



Universidad de Cienfuegos.

Facultad de Ciencias Agrarias.

Tesis en opción al título de ingeniero agrónomo.



Título: La distancia entre pluviómetros, cálculo de uniformidad de distribución en máquinas de pivote central.

Autor. Iraldo Santos Díaz

Tutores: M.Sc. Luis René Cabrera Díaz.

Ing. Héctor Morejón González.

Año 2013.

Dedicatoria

A mi familia que me ayudó para que este esfuerzo constituya la máxima expresión de satisfacción y orgullo del sueño esperado.

A mi esposa por todo su apoyo, en todos los sentidos para que llegara a ser quien soy.

A mi mamá, mi hermana y amigos que colaboraron conmigo en el desarrollo de esta tesis.

Agradecimientos

A mis tutores y compañeros M.Sc. Luis René Cabrera Díaz, Ing. Héctor Morejón González, a quienes les debo el fruto de mi preparación técnica y profesional.

A todas aquellas personas que de una forma u otra hicieron posible que culminara mi trabajo de Diploma y a todos mis amigos que aportaron lo que pudieron dar.

A Osmany García Técnico de la CPA por toda su atención prestada y apoyo en la investigación.

A mis compañeros de trabajo por darme aliento a continuar. En fin a todos los que han estado de mi parte

Tabla de contenido

Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.
Problema Científico.....	2
Hipótesis.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Capítulo I. Revisión bibliográfica	3
1.1 Sistema histórico del desarrollo del riego	3
1.2 Importancia del uso del riego	3
1.3 Cuba, desarrollo de la tecnología del tiego	5
1.4 Desarrollo de emisores	6
1.5 El riego y el medio ambiente.....	7
1.5.1 Reducción del impacto de las gotas sobre el suelo y los cultivos.....	¡Error! Marcador no definido.
1.6 La uniformidad del riego.....	9
1.7 Evolución de los métodos de evaluación para máquinas de pivote central.....	11
1.8 Distancia entre pluviómetros.....	13
Capítulo II. Materiales y métodos..	15
Capítulo III._ Resultados y discusión	25
Conclusiones.....	28
Recomendaciones.....	29
Bibliografía	¡Error! Marcador no definido.

Resumen.

Se estudiaron dos máquinas de riego con pivote central de la UEB "Santa Martina" del municipio Cienfuegos para evaluar el comportamiento de la uniformidad de riego con diferentes distancias entre pluviómetros de las mismas a través del método diferentes de calculo aplicables a las condiciones del lugar, lo que permitiera Pluviopivot para la distancia adecuada, las mediciones de campo se realizaron desde el 15/4/2013 al 27/4/2013, se tuvo en cuenta las variables temperatura ($^{\circ}\text{C}$), humedad (%), velocidad del viento (m/seg.) y de la máquina (m/hora), se utilizo la carta de distribución de emisores recomendada por el fabricante para comparar la distribución real en la máquinas , pero se mantuvo la existente al realizar la evaluación , los datos recolectados fueron procesados por método pluviopivot y los indicadores ARA, ARE Y ARI, al analizar los resultados obtenidos fue observado que entre las distancias 1.5^a 4.5 no difieren los valores, lo que si sucede en la distancia de 6.0, el resultado de UD es inaceptable según calificador de uniformidad de riego de Lamelas (2010), entre las causas de estos desfavorables resultados se encuentran la deficiente preparación del personal que labora en estas máquinas , además el no cumplimiento de la tecnología diseñada párale uso eficiente de la tecnología, se concluye que la distancia entre pluviómetros más a decuada es la de 3.0 m , aunque pudieran utilizarse 1.5^a 4.5 m según se requiera.

Palabras clave. Uniformidad de distribución, Distancia entre pluviómetro., Métodos de evaluación.

