor productividad; y nos menciona sus características principales que son:

1. El agua se aplica en el suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical.
2. No se moja todo el suelo, solo una parte del mismo que varia con las características de este, el caudal del gotero y el tiempo de aplicación.
3. El mantenimiento de un nivel óptimo de humedad en el suelo implica una baja tensión del agua en el mismo. El nivel de humedad que se mantiene en el suelo es cercano a la capacidad de campo, lo cual es muy difícil conseguir con otros sistemas de riego.
4. Requiere de una fertilización frecuente, pues como consecuencia de la aplicación casi permanente de agua, puede producirse un lavado excesivo de nutrientes.

Señala *Chapin (1990)* que la expansión del uso de plásticos es evidente en todas las formas de riego por goteo, pero especialmente en el uso de riego por goteo con cintas. Primordialmente en las nuevas cintas de flujo turbulento.

2.2.2. Desarrollo histórico del riego por goteo.

Dice *Chapin (1990)* que en 1964 y 1965 Norman J. Smith, usó un producto llamado DEW-HOSE (Manga rociadora) y acolchado de suelos con películas plásticas. Esto hace pensar que fueron las primeras cintillas de goteo usadas comercialmente en cultivos en hileras en E.U.A. DEW-HOSE (Manga rociadora) fue una película de polietileno, doblada y cocida para formar mangueras; donde las salidas fueron los agujeros hechos por las puntadas, el DEW-HOSE (Manga rociadora) no fue hidráulicamente bien aceptado para surcos largos.

Un importante avance en las cintillas de riego, fueron las mangueras de doble cámara, que permitieron ser usadas en surcos de 100 a 200 emisores con flujos relativamente uniformes. La cinta de doble cámara se conoce comercialmente como la cinta BI-WALL.

En 1970, Bernard J. Hall, en el condado de San Diego obtuvo un 26.8 por ciento de incremento en la producción y un 13.7 por ciento de incremento en el número de tomates producidos bajo riego por goteo en una parcela de 2 hectáreas usando mangueras de doble cámara conocidas como TWIN-WALL (Pared gemela o melliza).

En los últimos años se han desarrollado gran cantidad de cintas (*Hartz, 1993*) y se ha expandido principalmente en el sudoeste de E.U.A. la producción de cultivos hortícolas usando la cintilla de riego ya que los factores que contribuyen a esta transformación son:

1. Costo y disponibilidad de agua.
2. Perfeccionar el diseño y producción.
3. Reducir el costo de riego por goteo en relación a otros costos de producción.
4. Desarrollo de prácticas de manejo integrales con máxima productividad de cultivos y perfeccionamiento de sistemas.

2.2.3. Ventajas del riego por goteo.

Según *Guerrero (1991)* entre las principales ventajas del riego por goteo destacan las siguientes:

- a) El agua es aplicada en forma localizada atendiendo la necesidad de cada planta logrando así mayor eficiencia.
- b) Mejor uniformidad en la descarga de los emisores.
- c) Percolación controlada sobre la hilera de las plantas.
- d) Reducción de consumo de energía.
- e) Reducción de mano de obra.
- f) La programación por computadora es fácil y el manejo del sistema no interfiere con otras practicas culturales.

Señala *Lammont (1991)* que las ventajas principales del riego por goteo, son que pueden aprovecharse pequeñas fuentes de agua, pues el riego por goteo requiere menos de la mitad del agua necesaria para un sistema de riego por aspersión.

Las presiones mas bajas de operación requieren menos energía para el bombeo. Alto grado de manejo del agua, pues las plantas reciben cantidades precisas de agua.

Menos enfermedades de las plantas, ya que las hojas de las plantas permanecen secas. Costos de operación y mano de obra generalmente menores y posibilidad de alto grado de automatización. Aplicación precisa del agua. No se riega entre las hileras donde pueden crecer las malezas. Las operaciones de campo y las labores culturales pueden continuar durante el riego, porque entre hileras permanece seco, dando así mejor control de malezas y menores costos de producción. Los fertilizantes se pueden aplicar durante, y en el agua de riego y directamente a las raíces de las plantas. Permite regar terrenos dispares con condiciones variadas del suelo. Reduce la erosión y lixiviación del suelo.

Menciona *Roberts (1992)* que además del agua y ahorros en mano de obra, aumenta el crecimiento, producción y la calidad de cosechas en el mercado.

Con cosechas de buena calidad en cultivos básicos debido a que la superficie seca del suelo mejora la calidad de la cosecha y minimiza la actividad de microorganismos dañinos además de que disminuye las enfermedades disminuyendo la superficie de mojado. Esto ha convencido a muchos productores de las áreas con agua abundante para cambiar y utilizar el método de riego por goteo con éxito económico.

2.2.4. Inconvenientes del riego por goteo.

Comenta *Lammont (1991)* que las principales desventajas del riego por goteo son:

- a) Mayor inversión inicial por unidad de superficie en comparación con otros sistemas de riego.
- b) Requisitos administrativos altos.
- c) Un retraso en las decisiones de operación puede causar daños irreversibles al cultivo.
- d) No permite protección contra heladas como los sistemas de riego por aspersión; pero combinan perfectamente con acolchados plásticos y túneles.
- e) El daño de roedores, insectos y humanos a las cintas de goteo causan fugas que ameritan reparaciones. Como medio preventivo se fabrican algunas cintas impregnadas de fungicida ó se colocan bajo la superficie del terreno.
- f) Las pequeñas aberturas de los goteros se obstruyen fácilmente, por lo que requieren filtración cuidadosa del agua.
- g) La distribución del agua en el suelo queda limitada.

Mencionan *Rojas y Briones (1990)* que algunas de las limitaciones que se presentan para el establecimiento de un sistema de riego por goteo son:

1. Alto costo de inversión.
2. El material utilizado como tuberías, goteros, etc., deben ser resistentes tanto a la presión como a factores naturales.

3. Las sustancias químicas y fertilizantes que se apliquen deben ser solubles y no reaccionar con el material de la tubería.
4. No se utiliza en cultivos sembrados al voleo. Aunque en suelos arcillosos donde los bulbos se expanden hasta 2m, se han usado cintas de goteo enterradas para regar alfalfa.
5. Dificulta el uso de maquinaria por sus líneas.
6. Se tienen taponamientos frecuentes de goteros.
7. Requerimiento de personal capacitado para su manejo.

2.2.5.- Eficiencia de riego por goteo.

Menciona *Lamm (1992)* que en un experimento realizado con maíz usando riego por goteo, se reduce la cantidad de agua perdida, a razón de casi 100 por ciento de eficiencia de aplicación a las necesidades netas, según estudios realizados en Colby y Garden City, KS. El riego por goteo se caracteriza por ser lento y frecuente. Esto representa un cambio significativo en el calendario de riego usado por superficie y sistemas de riego por aspersión, incrementando la frecuencia de riego. Si se instala un sistema mal diseñado puede ser tan perjudicial que se invalidan todas sus ventajas.

Señala *Medina San Juan (1981)* que al suministrar el agua en pequeñas cantidades al cultivo, de acuerdo con sus necesidades, y dadas sus características de funcionamiento, las pérdidas se reducen a su mínima expresión, por esto es caracterizado como un sistemas de alta frecuencia.

2.2.6.- Componentes de un sistema de riego por goteo.

Los sistemas de riego por goteo están compuestos por las siguientes partes:

Según *Goldberg et al. (1996)* los sistemas de riego por goteo están constituidos por:

1. Cabezal de control, que esta conectada a la fuente de abastecimiento de agua, su función es controlar la cantidad de agua aplicada, filtrar el agua y suministrar fertilizantes en el agua de riego.
2. Líneas plásticas. Son líneas abastecedoras de un diámetro conveniente según sea la descarga deseada y de longitudes de acuerdo a la distancia sobre las cuales el agua deberá ser transportada.
3. Líneas plásticas de diámetro pequeño (usualmente de 12 a 16 mm), paralelas unas con otras y conectadas a las líneas principales.
4. Emisores plásticos o goteros conectados a la línea. Su función principal es depositar el agua en gastos pequeños.
5. Un tanque fertilizador lleno con solución nutrimental que va conectado directamente a la línea de irrigación principal.

Según Casillas y Briones (1997); un sistema de riego por goteo consiste de un cabezal de control o sistema de “carga” y una red de tuberías de distribución. El sistema de carga generalmente lo constituyen la bomba, el filtro, el medidor de gasto, los manómetros de presión, el inyector de fertilizante, la válvula de control, el regulador de presión y la unidad de control automático.

La red de distribución consiste de un sistema de tuberías, ajuste de tuberías, emisores y un circuito de válvulas.

2.3.- Las tasas de precipitación de aspersión.

Indican **Briones y Casillas (1986)** que la tasa de precipitación a lo largo de la línea lateral de los pivotes centrales tienen características únicas, ya que los aspersores o emisores más alejados del punto pivote regarán un área mayor por unidad de tiempo de la que riegan los que están más cerca del punto pivote.

La tasa de precipitación de aspersión es determinada por el tamaño de las boquillas de los aspersores, la presión de la boquilla, el espaciamiento entre aspersores o emisores, la longitud de la línea lateral y el tipo de emisor.

Dicen **Mickelson y Schweizer (1978)** que en las boquillas de baja presión se producen gotas de agua más grandes las cuales serán quebradas debajo de los suelos agregados y costras compactadas en las superficies del suelo y el radio de cobertura también disminuye.

Reportan **Aarstad y Miller (1973)** que la tasa de aplicación está determinada por el tamaño de boquilla, presión en la boquilla y el espaciamiento entre aspersores.

Estos mismos autores mencionan también que las tasas de aplicación alta, muchas veces se obtienen con boquillas grandes, las cuales pueden causar una película compacta en la superficie del suelo y de este modo disminuir la tasa de infiltración. La tasa de aplicación

promedio en el borde exterior del círculo irrigado con un pivote central usualmente puede ser muy alta. En algunos sistemas puede ser mayor de 100 mm/hora para un paquete de boquillas de baja presión (Keller y Bliesner 1990).