Summary

It studied the behavior of two irrigation hardware with central pivot at UEB (Basic Enterprise Unit by its initial letters in Spanish) "Santa Martina" located at Cienfuegos, to evaluate irrigation uniformity behavior between distances and Pluviometers, using calculating method of different conditions at the place, that permit Pluviopivot, to the right distance, field measurements realized since 4/15/2013 to 4/27/2013. It had in account variables: temperature ($^{\circ}\text{C}$), humidity (%), velocity of the wind (m/ seg) and of the machine (m/ hour), it was used the letter of distribution of emitters recommended by the manufacturer to compare the real distribution in the machines, but the existent was maintained when accomplishing the evaluation, recollected data were processed by method pluviopivot and ARA, ARE Y ARI indicators. When analyzing the obtained results was observed that he enter distances 1,5 a 4,5 do not defer the values, what it does happen in the distance of 6,0 , UD's result is unacceptable according to Lamelas' uniformity irrigation examiner (2010). One of the causes of these unfavorable results it's deficient preparation of the personnel that labors in these hardware, besides the no fulfillment of technological parameters designed for efficient use of technology. As conclusion most appropriate distance between Pluviometers is 3.0 m, although it could use 1.5^a 4.5 m if it requires.

Key Words: Uniformity of distribution, Distance among pluviometer, Evaluation methods.

Introducción.

En la actualidad las máquinas de Pivote Central representan los sistemas de riego más populares en el nivel mundial al hacer más fácil y muy eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son adecuados (González 2006).

El mismo autor refería que en las ultimas tres décadas esta tecnología de riego se ha perfeccionado mucho, lo que las hace mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es imprescindible. Estos equipos permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico.

Sin duda la sustitución de los aspersores por boquillas difusoras en los pivotes marcó una nueva era en el riego con un notable incremento en la uniformidad, la eficiencia de riego y un uso más racional de la energía (Lyle y Butter 1990, Gilley y Mielke 1980, Sourell 1985, Bordousky *et al.* 1992, Glenn *et al.* 1994, Tarjuelo 1999)

En la actualidad se realizan inversiones que implican la modernización de los sistemas de riego con la introducción de nuevas tecnologías, dentro de estas están incluidos los pivotes. Además existen diferentes firmas extranjeras que proveen estos equipos de tecnología moderna. Recientemente se han instalado en el país pivotes eléctricos de diferentes firmas comerciales que utilizan emisores de baja presión colocados en bajantes de polietileno sobre el follaje de los cultivos.

Cárdenas (2000), al referirse a esta tecnología mencionaba la uniformidad de aplicación del riego como un parámetro que está muy relacionado con la eficiencia del riego y con la producción de los cultivos.

Algunos autores se han referido a el cálculo de uniformidad de riego enfatizando en aspectos de mucha importancia a la hora de su realización, uno de mucho peso según Pacheco (2010) lo constituye la distancia entre los pluviómetros, la cual puede influir de forma directa en los resultados alcanzados.

La práctica actual indica que la colocación de pluviómetros entre 1.5 y 5 m resultan las más utilizadas en nuestras condiciones, sin embargo no se encuentra en la literatura una base sólida que ampare estas distancias, las cuales se utilizan muchas veces por la disponibilidad de pluviómetros y la longitud de la máquina.

En Cuba se han realizado inversiones importantes en estas tecnologías. Las provincias La Habana y Matanzas son las que más pivotes tienen instalados en el país y por ende, son las de mayor aporte a la producción agrícola. En virtud de lo anterior se impone la necesidad de realizar estudios de la uniformidad de riego en estos equipos ya que son los que deciden la producción agrícola del país.

Por ello en este trabajo se abordara este tema.

Problema científico:

¿Cual será la influencia de la distancia entre pluviómetros en el cálculo de la uniformidad de distribución en máquinas de pivote central?

Hipótesis:

La distancia adecuada entre pluviómetros permitirá obtener datos más fiables para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

Objetivo general:

Determinar la distancia óptima entre pluviómetros en el cálculo de uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

Objetivos específicos:

- Caracterizar las maquinas de riego objeto de estudio en la UEB Santa Martina.
- Proponer la distancia entre pluviómetros optima para el cálculo de la uniformidad de riego de las máquinas de pivote central.

I. Revisión bibliográfica.

1.1. Síntesis histórica del desarrollo del riego.

El uso del riego es una práctica tan antigua que ya desde el siglo VI antes de cristo en la Mesopotamia se regaban por aniego los cereales de que dependía esta civilización.

Por otra parte en un valle de las montañas de Los Andes, en Perú; fueron encontrados restos de tres canales de riego que según las pruebas realizadas fueron construidos en los siglos IV y III a.n.e. y del IX de nuestra era. Estos canales constituyen las más antiguas muestras de riego en el llamado nuevo mundo. (Dillehay et al. 2005).

Son estos los primeros indicios del origen del riego, el que tuvo un desarrollo lento hasta que en siglo XX se comenzaron a emplear los motores de combustión interna y eléctricos para esta actividad lo que permitió extraer el agua de las profundidades de los acuíferos o impulsarla a grande distancias favoreciendo de manera directa el desarrollo del riego que avanzaba día a día y se extendía por todo el mundo.

Desde que en la década del 50 comenzara a girar la primera máquina de pivote central en Nebraska, EU mucho ha sido el desarrollo alcanzado por estas tecnología (Baccino 2010).

1.2. Importancia del uso del riego.

Sin duda el desarrollo de la agricultura a nivel mundial esta sustentada en gran medida por la introducción y posterior avance tecnológicos de los sistemas de riego, los cuales permiten aumentar los rendimientos incluso en lugares de clima seco e inestable.

Sin embargo la mala utilización del riego a traído consecuencias desastrosas en los recursos agua y suelo, en esto, insiste el autor ha tenido mayor incidencia el manejo inadecuado realizado por el hombre de las tecnologías (FAO-2010).

Las máquinas de Pivote Central están entre los sistemas de riego más populares en el mundo. Ellas han hecho fácil y muy eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuente y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción.

Durante las últimas tres décadas, las máquinas de pivote central se han perfeccionado mucho. Son mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es imprescindible. Estos equipos permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico (González 2006).

Allen *et al.* (2000), mencionaba las ventajas y desventajas en la utilización de máquinas de pivote central, entre las más importantes tenemos.

Ventajas:

- Es relativamente sencillo diseñar un sistema que satisfaga la demanda pico del cultivo, sin causar un impacto significativo en el costo de la inversión.
- El control del riego solo está limitado por las condiciones atmosféricas (pérdidas por evaporación y efecto del viento sobre la uniformidad).
- La uniformidad es independiente de las características hidrofísicas del suelo.
- La alta eficiencia de aplicación reduce el volumen de agua durante el ciclo del cultivo.
- Se logran altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra, agua y energía.
- La dosis de riego únicamente es función del tiempo, se adaptan muy bien tanto a dosis grandes como a pequeñas.
- Se adapta bien a terrenos con diferentes permeabilidades, ya que dosifica en forma rigurosa.

- Permite la aplicación de fertilizantes mediante la inyección, con muy buena uniformidad y eficiencia.
- Se adapta a la rotación de cultivos y a riegos estratégicos.
- No requiere nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas.
- Se maximiza el uso de la tierra.

Desventajas:

- Requiere altas inversiones iniciales, los costos de operación y mantenimiento son intermedios, respecto al sistema de cañón ó gravedad.
- Requiere mayor presión de funcionamiento, si lo comparamos con riego por gravedad.
- Elevada pluviometría en el extremo del ramal, por ej. en un lateral de 400 metros, los últimos 54 metros riegan el 25% del área .
- Interfiere con los tratamientos fitosanitarios.
- El efecto del mojado de las hojas sobre las plagas y enfermedades.

1.3. Cuba, desarrollo de la tecnología de riego.

González (2005) menciona que los primeros pivotes "Fregat" (de tracción hidráulica) fueron introducidos en 1977, procedentes de la antigua URSS, y muy pronto fue una técnica aceptada por los productores y generalizada. Al principio se beneficiaron 469. 7 ha y diez años después ya existían 209 máquinas siendo beneficiadas 3 247. 64 hectáreas, en los finales de la década de los 80 y principios de 90 se llegaron a tener en explotación 1 200 máquinas.