Comentan *Merriam y Keller (1978)* que las tasas de precipitación a lo largo de la lateral pivote crecen progresivamente hacia el más grande emisor/rociador del movimiento final, esto para lograr una aplicación uniforme; típicamente, la tasa de aplicación cerca del movimiento final se encuentra dentro de una pulgada/hora.

2.4.- Efecto de la variación topográfica sobre la uniformidad del riego.

Observo *Soares et al. (1991)* que la pendiente en la superficie de los suelos tienen un efecto significativo en la distribución del agua de los rociadores, sus resultados muestran que la aspersión ascendida tendrá que mantenerse perpendicular a la superficie del suelo para maximizar la uniformidad de aplicación del agua y para minimizar los riesgos de erosión ocurridos durante el periodo de riego.

Encontró *Edling (1979)* que cuando los sistemas operan aguas arriba con pendiente uniforme del 7 por ciento, la capacidad de la bomba disminuye gravemente como un 36 por ciento y una reducción ocurre en las descargas de las últimas boquillas, estos cambios a lo largo de la lateral tienen relación en la tasa del flujo del orificio de la boquilla reflejándose en las condiciones de operación de la bomba.

Así mismo mencionan que una variación del 14 por ciento se ha encontrado en las ultimas boquillas del sistema para un terreno de pendiente uniforme de 7 por ciento. Esta variación de flujos encontrada en las boquillas de la lateral en terrenos mas inclinados agravan los excesos de agua y deficiencias asociadas con tierras bajas y laderas, respectivamente.

2.5.- Uniformidad del riego

Menciona *Martínez (1999)* que en un riego presurizado una buena uniformidad en la aplicación del riego esta relacionada directamente con los siguientes aspectos: un adecuado diseño, tuberías y emisores de buena calidad y con una correcta operación y mantenimiento del sistema. Cuando el sistema esta instalado y se quiere conocer la manera como funciona, generalmente se recurre a obtener datos de campo que permitan tener una evaluación del mismo, mediante algunos cálculos, de tal manera que se pueda conocer si el sistema funciona bien, regular o mal y las causas que lo ocasionan.

El coeficiente de uniformidad es el cálculo, a través de datos de campo de caudales o presiones, de la desviación estadística con respecto a la media general (Wilcox-Swales, 1947) ó a la media del 25 por ciento de los datos más bajos obtenidos en la prueba de campo con respecto a la media general (Karmeli-Keller, 1975).

Mencionan *Ben-Asher y Ayars (1990)* que el coeficiente de uniformidad puede ser mejorado por medio de incrementos en la aplicación del agua de riego. pero el agua aplicada en excesos de la tasa de transpiración diaria será perdida como percolación

profunda; esto quiere decir que para una cantidad de agua dada, la alta uniformidad del riego esta asociada con pequeñas cantidades de la percolación profunda y disminuye el coeficiente de uniformidad, estos efectos son más pronunciados para una distancia bastante corta entre boquillas que en una distancia larga.

Señalan *Aarstad y Miller (1973)* que un sistema aplica agua regularmente uniforme cuando se usan boquillas con tamaños correctos y con la presión de operación correcta sin ninguna velocidad del viento. Conforme la distancia se incrementa desde el punto pivote, aumentan mas las descargas para compensar una cobertura de área mas grande.

Davis (1966) y Pair (1968), citados por Arshad y Berefoot, señalan que se usaron botes colectores colocados en forma de cuadrícula para coleccionar muestras de lluvia en sistemas de riego que estaban operando, el volumen que se colecto se midió en un cilindro graduado. Plantea que cada bote colector representara del 2 por ciento al 2.5 por ciento del área del patrón para identificar la uniformidad de distribución del agua.

2.6.- El cultivo de la papa.

Menciona *Covarrubias (1995)*, que la papa (*Solanum tuberosum L.*) requiere de elevados niveles de humedad en el suelo, debido a que es un cultivo sensible al déficit de agua aun en periodos cortos, por ello los riegos deben mantener humedecido los primeros 30 cm, donde ocurre el 70% de la absorción y el 90% de la producción comercial. Las etapas criticas de máxima demanda comprenden desde el inicio de la tuberización hasta la madurez fisiológica, o sea durante el desarrollo del tubérculo.

Comenta *Valdez (1996)*, que la papa es una planta semirresistente al frío, pero que no es tolerante a heladas severas. Las temperaturas óptimas ambientales para obtener los máximos rendimientos son de 15.5°C a 18.5°C. la temperatura óptima en el suelo para la emergencia de plántulas es de 22°C; temperaturas altas retardan la emergencia. Reportan también que temperaturas de 16°C por la noche y mayores de 18°C por el día, arrojan los rendimientos mas altos y la cantidad de almidón es mas elevada; cabe mencionar que esta relación de temperaturas también depende del cultivar.

2.6.1.- Importancia de la papa.

Señalan *Cullen y Wilson (1971)*, que la papa (*Solanum tuberosum*) es una fuente alimenticia de gran importancia para el hombre como componente de su dieta diaria. Por su valor como fuente de energía supera a los cereales, tiene casi el doble del valor alimenticio que el maíz y es semejante a la energía que proporciona la carne de res.

Dice *Maldonado (1982)*, que la papa tiene mayor valor nutricional por unidad de superficie cosechada que muchos otros cultivos, además, posee proteína balanceada de alta calidad con un alto contenido de lisina (aminoácido básico); contiene también cantidades substanciales de vitamina C y tres vitaminas del complejo B: niacina, tiamina y riboflavina. La papa es de fácil digestibilidad, ya que la pueden consumir desde niños lactantes hasta ancianos.

SEP.(1987), los tubérculos contienen riquezas alimenticias de reserva en forma de almidón y proteínas, las cuales proporcionan nutrientes que dan lugar a la planta nueva al año siguiente. El tubérculo contiene aproximadamente un 80% de agua. La materia seca consta de: Vitamina A, C, y G y algún complejo de vitamina B.

Señala **ACERCA (1998)**, que en la actualidad se siembran en México alrededor de 63,500 hectáreas, con una producción total alrededor de 1'282,000 toneladas. Esto es en los principales estados productores como son: Sinaloa, Estado de México, Puebla, Guanajuato y N.L. además de otros estados contribuyentes en menor escala a esta producción.

Comenta **García (1997)**, que los principales países cultivadores de papa en América Latina son:

1. Perú: con 280,000 hectáreas cultivadas y un rendimiento promedio de 6.7 ton/ha.
2. Brasil: con 185,000 hectáreas cultivadas y un rendimiento promedio de 9.0 ton/ha.
3. Argentina: con 111,000 hectáreas cultivadas y un rendimiento promedio de 12.1 ton/ha.
4. Colombia: con 90,000 hectáreas cultivadas y un rendimiento promedio de 10.6 ton/ha.
5. Bolivia: con 136,000 hectáreas cultivadas y un rendimiento promedio de 5.7 ton/ha.

6. Chile: con 72,000 hectáreas cultivadas y un rendimiento promedio de 10.3 ton/ha.
7. México: con 63,500 hectáreas cultivadas y un rendimiento promedio de 20.0 ton/ha.
8. Ecuador: con 40,000 hectáreas cultivadas y un rendimiento promedio de 11.2 ton/ha.

Además de otros países como: Venezuela, Uruguay, Cuba, Guatemala, República Dominicana, Costa Rica, Jamaica y Panamá.

2.6.2.- Requerimientos de agua para el cultivo de la papa.

Doorembos y Kassam (1979), indican que los requerimientos de agua por el cultivo de la papa, con un ciclo de 120 a 150 días varían de 500 a 700 mm, ET_m (evapotranspiración máxima) lo cual depende casi exclusivamente del clima.

Las variaciones del coeficiente de cultivo (K_c), el cual nos indica la relación entre la ET_m y ET_o (Evapotranspiración de referencia), durante las diferentes etapas del cultivo de la papa, son para la etapa inicial de un período de 20 a 30 días, la variación es de 0.4 a 0.5; para la etapa de desarrollo de un período de 30 a 40 días la variación es de 0.7 a 0.8; durante la etapa media del ciclo en el período de 30 a 60 días, los valores son de 1.05 a 1.2; durante la etapa de formación y crecimiento del tubérculo los valores van de 0.85 a 0.95 en un período de 20 a 35 días y finalmente la maduración, de 0.7 a 0.75.

Comenta *Delis et al. (1964)*, que en trabajos que se realizaron sobre el cultivo de la papa, encontraron que los períodos más sensibles a las deficiencias de agua fueron las etapas de estolonización y el inicio de la tuberización, disminuyéndose considerablemente los rendimientos.

Menciona *Shock et al. (1997)*, que el cultivo de papa debe ser regado cuando la tensión del suelo alcance un valor de 60 Kpa o 0.6 centibares en cantidad suficiente para suministrar el agua perdida por evapotranspiración del cultivo desde el último riego, con tensiómetros a una profundidad de 30 cm.

Comenta *Curwen (1989)*, que la planta de papa bajo condiciones óptimas de crecimiento y humedad, puede reemplazar hasta 4 veces al día su contenido de humedad por medio de la transpiración. Este cultivo es más sensible al déficit hídrico del suelo que el cultivo de trigo, soya o frijol, siendo sus etapas fenológicas más sensibles la formación de estolones y tubérculos.

Jones y Johnson (1958), encontraron que riegos a 0.3 atmósferas de tensión en Alabama, proporcionaron rendimientos más altos en papa que en aquellos donde la tensión fue mayor. Para mantener la tensión debajo de las 0.3 atmósferas, fue necesario regar cada 3.4 días, sequías durante las etapas iniciales de desarrollo de la planta de papa no son tan determinantes en la producción como lo serían en las siguientes etapas de desarrollo.