Cultivos importantes tales como la papa, viandas, hortalizas y forrajes para la producción animal se han beneficiado con la introducción de modernas máquinas de riego, las cuales sirven además para la aplicación de fertilizantes todo lo que se traduce en un incremento de los rendimientos de estos cultivos (González, 2006).

El área regada con estas máquinas representa un 7 % del área total beneficiada en el país, las mayores inversiones de riego se realizan con esta tecnología en cultivos como la papa y granos que actualmente constituyen pilares de alimentación del pueblo, dichas maquinas están ubicadas sobre los suelos más productivos del país (González 2005a).

Las provincias Artemisa, Mayabeque y Matanzas son las que más pivotes tienen instalados en el país y por ende, son las de mayor aporte a la producción agrícola.

1.4. Desarrollo de emisores.

La sustitución de los aspersores por boquillas difusoras en los pivotes marcó una nueva era en el riego con un notable incremento en la uniformidad, la eficiencia de riego y un uso más racional de la energía (Lyle y Butter 1990, Gilley y Mielke 1980, Sourell 1985, Bordousky *et al.* 1992, Glenn *et al.* 1994, Tarjuelo 1999)

A inicios del 1990 se comenzó a analizar la necesidad de transformar las viejas máquinas existente con aspersores de impacto en máquinas con boquillas difusoras de baja presión debido a la creciente necesidad del ahorro energético, del consumo de agua y de hacer más eficiente la labor de riego (Domínguez *et al.* 1998)

En los últimos 10 años se introdujo en el mundo la utilización de boquilla que trabajan entre 10 y 18 m c a (metros de la columna de agua) ahorrando considerablemente energía. El modelo Spray es un emisor fijo de baja presión donde el agua al salir por la boquilla choca contra el plato estático que está ranurado formando un chorro de agua a una presión que oscila entre 4 y 18 m.c.a (Tarjuelo 2005).

El mismo autor al referirse a la altura de las boquillas precisó que los mejores resultados son obtenidos a 1 metro de altura.

Existe varios tipo de platos que puede proporcionar diferentes chorros de salida de agua (chorros fino, chorro medianos y chorro fuertes) debido a que la

entrega de agua es fija la aplicación instantánea es alta y se recomienda en suelo de poca pendiente y alta velocidad de infiltración.

La última tecnología disponible en el mercado internacional es el rotatorio según Bordousky *et al.* (1992), sólo gira a una velocidad lenta debido a un freno en el plato y necesita una presión de operación superior, tiene un radio de alcance de más de 8 m, riegan con una gota más grande y maneja el viento mejor que todos los emisores, presenta un coeficiente de uniformidad superior al 86 %.

Existen dos tipos de dispositivos para mantener constante la descarga de un emisor ya que la presión de la boquilla varía cuando el pivote gira sobre una elevación más alta o más baja el dispositivo utilizado en la máquina es auto regulador de presión el cual es un resorte que regula automáticamente la presión debajo del emisor.

Por tanto, se están realizando inversiones importantes en temas de modernización de los sistemas de riego con la introducción de nuevas tecnologías, dentro de estas están incluidos los pivotes. Además existen diferentes firmas extranjeras que proveen estos equipos de tecnología moderna. Recientemente se han instalado en el país pivotes eléctricos de diferentes firmas comerciales que utilizan emisores de baja presión colocados en bajantes de polietileno sobre el follaje de los cultivos.

1.5. El riego y el medio ambiente.

La necesidad de evitar impactos adversos y de asegurar beneficios a largo plazo condujo a la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo en su informe, en 1987, al concepto de **desarrollo sostenible** (FAO 1992). Los que en su afán de abordar el tema del medio ambiente dejan de incluir el impacto del riego y el drenaje sólo podrán llegar a enfoques parciales del problema; Tan parcial es este enfoque como la conocida tendencia de diseñar sistemas de riego sin tener en consideración los sistemas de drenaje y la inserción de ambos en el ecosistema local o regional.