Mencionan *Doorenbos y Pruitt (1976)*, también sobre los períodos críticos, con respecto a la tensión de humedad del suelo sobre el cultivo de la papa, recomendando niveles altos de humedad después de la formación del tubérculo.

Enfatiza *Covarrubias et al. (1996)*, que en estudios realizados en el estado de Nuevo León y Coahuila (Galeana y Sierra de Arteaga) respectivamente, encontraron que el consumo de agua total en el cultivo de papa a 3 diferentes niveles de humedad del suelo tomados como valores alto, medio y bajo 0.3, 1.0 y 5.0 bar de tensión en el suelo, respectivamente); varía aproximadamente entre 800 a 1000 mm en un ciclo y se determinó que a menor consumo de humedad del suelo se obtienen mayores rendimientos.

2.6.3.- Consumo de agua en el cultivo de la papa para la región de Arteaga, Coah.

Mencionan Covarrubias y Contreras (1988), que la menor disponibilidad de agua para la agricultura es notoria, los productores de papa tienen que perforar a mayor profundidad para poder suministrar agua al cultivo, debido a eso se realizó la determinación del consumo de agua como lámina de riego en variedades de ciclo precoz, intermedio y tardío, para la región de la Sierra de Arteaga, en Coahuila. El trabajo se efectuó durante 1994, 1995 y 1996 en la estación experimental “Sierra de Arteaga” del CESAL-INIFAP. La lámina de riego se determinó aplicando el agua con base a tres niveles de humedad del suelo: 0.3, 1.0 y 3.0 bar. Las variedades estudiadas fueron: ciclo precoz con Atlantic, ciclo intermedio con Alpha y ciclo tardío con Monserrat en 1994 y 1995 o Norteña en 1996. Los resultados indicaron que regando con un mayor nivel de humedad en el suelo se tiene mayor rendimiento comercial de las variedades Atlantic y Alpha, no así en las variedades

Montserrat y Norteña que tienen un rendimiento inconsistente entre los niveles de humedad probados en los tres años de estudio. El consumo de agua como lámina de riego es de 703 a 807 mm en las de ciclo precoz, de 951 a 1088 mm en variedades de ciclo intermedio y de 1000 a 1203 mm para ciclo tardío.

Así mismo Covarrubias y Contreras nos mencionan que, en la región papera de Coahuila y Nuevo León se tiene un nivel estático promedio de 120 m de profundidad y presentan un incremento promedio de 4 m por año, que provoca un mayor gasto en la energía por bombeo, incrementando los costos de producción y un deterioro de los recursos naturales, por lo cual las superficies de cultivo de papa disminuyen debido a que los productores tienden a emigrar a otros estados.

Los resultados del rendimiento comercial que obtuvieron Covarrubias y Contreras, se pueden observar en el Cuadro 1, donde nos explican que 1994 el menor rendimiento se observó para la variedad del ciclo precoz, Atlantic, situación que es de esperarse porque tiene menor tiempo para el desarrollo y llenado del tubérculo, pero esta condición no es similar para las variedades del ciclo intermedio y tardío, donde Alpha tiene mayor rendimiento que Montserrat.

Cuadro 2.1. Rendimiento comercial (ton/ha) de variedades de papa bajo tres programas de riego en función a la humedad del suelo. (CESAL-INIFAP 1998).

Nivel de humedad del suelo (bar)	1994			1995	1996		
	Montserrat	Alpha	Atlantic	Montserrat	Atlantic	Alpha	Norteña
0.3	-	-	-	26	-	-	-
1.0	42	49	30	28	20	25	26
3.0	38	43	29	30	18	22	26

Así mismo, estos mismos autores nos presentan en el Cuadro 2 el consumo de agua por las variedades, donde nos dicen que es mayor en las de ciclo tardío y disminuye junto con el ciclo vegetativo.

Cuadro 2.2.- Consumo de agua como lámina de riego (mm)de variedades de papa bajo tres programas en función a la humedad del suelo. (CESAL-INIFAP 1998).

Nivel de humedad del suelo (bar)	1994			1995	1996		
	Montserrat	Alpha	Atlantic	Montserrat	Atlantic	Alpha	Norteña
0.3	-	-	-	1011	-	-	-
1.0	1000	951	783	913	807	1088	1203
3.0	724	690	570	804	769	1044	1157

2.6.4.- Nutrición y manejo del agua en papa en el Valle del Fuerte Sinaloa.

Señala Mendoza (1998), que durante tres ciclos agrícolas se condujo un experimento en el cultivo de papa bajo condiciones de campo, donde se evaluó la nutrición del cultivo y el manejo de agua de riego por el método superficial o de gravedad. Se evaluó la producción de materia seca de diferentes órganos de la papa y su concentración nutrimental, así como tres calendarios de riego, cada 8, 11 y 14 días.

Los resultados indicaron que el rendimiento interno (tubérculos, parte aérea y raíz) fue de 2 por ciento para nitrógeno, 0.27 por ciento para fósforo y 3.48 por ciento para potasio, lo cual equivale a tener una demanda de 5.0, 0.68 y 8.6 Kg de nutrimento de N-P-K respectivamente por tonelada de tubérculo producida.

Así mismo nos comentan que las láminas de riego empleadas en los riegos de auxilio fueron similares, siendo en promedio de 28.3, 29.7 y 28.6 cm para los calendarios de riego con intervalos de 8, 11 y 14 días respectivamente, en estos los riegos de auxilio se efectuaron con humedad aprovechable de 72, 61 y 44 por ciento respectivamente. La lámina promedio de cada riego de auxilio fue de 3.6, 5.3 y 6.2 cm para los calendarios de 8, 11 y 14 días. El mayor rendimiento de primera categoría se tuvo con el calendario de 8 días y el peor con el de 14 días, disminuyendo la producción por cada día a partir del calendario de riego de cada 8 días en promedio de 616 kg/ha; cuando el tamaño grande no es el objetivo de la producción la mejor alternativa fue el riego cada 11 días con el cual no se afectó la producción comercial ni total.

Este mismo autor señala que los rendimientos de papa fueron afectados en mayor grado por la aplicación de nitrógeno, en menor grado por fósforo y nulo efecto por potasio en cualquier categoría en que se clasificó la papa. Las concentraciones de N y P fueron diferentes en las etapas fenológicas y órgano analizado, siendo mayor la concentración al inicio del desarrollo vegetativo. Hubo alta correlación entre la concentración de N y P con los rendimientos de papa de primera categoría y comercial, así como alta correlación con las dosis aplicadas al suelo de N y P. La aplicación de potasio al suelo no afectó la concentración de este en la planta.

Las láminas de riego en los tres ciclos fueron de 28.3, 29.7 y 28.6 cm para los calendarios de 8, 11 y 14 días respectivamente, correspondiendo humedad aprovechable promedio de 72, 61 y 44 por ciento para los tratamientos antes citados, con eficiencia de riego de 60 por ciento y las láminas aplicadas en cada riego de auxilio fueron en promedio de 3.6, 5.3 y 6.2 cm.

2.6.5.- Clasificación taxonómica de la papa.

Reino.....Vegetal.

División.....Embryophyta.

Clase.....Dicotiledoneae.

Orden.....Tubiflorales.

Familia.....Solanaceae.

Tribu.....Solaneae.

Genero.....Solanum.

Especie.....tuberosum.

Cuadro 2.3. Comparación de algunos estados con su superficie y rendimiento en el cultivo de papa.

ESTADO.	SUPERFICIE (ha).	RENDIMIENTO (ton/ha).
Puebla	22,756	6.8
Estado de México	11,102	13.0
Veracruz	9,935	11.3
Chihuahua	6,625	10.7
Sinaloa	4,446	21.0
Tlaxcala	2,161	13.2
Michoacán	2,084	16.7
Baja California Norte	1,683	26.0
Sonora	1,583	22.7
Guanajuato	1,294	17.0
Nuevo León	1,167	30.2
Coahuila	1,144	31.4

III.- MATERIALES Y METODOS.

El se realizó en el municipio de Artega, Coahuila y Galeana, Nuevo León, donde se encuentra la mayor zona papera de Coahuila y Nuevo León. En el cuadro 1 se muestra la localización exacta de los estudios de evaluación.

Cuadro 3.1, localización geográfica de los sitios en donde se encuentran cada uno de los sistemas de riego.

SISTEMA	MARCA	LOCALIDAD	COORDENADAS		ALTITUD
			LATITUD	LONGITUD	
Pivote central	Reinke	El cristal.	24°50'32"N	100°24'22"W	1883
Pivote central	Valley	CESAL.	25°16'00"N	100°46'24"W	2020
Side-roll	Zimmatic	San Francisco	25°23'30"N	100°36'40"W	2246
Semiportátil	Wade Rain	El Tunal	25°25'11"N	100°37'43"W	2345
Goteo (cintilla)	T-Tape	El Ranchito	25°21'45"N	100°38'37"W	2213

3.2.- Evaluación de los sistemas.

La evaluación de cada uno de los sistemas se realizo con la finalidad de conocer las condiciones actuales de los diferentes sistemas, además para tener un panorama un poco más amplio del funcionamiento y aplicación del agua de riego en el cultivo con cada uno de estos sistemas.

3.3.- Determinación de la presión de los sistema de aspersión.

Es recomendable conocer el manejo de los manómetros ya que para la evaluación de un determinado sistema de riego es de gran utilidad.

La determinación de la presión del sistema se realizó con la ayuda de un manometro Borden con aditamento pitot, se insertó en la boquilla procurando tener las menores fugas posibles para medir adecuadamente la presión; esto se hizo en cada uno de los emisores o boquillas rociadoras, se observó además el color de la boquilla, el número y tamaño de esta, estos datos se registraron en un formato para después realizar la evaluación.

3.4.- Aforo de las boquillas de cada sistema.

Esta prueba se realizó colocando exactamente en la salida del emisor una manguera aproximadamente de una longitud de 3.0 m y un diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada, con la ayuda de un cronometro se determinó el tiempo de llenado de un recipiente de volumen conocido en galones o en litros, obteniendo los resultados en unidades de gasto,(litros/segundo, litros /minuto, galones/minuto, etc.).