La *FAO (2010)* muestra en sus estadísticas que la irrigación moderna ha crecido en importancia, desde los 8 millones de hectáreas que se regaban en el 1 800 hasta los 271.4 millones que se alcanzaron en 1998.

Por otra parte (*Pacheco et al. 2003*) alerta sobre los efectos de la degradación en forma de erosión, agotamiento de los nutrientes, salinización de los suelos y contaminación del agua que trae aparejado un uso inadecuado de las técnicas de riego.

Según reportes del (*ISRIC-PNUMA 2008*) la erosión de los suelos es, de todas las existentes, la causa más extendida de la degradación y su principal agente es la erosión hídrica.

La agricultura de regadío es esencial para la economía, la salud y el bienestar de una parte considerable del tercer mundo, y por tanto, es uno de los factores más importantes para la seguridad alimentaría del planeta. Sin embargo, no puede olvidarse que el regadío cambia radicalmente el uso de la tierra y es a su vez el mayor consumidor de agua. Por ello puede afirmarse que el desarrollo del riego tiene un impacto considerable sobre el ambiente, y todo proyecto que no esté bien concebido puede convertirse en un elemento degradante del medio.

Febles (2003) enuncio como las principales causas fundamentales de la degradación de los suelos agrícolas las siguientes:

- Incorrecta elección de las prácticas agrícolas.
- Inadecuada planificación del uso de los suelos.
- Ausencia de un sistema de tecnología de cultivos de acuerdo con los tipos de suelo.
- Ausencia de control de la erosión y escaso conocimiento sobre este fenómeno.
- Uso irracional de fertilizantes y agrotóxicos.
- Violaciones de las instrucciones técnicas de preparación de suelos.
- Violaciones jurídicas de las leyes y disposiciones legales relativas al uso, conservación y mejoramiento de los suelos.
- Riegos con aguas de elevada mineralización.

- Elevación de mantos freáticos salinos al no existir sistemas de drenaje que evacuen los excesos de agua aportados por el riego.
- Construcciones de obras civiles.
- Uso indiscriminado de los recursos hídricos.
- Ausencia de un programa sistemático de información e instrucción al personal relacionado con la actividad agrícola.

En 1996 el Instituto de Investigaciones de Suelos reportó 2,5 MMha con problemas de erosión media o alta, 1 MMha con problemas de salinidad y sodicidad y 1,52 MMha en desertificación, la existencia de 2,8 MMha afectadas por el mal drenaje y son muestras de que aún queda mucho por hacer en materia de recuperación de suelos.

1.5.1. Reducción del impacto de las gotas sobre el suelo y los cultivos.

Con la sustitución de aspersores de impacto por emisores de baja presión (boquillas difusoras o rotators") y la colocación de los mismos a baja altura, se reduce el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y el follaje de los cultivos. La lluvia provocada por estos dispositivos es más fina y su afectación sobre el suelo y los cultivos es menor, debido a que las gotas provenientes de las boquillas salen con un diámetro más pequeño y además provienen de una altura inferior sobre el suelo (1 m), a diferencia de los aspersores (2,40 a 4,00m de altura). De esta manera quedan minimizados los dos factores que más inciden en la energía de impacto de la gota: el diámetro y la velocidad, según Stillmunkes.

1.6. La uniformidad del riego.

El término uniformidad del riego es un elemento que siempre ha estado presente al evaluar un sistema de riego, compararlo con otro o elegir el más conveniente o factible para una determinada zona, siempre aspirándose a encontrar aquel que logre que en todos los puntos que atiende llegue la misma cantidad de agua o lo que es la mismo una aplicación con el 100 % de uniformidad.

Por otra parte (Tornés *et al.* 2008) en su investigación realizada en el cultivo de la papa encontraron correlación entre la uniformidad de riego, rendimiento total del cultivo, y calibre de los tubérculos.

Por otra parte Cárdenas (2000), plantea que la uniformidad de aplicación del riego es un parámetro que está muy relacionado con la eficiencia del riego y con la producción de los cultivos.

Harrison y Perry (2010) afirman que la uniformidad adecuada es importante en el uso de estas técnicas como vía de aplicación de fertilizantes y pesticidas.

Según FAO (2002) hay siete claves para lograr la eficiencia y uniformidad de los sistemas de riego para *mejorar la eficiencia de riego*

- reducir las filtraciones de los canales por medio de revestimientos o utilizar tuberías;
- reducir la evaporación evitando los riegos de medio día y utilizar riego por aspersión por debajo de la copa de los árboles en vez de riego por aspersión sobre la copa de los mismos;
- evitar el riego excesivo;
- controlar las malas hierbas en las fajas entre cultivos y mantener secas estas fajas.
- sembrar y cosechar en los momentos óptimos;
- regar frecuentemente con la cantidad correcta de agua para evitar déficits de humedad.
- Disposición correcta de los emisores en el riego por aspersión. del

Según Alfonso (1998), el rápido crecimiento de las áreas bajo riego.

La evaluación de máquinas de riego de pivote central, resulta necesaria para validar en condiciones de campo sus reales parámetros de funcionamiento. Generalmente, la evaluación pluviométrica proporciona los datos necesarios para validar el funcionamiento hidráulico de la máquina.

Según Alfonso (1998), el rápido crecimiento de las áreas bajo riego con la técnica de pivote central exige el estudio del comportamiento de la uniformidad del riego.

1.7. Evolución de los métodos de evaluación para máquinas de pivote central.

Para evaluar una máquina de pivote central debe considerarse entre otros aspectos la determinación de dos coeficientes que reflejan la calidad del riego y que se asocian a la uniformidad del cultivo, ambos descritos por (Rodríguez y Troncoso 2005), los mismos son:

- 1- Coeficiente de uniformidad de (Heerman y Hein 1968), siendo una modificación del coeficiente de uniformidad de (Christasen) ya que por las características de trabajo de la máquina cada colector representa un área diferente, por tanto su valor incide en mayor o menor medida en la calidad del riego.

$$CU_k = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n D_i |C_i - M_c|}{\sum_{i=1}^n C_i D_i} \right] \cdot 100 (\%)$$

Donde:

n – número de colectores;

C_i - cantidad recogida por el colector (con i variando entre 1 y n);

D_i - área regada por el colector i o distancia del centro del pivote al colector i;

M_c - media ponderada de las cantidades recogidas por los n colectores.

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_i D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}$$

- 2- Coeficiente de uniformidad de variación de (Bremond y Molle 1995), es un parámetro que incluye el coeficiente de variación dentro del coeficiente de uniformidad, por tanto es un indicador más sensible a la distribución de la lámina de riego.

$$CU_v = \left[1 - \frac{1}{\frac{\sum C_i D_i}{D_i}} \cdot \sqrt{\frac{\sum \left(C_i - \frac{\sum C_i D_i}{\sum D_i} \right)^2 D_i}{\sum D_i}} \right] \cdot 100 \text{ (\%)}$$

(3)

Uniformidad de distribución del 25% menos regado:

$$UD_{25\%} = \frac{\text{Lámina media en el 25\% del área menos regada}}{\text{Lámina media de toda el área}} \cdot 100 \text{ (\%)}$$

(4)

La evaluación pluviométrica, puede incluir la obtención de datos pertenecientes a 200 o más pluviómetros acompañados de toda la información que caracteriza a la máquina y al lugar del ensayo en ese momento. El manejo de todos estos datos tomados en el campo y su posterior procesamiento es lo que se facilita con el software **"Pluviopivot"** elaborado por (Pacheco y Yoan 2004), el cual guarda en un fichero los datos sistematizados y los resultados del análisis. Otros programas que son utilizados en la actualidad son el **"Pivot"** referido por (González y Navarro 1999) y el **"Simufre"** referido por (Pérez 1998), los cuales como resultado ofrecen las soluciones para mejorar la distribución del agua, se puede señalar además otros métodos de cálculo manual como los desarrollados por (Tarjuelo 2005), el cual considera como factor de ponderación la distancia entre el pivote y cada uno de los colectores y (Lamela et al. 2010), el cual es un método utilizado por el grupo azucarero para evaluar las máquinas de riego de ese sector a partir del 2010 .