Al igual que en la determinación de la presión hay que tener cuidado de registrar el color, el tamaño y numero de la boquilla con la cual se esta trabajando.

3.5.- Determinación de la velocidad de avance para pivote central.

La velocidad de avance del sistema es determinada por la velocidad de avance de la última torre con respecto al porcentaje de la velocidad registrada en el *TIMER* del tablero de control que tiene el sistema, y que se encuentra en el punto pivote, ésta se determina como porcentaje de cada velocidad máxima fijada en el tablero de control establecida por la compañía que haya construido el sistema.

Esta prueba se realiza cuando el sistema se encuentra en funcionamiento o sea regando; se pone una estaca fija al inicio de donde se va a hacer la medición y se toma una distancia lineal de aproximadamente de 5-10 m, luego se pone a esta distancia una estaca final; enseguida con un cronometro se toma el tiempo de recorrido con respecto a la distancia conocida, se recomienda hacer varias repeticiones para obtener un dato promedio.

El cálculo de la velocidad de avance sirve para poder determinar el tiempo de giro ó de recorrido de la circunferencia por la ultima torre, como lo expresa la siguiente ecuación.

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde :

V = Velocidad de avance por el sistema (m/min)

d = Distancia de recorrido en un tiempo (m)

t = Tiempo de avance por el sistema (min)

3.5.- Determinación de la circunferencia recorrida por el pivote central.

Se debe de realizar también el cálculo de la circunferencia recorrida por el pivote central, así mismo el tiempo de recorrido por el sistema en el área irrigada. Esta circunferencia se determina por la ecuación siguiente:

$$C = 2 \pi r$$

Donde :

C = Circunferencia de recorrido por la última torre (m)

r = Distancia radial desde el punto pivote a la última torre. (m)

Este tiempo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{C}{60 * V}$$

Donde :

T = Tiempo de recorrido de la circunferencia en (hr)

C = Circunferencia sobre la ruta de la última torre (m)

V = Velocidad de la última torre (m)

3.6.- Prueba de pluviometría

Para la evaluación de los sistemas de riego por aspersión es esencial hacer una prueba de pluviometría que se realizó con la finalidad de conocer la distribución de las lluvias en toda la lateral, haciéndose uso de un método sencillo como lo es la prueba de los botes colectores a lo largo del sistema, y para esto se siguieron los siguientes pasos:

1) En un campo donde se tiene un cultivo de poca altura (en este caso papa), o no se tiene ningún cultivo establecido, se debe de probar el sistema cuando la lateral está en una posición donde las diferencias de elevación son mínimas, o sobre el camino de acceso a la torre pivote.

2) Para el pivote central, se colocaron los envases a lo largo de la línea radial comenzando por el punto pivote, en esta se colocan a una distancia aproximadamente entre 4.5 y 6.0 m entre cada uno de los botes colectores, se debe de tener cuidado de que los colectores no queden en un área donde puedan ser pisados por las ruedas del pivote; para los sistemas laterales semiportátil y side-roll, la colocación de los botes colectores se hizo aproximadamente a $\frac{1}{4}$ de la longitud de la lateral, donde es mas probable que ocurra la presión promedio, y se colocan a una separación de 3x3 m., arreglándolos en forma de cuadrícula por uno y otro lado de la tubería la cual debe de estar en operación.

3) Se registraron las condiciones climáticas, tales como la dirección del viento, la temperatura ambiental, la evapotranspiración y la dirección de la lateral.

4) Una vez que haya pasado por la línea radial de los botes colectores en el caso del pivote central, y transcurrido el tiempo de prueba en los demás sistemas, se prosigue a medir los volúmenes colectados por los botes, y se registran en los formatos 3.7 para aspersión lateral semiportátil y Side-roll y 3.8 para pivote central.

5) Con los datos obtenidos en campo se determinaron la uniformidad de distribución del agua de riego por cada uno de los sistemas, en este caso se hizo factible utilizar el método de Wilcox y Swailes (1947) y el método de Karmeli y Keller (1975) y Hoffman *et. al.*(1992), los cuales se enfocan principalmente en la utilización del promedio de los volúmenes observados así como la desviación estándar de los mismos; se determina además la tasa de precipitación para cada sistema.

3.7.- Formato recomendado para el registro de datos en la evaluación de sistemas de riego por aspersión lateral semiportátil y side-roll.

Localidad._____ Observador._____

Fecha. _____ Número de campo._____

Hora de inicio._____ Hora de terminación._____

Cultivo._____ Superficie._____

Datos del aspersor.

Marca._____ Modelo._____ No. boquillas._____

Diámetro de boquilla._____ Gasto nominal._____

Datos de las líneas laterales.

Numero de laterales._____ No. aspersores por lateral._____

Espaciamiento entre aspersores._____ Altura de los elevadores._____

Material de la tubería._____

Intervalo de tiempo de mantenimiento._____

Condiciones en que se encuentra._____

Datos de la línea principal.

No. de válvulas hidrante._____ Espaciamiento entre hidrantes._____

Longitud y diámetros de la tubería._____

Intervalo de tiempo de mantenimiento._____

Condiciones en que se encuentra._____

Datos del equipo de bombeo.

Marca._____ Modelo._____ Serie._____

Tipo de bomba._____ Tipo de motor._____

Potencia._____ Capacidad de descarga._____

Información del agua.

Fuente de abastecimiento._____

Gasto disponible._____ Calidad del agua._____

Calendarización de distribución._____

Observaciones.

3.8.- Formato recomendado para el registro de datos en la evaluación de sistemas de riego de pivote central.

Localidad. _____ Observador. _____

Fecha. _____ Número de campo. _____

Hora de inicio. _____ Hora de terminación. _____

Cultivo. _____ Superficie. _____

Datos del sistema.

Marca. _____ Longitud. _____ No. torres. _____

Material de la tubería. _____ Diámetro. _____

Separación entre torres. _____ Presión en el punto pivote. _____

Presión al final de la lateral. _____ Tipo de impulsor del equipo. _____

Datos de los emisores.

Marca. _____ Color. _____ Tamaño. _____

Número. _____ Diámetro. _____ Presión. _____

Datos climáticos.

Temperatura._____ Velocidad del viento._____

Evapotranspiración._____ Dirección de la lateral._____

Datos del equipo de bombeo.

Marca._____ Modelo._____ Serie._____

Tipo de bomba._____ Tipo de motor._____

Potencia._____ Capacidad de descarga._____

Información del agua.

Fuente de abastecimiento._____

Gasto disponible._____ Calidad del agua._____

Calendarización de distribución._____

Información general.

Intervalo de tiempo de mantenimiento._____

Condiciones en que se encuentra._____

Observaciones.

3.9.- Metodología para la evaluación de los sistemas de riego por goteo.

Para la evaluación de un sistema de riego por goteo (cintilla) se hace necesario tener en cuenta así como llevar acabo cada uno de los siguientes pasos:

1. Se puede seleccionar una o varias laterales que nos representen la sección que se encuentra bajo riego y anotar su diámetro, longitud, espaciamiento entre laterales, y goteros y determinar la pendiente que existe donde permanecen las tuberías.
2. Marcar los goteros que se seleccionen para la prueba, por lo regular son de 10-20 goteros los cuales se encuentran sobre la longitud de las laterales.
3. Medir las presiones y gastos de los emisores, el gasto por gotero se afora volumétricamente captando la descarga en una probeta graduada, aproximadamente durante un minuto y se puede repetir el aforo si es necesario. Cuando llegue a existir mas de un gotero por cada sitio de emisión como es el caso de la cintilla, se afora el grupo de goteros existentes y se reporta el promedio de estos, así si se encuentra cada 30 cm se aforan tres goteros que se encuentren en un metro lineal y el aforo se representa en litros por hora por metro.
4. Medir el diámetro de cobertura de los arboles o plantas regadas por el sistema, tomar las presiones a la entrada de la línea de distribución así mismo en sus extremos, es necesario dejar que el sistema funcione durante el tiempo de operación normal.
5. Tomar datos del formato 3.10 además del cabezal de descarga, incluyendo la bomba; es de suma importancia tener un croquis que muestre la ubicación de

cada uno de los componentes del sistema tales como los filtros, inyectoros, medidores de flujo, reguladores de presión, válvulas y la dirección del flujo.

6. Analizar la información como a continuación se indica y estructurar las recomendaciones pertinentes y Transformar el gasto de los goteros a lámina de agua, entregada al cultivo por hora, durante el tiempo de operación y ordenar las laminas de mayor a menor
 - a) Graficar los gastos descargados por el gotero a lo largo de las laterales y trazar una línea que describa el perfil promedio de flujo.
 - b) Evaluar la variación de presiones a lo largo de la tubería originadas por la fricción, taponamiento parcial y desnivel topográfico.
 - c) Determinar la uniformidad de distribución del agua de riego con las ecuaciones de Wilcox–Swales y la de Karmeli–Keller.

3.10.- Formato recomendado para el registro de datos en la evaluación de sistemas de riego por goteo.

Localidad. _____ Observador. _____

Fecha. _____ Número de campo. _____

Hora de inicio. _____ Hora de terminación. _____

Cultivo. _____ Variedad. _____ Edad. _____

Superficie. _____ Profundidad de raíces. _____

Datos del suelo.

Textura del suelo._____ Humedad disponible._____

Datos del riego.

Duración._____ Frecuencia._____

Datos de los filtros.

Marca._____ Modelo._____ Tipo._____

Presión de entrada._____ Presión de salida._____ Perdida. _____

Datos de los emisores.

Fabricante._____ Tipo._____ Espaciamiento._____

Numero de emisores por planta._____

Datos de la cintilla.

Marca._____ Modelo._____ Grosor._____

Diámetro._____ Material._____ Longitud._____

Espaciamiento._____

Observaciones.