El estudio de la pluviometría en las máquinas de riego de pivote central resulta más complejo que en otros sistemas de aspersión, porque la corona circular representada por cada pluviómetro es mayor en la medida que su posición se aleja del pivote.

Luego, el peso relativo de los diferentes pluviómetros en el cálculo de los parámetros de uniformidad no puede ser igual, lo que da lugar a que se introduzca un factor de ponderación que se corresponde con la superficie que representa cada pluviómetro y por consiguiente todos los coeficientes de uniformidad calculados resultan ponderados por la superficie. El uso de coeficientes de uniformidad ponderados por superficie para máquinas de pivote central, se viene planteando desde el pasado siglo en la bibliografía internacional destacándose los trabajos de Heermann y Hein (1968), que modificaron el conocido Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (1942) para ponderarlo por superficie. Posteriormente, Merriam y Keller (1978), Merriam *et al.* (1980) y Marek *et al.* (1986) citado este último por Faci y Bercero (1990) contribuyeron todos al desarrollo de los actuales conceptos de la ponderación por superficie. En nuestro país se publica sobre la ponderación por superficie para las máquinas de pivote central en los trabajos de Pacheco *et al.* (1995), Pérez (1998) y Pacheco (2003).

1.8. Distancia entre pluviómetros.

Resulta de gran valor la calidad de los datos obtenidos en cada pluviómetro, los cuales representan un área dependiente de la distancia al centro del pivote y la distancia entre ellos, sobre el tema diferentes autores utilizan en la practica distancias diferentes, en la bibliografía revisada solo (Pacheco 2006) puntualiza que la distancia entre 1.5 y 5 m es la mas adecuada.

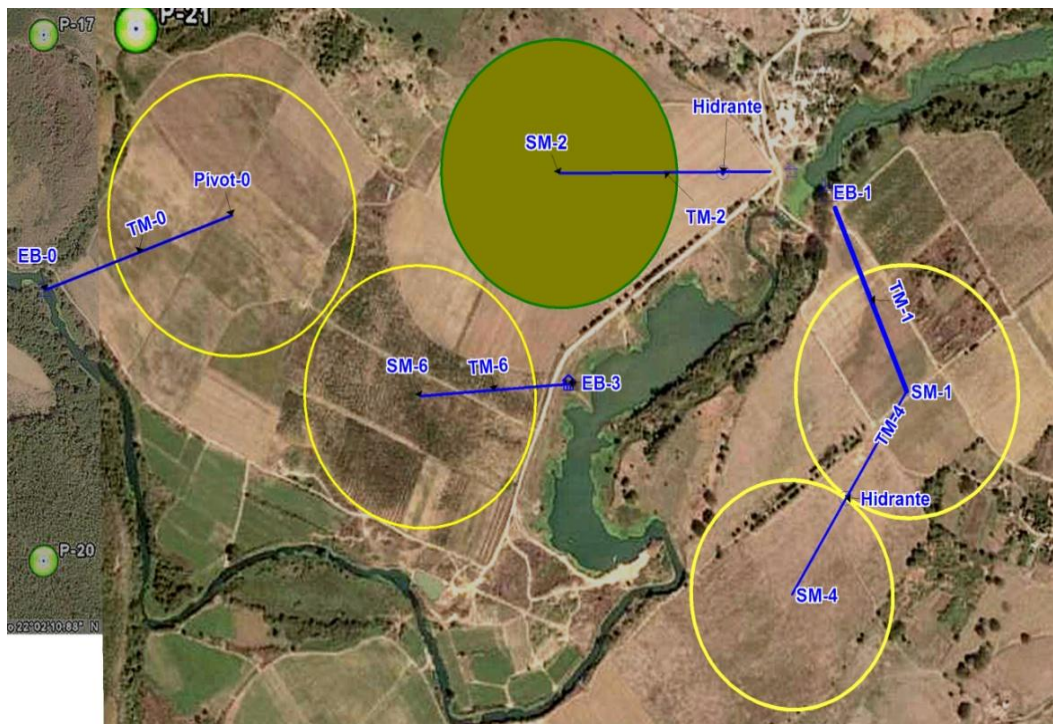
En sus trabajos, Morejón (2013) utiliza la distancia de 5m, sin embargo Damián (2013) aunque utiliza esta misma medida también emplea la de 2m, Tarjuelo (2012), 2m y Lámelas (2010) recomienda la utilización de 3m, como se observa ninguno de estos autores llegan a un consenso sobre el tema por lo que la distancia entre pluviómetros esta hoy en un rango de los 2 a los 5 m como promedio.