3.11.- Determinación de la uniformidad de distribución del agua de riego.

a) Determinación de la desviación estándar.

$$S = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)} \right)^{1/2}$$

Donde :

S = Desviación estándar (mm)

X_i = Lluvia colectada en el bote "i" (mm)

X = Valor promedio de las lluvias colectadas (mm)

n = Número de botes colectores utilizados en la prueba.

b) Determinación de la lámina promedio.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde :

\bar{X} = Lámina promedio colectada en cada prueba (mm)

X = Lámina colectada en el bote (mm)

n = Número de botes colectores.

c) Determinación de la uniformidad de distribución.

- Ecuación de Wilcox - Swailes (1947).

$$\text{UDW} = \left(1 - \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) \right) \times 100$$

Donde :

UDW = Uniformidad de distribución de Wilcox (%)

S = Desviación estándar.

\bar{X} = Promedio de los volúmenes colectados (cm³)

- Ecuación de Karmeli - Keller (1975).

$$\text{UDK} = \left(\frac{q_{25\%}}{q_{\text{med.}}} \right) \times 100$$

Donde :

UDK = Uniformidad de distribución de Karmeli (%)

q_{25%} = Es la media del 25% de los valores mas bajos de los caudales o volúmenes de agua recibidos por las plantas, de todas las medidas realizadas en el campo (cm³)

q_{med} = Es la media de todos los caudales o volúmenes (cm³) obtenidos en campo.

Cuadro 3.2. Clasificación de los rangos de uniformidades de distribución y su grado de aceptabilidad. (Tomado de las memorias, R. Martínez E. IX congreso nacional de irrigación, Culiacán, Sin. Méx. 1999)

GRADO DE ACEPTABILIDAD	UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN (%)
EXCELENTE	100-94
BUENO	87-81
NORMAL	75-68
MALA	62-56
INACEPTABLE	< 50

Cuadro 3.3.- Eficiencias máximas de distribución del agua en diferentes sistemas de riego.

SISTEMA.	EFICIENCIA (%)
COMPUERTAS	65
GOTEO	90
CINTA	92
MICROASPERSIÓN	85
ASPERSION	70
SIDE-ROLL	75
AVANCE FRONTAL	76
PIVOTE CENTRAL	76
SURCOS O MELGAS	50 ó MENOS

3.12. Material utilizado para la evaluación.

- Tensiómetros.
- Sistema de riego por aspersión de pivote central.
- Sistema de riego por aspersión lateral semiportátil.
- Sistema de riego por aspersión de movimiento alto (side-roll o lateral rodante).
- Sistema de riego por goteo de cintilla.
- 1-3 Manómetros.
- 1 Cinta métrica.
- 100-150 Botes recolectores.
- 1 Cronómetro.
- Libreta de notas.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1.- La distribución de las tasas de precipitación en el pivote central de la marca

Reinke. (Rancho El Cristal.)

Los resultados de la evaluación del pivote central de la marca Reinke, el cual se encuentra ubicado en el rancho el Cristal, se muestran a continuación, en este se encontró una lámina de riego promedio de 1.3 cm con una velocidad de la torre de 2.75 m/minuto a un 100 porciento de la velocidad. En los volúmenes colectados se obtuvo una media de 68.98 cc, así mismo una desviación estándar de 35.95 cc (Wilcox) y en el 25 porciento de los volúmenes mas bajos se encontró una media de 28.52 cc. La uniformidad de distribución (UD) fue de **47.88** porciento para el método de Wilcox-Swales y **41.34** porciento para el método de Karmeli-Keller, lo cual refleja una uniformidad inaceptable de acuerdo con los rangos presentados en el Cuadro 3.2, de lo cual podemos deducir que tal vez los rociadores no son los adecuados o se encuentran deteriorados, para sistemas de pivote central la UD. Es del 76 porciento y en esta evaluación fue menor de lo que corresponde a este sistema. En esta prueba se observó que la menor uniformidad de riego se presentó a partir de los 370 m del punto pivote probablemente debido a una velocidad del viento promedio de 12 km/hr durante la evaluación (Figura 1).

La presión promedio a lo largo de la línea pivote durante el estudio fue de 45 lb/in² (PSI), medida en el primer rociador después de cada torre y presentó una variabilidad del 8.0 por ciento, donde para algunos diseñadores solo debe ser del 5 por ciento y para otros hasta del 10 por ciento (Kincaid y Heermann, 1970)

4.2.- Velocidad de infiltración.

Como complemento para determinar la respuesta de la lámina de riego en la humedad del suelo se determinó la velocidad de infiltración al momento de evaluar el pivote central en la localidad del Cristal, esta se muestra en la figura 2, donde después de 15 minutos se logra una infiltración básica promedio de 2.87 cm/hr considerada como baja, situación que también influye en los niveles de humedad del suelo, lo cual nos provoca un nivel considerable de encharcamiento y lo cual puede provocar bajos rendimientos para el cultivo.

4.3.- Distribución de las tasas de precipitación en el pivote central de la marca Valley.

(Campo experimental Saltillo, Arteaga, Coah.)

Para la localidad del centro experimental “Saltillo” en la Sierra de Arteaga donde se evaluó el pivote de la marca Valley, se encontró que la lámina de riego promedio fue de 2.6 cm, una media de 90.90 cc, así como una desviación estándar de 30.24 cc (Wilcox), y en el 25 por ciento de los volúmenes mas bajos se encontró una media de 59.2 cc (Karmeli), para obtener una uniformidad de distribución (UD) del **70.8** por ciento mediante el método de Wilcox y un **66.49** por ciento mediante el método de Karmeli, condición que se considera

adecuada para este tipo de sistemas de riego, pero menor a la máxima observada para estos sistemas que es del 76 por ciento cuando el sistema es nuevo.

Esta situación se debe a que el equipo está en su segundo año de instalación y los emisores no muestran deterioro, o porque el diseño de fábrica cumple mejor los requisitos de los emisores. La distribución de las tasas de aspersión del sistema se pueden ver en la figura número 4.

4.4.- Distribución de las tasas de precipitación en el sistema Side-roll.

Para el Side-roll de la marca Zimmatic ubicado en el rancho San Francisco, Arteaga, N.L. se observó una lámina promedio aplicada por el sistema de 0.58 cm, así mismo una media de 23.46 cc y una desviación estándar de 2.89 cc (Karmeli), y en el 25 por ciento de los volúmenes más bajos (Wilcox) se obtuvo una media de 21.0 cc. La uniformidad de distribución que se obtuvo mediante los métodos de Wilcox-Swales y Karmeli-Keller fue de 87.68 por ciento y 87.39 por ciento respectivamente, para lo cual podemos decir que el sistema está funcionando muy bien de acuerdo a los rangos proporcionados en el cuadro 3.2, y es mayor a los valores máximos observados en el cuadro 3.3, situación nueva observada en este estudio. La distribución de las láminas a lo largo de la línea de aspersión, se pueden ver en la figura número 4.

4.5.- Distribución de las tasas de precipitación en el sistema lateral semiportátil.

En el sistema de riego lateral semiportátil se puede observar el comportamiento de las tasas de precipitación sobre el traslape seleccionado en la figura número 5, en esta se observó una lámina promedio de 2.14 cm, así mismo una media de los volúmenes colectados de 86.6 cc y una desviación estándar de 7.95 cc (Wilcox), y en el 25 por ciento de los volúmenes mas bajos se observo una media de 75.83 cc y se obtuvo una uniformidad de distribución mediante los métodos de Wilcox-Swales y Karmeli-Keller de **90.82** por ciento y **87.57** por ciento respectivamente, para lo cual podemos decir que el funcionamiento del sistema es muy adecuado de acuerdo a los rangos proporcionados en el cuadro 3.2, en estos resultados se refleja tal vez el mantenimiento y buen manejo que se le da al sistema, así como la calidad de los emisores, respecto a la máxima uniformidad del sistema reportada en el cuadro 3.3, este valor puede deberse a las nuevas tecnologías que no habían sido evaluadas en la región.

4.6.- Distribución de las flujos de emisión en el sistema de goteo.

En este sistema se obtuvo una lámina promedio de 7.3 cm, así mismo se observo una media de 295.1 cc y una desviación estándar de 90.68 cc los volúmenes aplicados por el sistema (Wilcox), y en el 25 por ciento de los volúmenes mas bajos se observo una media de 163.4 cc (Karmeli), con los cuales se obtuvo una uniformidad de distribución de **69.27** por ciento y **55.37** por ciento respectivamente, esto resultados no son muy buenos ya que tal

vez las fugas que tenía la línea de conducción del sistema provocó que bajara el rendimiento de este.

En el riego por cintilla el productor por ahorrar en los insumos reutiliza la cinta hasta por dos ciclos y como en la papa para la cosecha hay que sacarla, la enrollan nuevamente en el carrete y la reutilizan en el siguiente ciclo. Además esta situación crea un problema porque el productor por no invertir un costo aproximado a \$3,500 por hectárea en la compra de cintilla nueva, puede tener pérdidas mayores en la producción.

Otra causa es el sistema de filtración que al dejar pasar partículas de mayor diámetro ocasionando taponamientos que se representan en la uniformidad de distribución del agua.

Cuadro No. 4.1. Resultados de la uniformidad de distribución mediante el método de Wilcox-Swales.

LOCALIDAD	SISTEMA	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN. UDW (%)
El cristal.	Pivote central	68.8	35.95	47.88
CESAL.	Pivote central	92.90	30.24	70.8
San Francisco	Side-roll	23.46	2.89	87.68
El Tunal	Semiportátil	86.6	7.95	90.82
El Ranchito	Goteo (cintilla)	295.1	90.68	69.27

Cuadro No. 4.2. Resultados de la uniformidad de distribución mediante el método de Karmeli-Keller.

LOCALIDAD	SISTEMA	MEDIA	UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN. UDK (%)
El cristal.	Pivote central	28.52	41.45
CESAL.	Pivote central	59.2	65.49
San Francisco	Side-roll	21.0	87.39
El Tunal	Semiportátil	75.83	87.57
El Ranchito	Goteo (cintilla)	163.4	55.37

Figura 4.1. Distribución de las tasas de aspersión a lo largo de la línea del pivote central ubicado en el rancho el Cristal, Galeana, N.L.

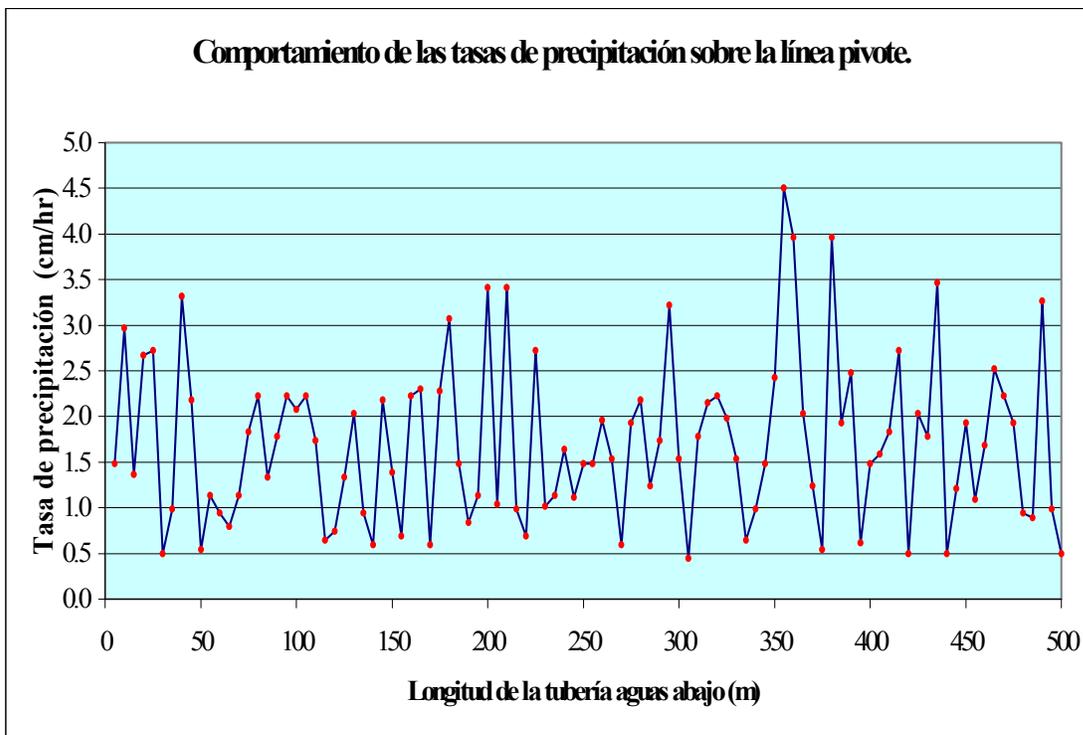


Figura 4.2. Velocidad de infiltración del agua en el suelo, rancho El Cristal, Galeana, N.L.

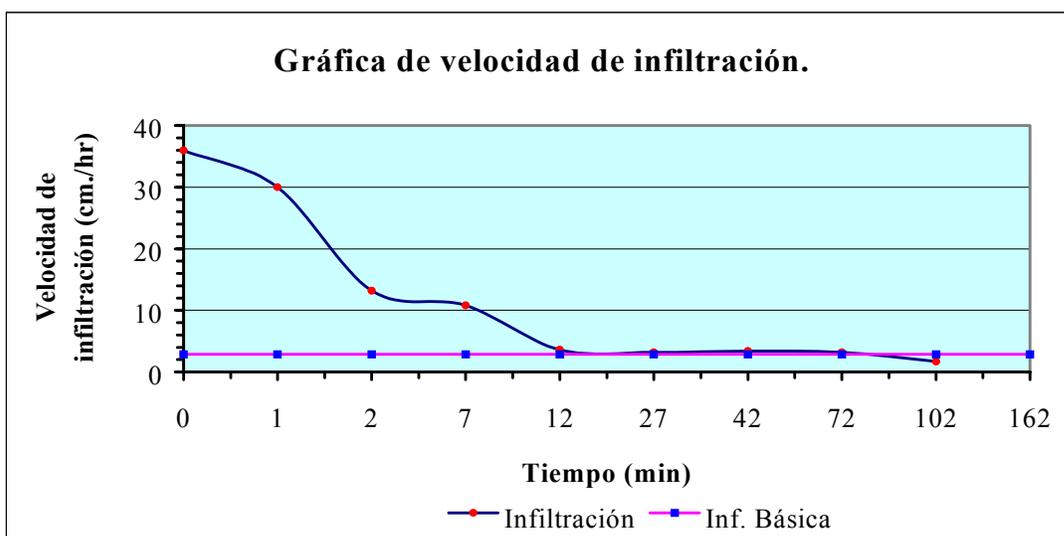


Figura 4.3, Distribución de las tasas de precipitación a lo largo de la línea del pivote central ubicado en la localidad Sierra de Arteaga, Campo Experimental “Saltillo” (CESAL) Arteaga, Coah.

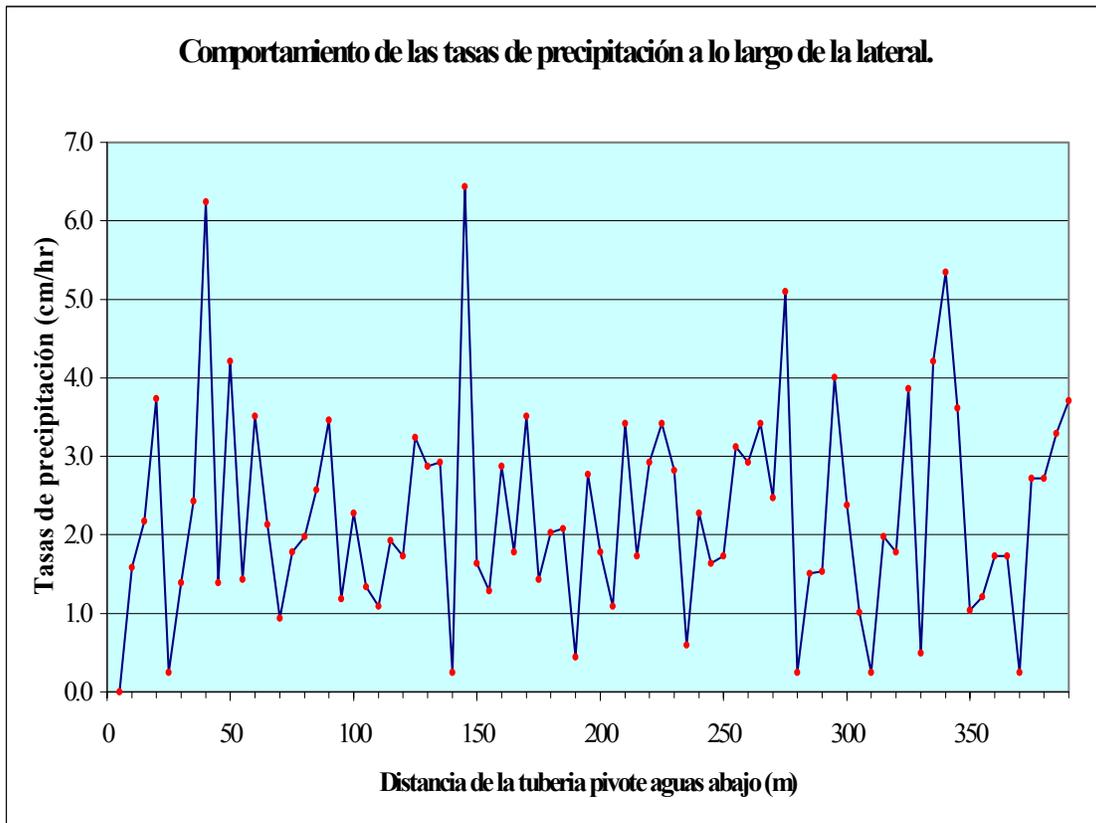


Figura 4.4, Distribución de las tasas de precipitación a lo largo de la línea de aspersión del sistema side-roll. (Rancho San Francisco), Arteaga, Coah.

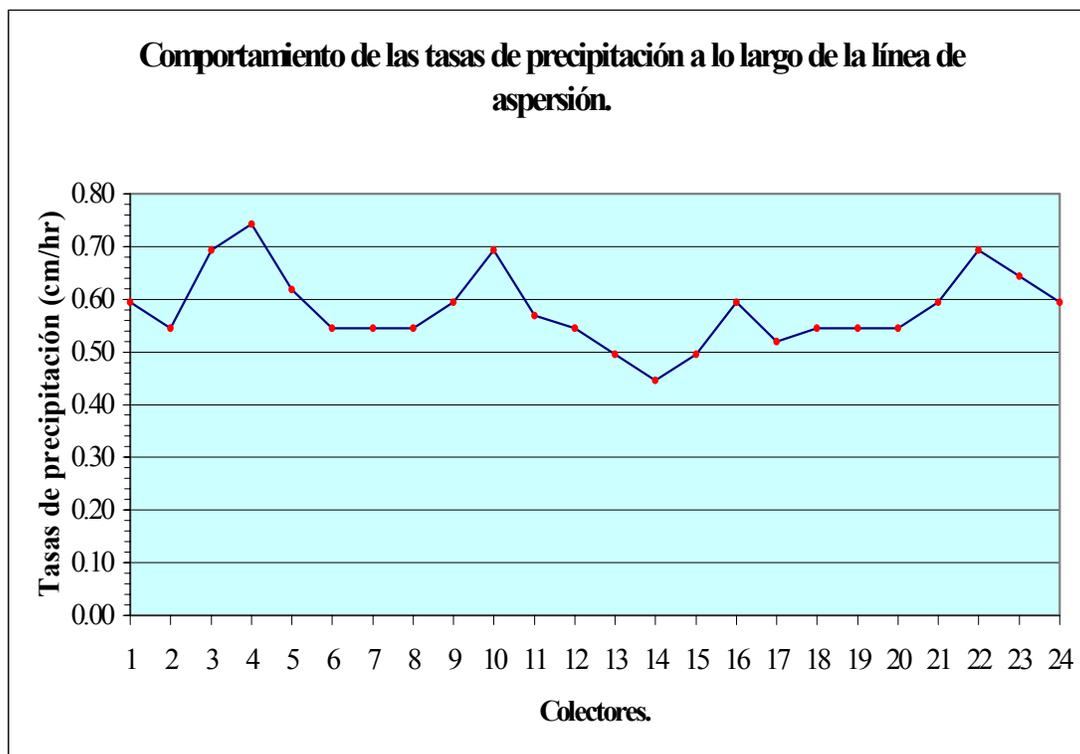


Figura 4.5, Distribución de las tasas de aspersión a lo largo de la línea de aspersión del sistema lateral semiportátil, El Tunal, Artega Coah.

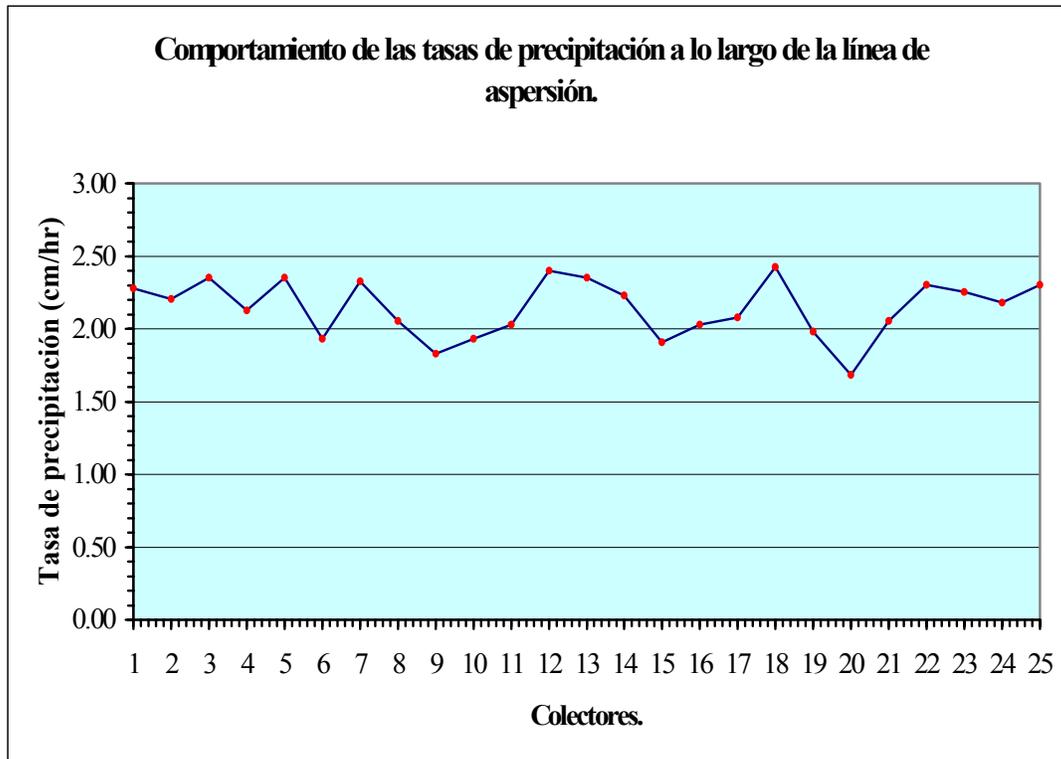
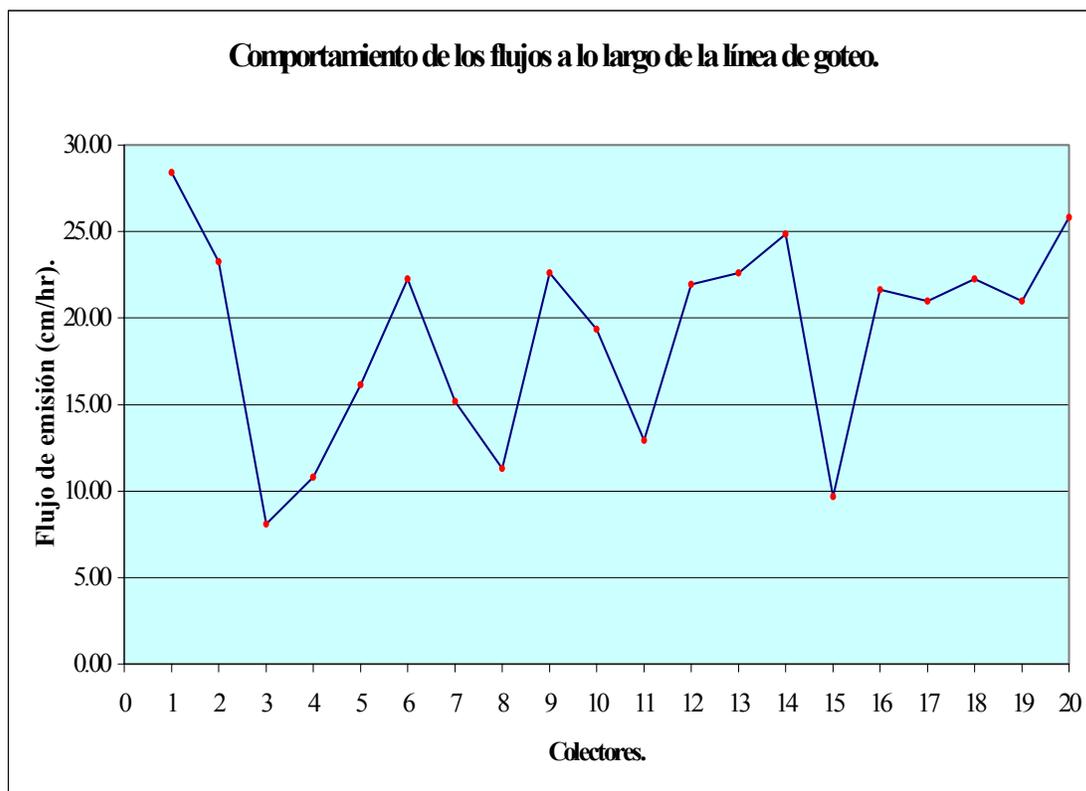


Figura 4.6, Comportamiento de los flujos de emisión lo largo de la línea de goteo del sistema ubicado en El Ranchito, Artega, Coah.



En los sistemas de riego por goteo del tipo cintilla el gasto se representa en LPH/m, pero para fines de uniformizar la información se representa en cm/h como flujo de emisión.

CONCLUSIONES.

De acuerdo a los análisis realizados para cada uno de los sistemas y observando cada una de las condiciones de estos, pudimos llegar a determinar las siguientes conclusiones:

- El funcionamiento del pivote central de la marca Reinke ubicado en el rancho El cristal, esta funcionando muy mal de acuerdo a lo que se espera que este tipo de sistemas funcione, tomando en cuenta los rangos de aceptabilidad proporcionados en el Cuadro 3.2, esto debido a que los rociadores o boquillas no son los adecuados o se encuentran deteriorados ya que el tiempo de uso de este sistema es considerable.
- El funcionamiento del pivote de la marca Valley ubicado en la Sierra de Arteaga Campo Experimental “Saltillo”, en Arteaga, Coahuila, se encuentra funcionando adecuadamente de acuerdo a los rangos que se establecen para este tipo de sistemas, debido a que los emisores son los adecuados o cumplen bien con su diseño, además de que solo tiene dos años y medio de funcionamiento.
- Para este sistema tipo side-roll, podemos concluir que su funcionamiento es muy bueno en comparación con los otros sistemas, aunque se observó al igual que en el pivote central, que las ruedas dañan la superficie del cultivo al pasar por los surcos, aunque este detalle también se considera no muy considerable.

- El sistema lateral semiportátil también está funcionando adecuadamente ya que también tiene poco tiempo de funcionamiento y sus aspersores son muy eficientes, lo cual nos ayuda en la buena distribución del agua y así conseguir mejores rendimientos.
- La uniformidad en este sistema de riego por goteo de cintilla se redujo mucho, debido a que la línea de conducción se encontraba con muchas fugas, lo cual trajo como consecuencia que la presión en el sistema bajara considerablemente reflejándonos uniformidades bajas, aunque el sistema no tiene mucho tiempo de estar trabajando este tipo de detalles reducen el rendimiento del sistema. Además debe contar con un sistema de filtración adecuado para sólidos en suspensión y partículas finas.

RECOMENDACIONES

- Ajustar las boquillas del pivote central ubicado en el rancho El cristal, esto para observar mediante otra evaluación si realmente es lo que esta provocando una baja de eficiencia.
- Ofrecer mayor mantenimiento a cada uno de los sistemas, ya que si se deja un considerable tiempo sin dar mantenimiento es posible que las boquillas o emisores de cada uno de estos se tapen o dañen por mal manejo.
- Revisar bien todas y cada una de las líneas de conducción, principalmente la del sistema de riego por goteo, ya que como se vio, pueden tener muchas fugas que en ocasiones el operador no detecta y sin esperarlo obtiene bajos rendimientos por mala distribución del agua.
- Es recomendable específicamente en el cultivo de la papa, usar sistemas de riego de pivote central que aunque requieren de gran desembolso inicial, con un buen manejo de estos y con este tipo de cultivo se pueden obtener altos rendimientos.

BIBLIOGRAFIA.

- Aarstad, John S. and David E. Miller. 1973. Soil management to reduce runoff under center pivot sprinkler Systems., Journal of Soil and water conservation, paper No. 3903., pag. 171-173.
- ACERCA. 1998. Claridades agropecuarias. Ed. No. 57. ACERCA, México.
- Ben- Hasher, Jiftah and James E. Ayards. 1990. Deep seepage under nonuniform sprinkler Irrigation II. Field data., Journal of Irrigation and Drainage Engineering., paper No. 24759., Vol. 116 No. 3.
- Berlijn, J. D., y Browner C. 1991. Riego y drenaje. Manuales para educacion agropecuaria. SEP. Trillas. México.
- Bernuth, R.D. Von and J.R. Guilley. 1995. Evaluation of center pivot application packages considering droplet indexed of infiltration reductions. Transactions of the ASAE.
- Boswell M. 1990. Microirrigation design manual. James Hardie Irrigation, Inc. El cajon, CA. USA.
- Burt C., K, O. Connor and T. Ruehr. 1995. Fertigation. Irrigation Training and Research Center. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, CA., USA.
- Covarrubias R, J. M; Contreras, J. F y García, G. S. J. 1996. Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de papa en la Sierra de Arteaga. Resultados de Investigación del programa de papa. Inifap, Saltillo, Coahuila. Pp 27-32.
- Covarrubias R., J. M. 1998. Consumo de agua en el cultivo de la papa para la región de la Sierra de Artega, Coah. VIII. Congreso Nacional de Productores de Papa. Toluca, Edo. de México.
- Covarrubias R., J. M. 1998. Consumo del agua en el cultivo de la papa para la región de la Sierra de Arteaga, Coahuila. Memorias del VIII congreso Nacional de Productores de Papa y II Simposium internacional de la Papa. Toluca, México.
- Covarrubias R., J. M. 1998. Incremento en el uso y manejo del agua mediante la investigación con sistemas de riego presurizados. Memorias del Congreso Estatal de la Confederación Agronómica en Coahuila. Pp. 45-50.
- Cullen, J. C. y Wilson, A. R. 1971. Producción general de patatas y su almacenamiento. Primera edición. Ed. Acribia, España.

- Curwen, D. 1989. Water management. In potato Health management. Edited by R. Rowe. The American phytopathological Society. Pp. 67-75.
- Chapin, R. D. 1990. Turbulent flow drip Irrigation tubing/tapes. XI International congress on the use of plastics in agriculture, New Delhi, India.
- Delis, B.R., I. Ponce and R. Tirzo. 1964. Studies on water requirement of horticultural crops. Influence of drought at different growth stages of potato on the tuber's yield. Agron. J. 56: 377-381.
- Doorembos, J. And A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. F.A.O. Irrigation and Drainage paper . 33. Roma.
- Doorembos, J. y. W.O. Pruitt. 1976. Las necesidades de agua en los cultivos. F.A.O. Riego y Drenaje. 24. Roma.
- Edling, R.J. 1979. Variation of center pivot operation with field slope. Transaction of the ASAE. Paper No. 558.
- Fipps, G. 1990. Six years of LEPA in Texas-Less Water, highers yields. Vision of the future. Proceeding of the Third National Irrigation Synposium. Phoenix, Arizona, USA.
- Fipps, G. y Leon New. Proceeding 1990. LEPA conversion & Management ., from South Texas Irrigation Conference Texas Agricultural Extension Service.
- García C., I. y Briones S. G. 1997. Sistemas de riego por aspersión y goteo. Editorial trillas. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- García C., I. 1980. Sistemas de riego presurizados. Depto. de riego y drenaje. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah.
- García G. E. 1997. Evaluación de 19 clones de papa (S. t. L) en el ejido El Poleo, Huachichil, Arteaga, Coahuila, UAAAN. México.
- Goldberg, Dan., Gornat, Baruch and Rimon, D. 1976. Drip Irrigation, design and Agricultural practices. Drip Irrigation scientific publications, Kfar Shmaryahu, Israel.
- Gardner, Den. 1983. Idaho Irrigators Hope Straightlines, pivots Can Aid Efficiency., Irrigation Ege.
- Guerrero, P. G. 1991. Irrigación superficial y acolchado plástico en manzano. Tesis licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Guilley, J.R. 1984. Suitability of reduced pressure center pivots. Journal of the Irrigation and drainage division. ASCE. 106 (IRI).

- Hartz, T. K. 1993. Drip Irrigation of vegetables crops in the southwest. Hort-Science Vol. 28 (5).
- Jones, S. T. and W.A. Johnson. 1958. Effects of Irrigation at different levels of soil moisture and of imposed droghts on yields of onions and potatoes. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 71: 440–445.
- Kincaid, D.C., y McCann, J.R. BUSH and M. Hasmeminia. 1990. Low pressure center pivot Irrigation and reservoir tillege. Vission of the future. Proceeding of the third national Irrigation symposium. Phoenix, Arizona.
- Kincaid, D. C. and D. F. Heermann. 1970. Pressure distribution on a center pivot sprinkler Irrigation system. Transaction of the ASAE, Paper No. 1390.
- Lamm, F. R., Spurgeon, W. E. and Rogers D. H. 1992. Drip Irrigation for corn. A promising prospect, Irrigation Journal. United States of America.
- Lammont, W. J. Jr. 1991. Agua y suelo. Horticultura y riego por goteo. Agricultura de las Americas. United States of America.
- Lammont, W. J., Jr. 1991. Drip Irrigation. Part of a complete vegetable production package. Irrigation. J. united States of America.
- Martinez E., R. 1999. Evaluación de un sistema de riego localizado (Microirrigación) Memorias del I Simposium de Ingeniería de Riego, Culiacán, Sinaloa, México
- Medina, San Juan, J. A. 1981. Riego por goteo, teoría y práctica, segunda edición, Ediciones Mundi-prensa, Madrid, España.
- Mendoza R., J. L. 1998. Nutrición y manejo del agua en papa en el Valle del Fuerte Sinaloa. Memorias del VIII congreso Nacional de Productores de Papa y II Simposium internacional de la Papa. Toluca, México.
- New L. Leon. 1982. Center pivot Irrigation system., Texas agricultural extension service people helping people., Zerie L. Carpenete, Director., The Texas A&M University System.
- Patiño C., J. L. 1997. Analisis de la eficiencia de aplicación, y uniformidad de la precipitación en el cultivo de papa mediante el sistema de pivote central (tesis). Departamento de Riego y Drenaje, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Roberts Irrigation Products, Inc. 1992. Drip Irrigation. A measured approach to farming. Irrigation J. 42 (2). San Marcos, Ca. United States of America.

- Rojas P. L. y G. Briones S. 1990. Sistemas de riego. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Rojas P. L. y Luis E. R., 1997. Manual de prácticas de sistemas de riego. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- SEP. (Secretaria de Educación Publica). 1997. Papas. Manuales para la producción agropecuaria. Primera edición. Ed. Trillas, México.
- Soares, A. A., L. S. 1991. Willardson on sprinkler uniformity. Journal of Irrigation and drainage engineering, Paper No. 26461., Vol. 117., No. 6.
- Shock, C.C; E. B. G. Feibert ; L. D. Saunder.1997. Precition Sheduling with granular matrix sensors. In Proceedings of the International conference about evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Nov. 3-6, San Antonio Tx. EEUU. ASAE.
- Tarjuelo M-B. J. 1995. El riego por aspersion y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa., Madrid, Barcelona, México.

CONCLUSIONES.

De acuerdo a los analisis realizados para cada uno de los sistemas y observando cada una de las condiciones de estos, pudimos llegar a determinar las siguientes conclusiones:

- El funcionamiento del pivote central ubicado en el rancho El cristal esta funcionando muy mal de acuerdo a lo que se espera que este tipo de sistemas funciones, esto debido a que los emisores o boquillas no son los adecuados o se encuentra deteriorados ya que el tiempo de uso de este sistema es considerable.
- El funcionamiento del pivote de la marca Valley ubicado en el Campo Experimental Saltillo, en Arteaga, Coahuila, se encuentra funcionando adecuadamente de acuerdo a los rangos que se establecen para este tipo de sistemas, debido a que los emisores son los adecuados o cumplen bien con su diseño, además de que solo tiene dos años y medio de funcionamiento.
- Para este sistema podemos concluir que su funcionamiento es muy bueno en comparación con los otro sistemas, aunque se observó al igual que en el pivote central, que las ruedas dañan la superficie del cultivo al pasar por los surcos, aunque este detalle también se considera no muy considerable.

- El sistema lateral semiportátil también está funcionando adecuadamente ya que también tiene poco tiempo de funcionamiento y sus aspersores son muy eficientes, lo cual nos ayuda en la buena distribución del agua y así adquirir mejores rendimientos.
- La uniformidad en este sistema se redujo mucho debido a que la línea de conducción se encontraba con muchas fugas, lo cual trajo como consecuencia que la presión en el sistema bajara considerablemente reflejándonos uniformidades bajas, aunque el sistema no tiene mucho tiempo de estar trabajando este tipo de detalles reducen el rendimiento del sistema.

RECOMENDACIONES

- Ajustar las boquillas del pivote central ubicado en el rancho El cristal, esto para observar mediante otra evaluación si realmente es lo que está provocando una baja de eficiencia.

- Ofrecer mayor mantenimiento a cada uno de los sistemas, ya que si se deja un considerable tiempo sin dar mantenimiento es posible que las boquillas o emisores de cada uno de estos se tapen o dañen por mal manejo.
- Checar todas y cada una de las líneas de conducción, principalmente la del sistema de riego por goteo, ya que como se vio, pueden tener muchas fugas que en ocasiones el operador no detecta y sin esperarlo obtiene bajos rendimientos por mala distribución del agua.
- Para esta zona y específicamente en el cultivo de la papa, se recomienda usar sistemas de riego de pivote central que aunque requieren de gran desembolso inicial, con un buen manejo de estos y con este tipo de cultivo se pueden obtener altos rendimientos.