II. Materiales y Métodos.

El trabajo se desarrolló en la UEB "Santa Martina" perteneciente a la Empresa Pecuaria Sierrita y localizada geográficamente dentro del municipio de Cienfuegos en el tiempo comprendido del 15/4/2013 al 27/4/2013 para ello se

utilizaron los datos obtenidos en dos máquinas de riego (gráfico 1), siendo las enumeradas como **SM4 Y SM6**, las mismas están equipadas con las boquillas difusoras **D3000B**, separadas a 1.9 m, con regulador de presión de 1.4 bar y contrapeso, separadas del suelo a 1m.

Gráfico 1: Foto satelital del área en que se desarrollo el estudio.



El área cultivable bajo riego ocupa una extensión de 134.4 ha, la misma esta separada por el río Arimao, posee una estructura conformada por 5 máquinas de pivote central eléctrico, ubicándose dos máquina al norte del río y las restantes al sur y este del mismo, toda el área se enmarca dentro de las coordenadas:

Desde: 564 999 - 245 931 a 567 251- 245 931

Hasta: 564 999 - 244 201 a 567 251- 244 201

Esta área se caracteriza por ser llana, con pendientes que oscilan desde 0.5 hasta 1.0 %, se ubica dentro de la zona de Grandes Llanuras, que ocupa la parte central y occidental de la provincia, clasifica el tipo de Llanuras onduladas, que son áreas con superficies planas con irregularidades en su micro relieves, coincidentes en planos aluviales, se alternan los procesos acumulativos y erosivos, son mecanizables y con posibilidades de aplicación de

sistemas de riego y obras hidrotécnicas, con una pendiente vertical de 2m/km^2 – 10m/km^2 , favorables al desarrollo agrícola.

Tabla 1. Ubicación de las máquinas evaluadas.

Nro.	coordenadas	
	x	y
SM4	565 914	244 524
SM6	565 434	244 663

Tabla 2. Características de las máquinas estudiadas.

Denominación.	Longitud (m)		Tramos		
	Total	Estudiada	Cantidad	Longitud (m)	Consola (m)
SM4	280.0	245.0	5.0	54.86	5.5
SM6	245.0	245.0	4.0	54.86	25.0

Nota. En la máquina SM4 se estudió un tramo de 245 m equivalente a la longitud total de la SM6, colocándose 83 pluviómetros a 3 m de separación.

PARÁMETROS DE ENSAYO

LAS CARTAS DE RIEGO

Se utilizara las boquillas difusoras modelo D3000B con regulador de presión 1.4 bar. NPT, con carta de distribución propuesta por el fabricante para cada una de las maquinas.

CÁLCULO DE LA FRANJA DE RIEGO

Se evaluaran 2 máquinas de riego con las siguientes características.

Nro.	Área (ha)	Radio (m)
SM4	24.60	280

SM6	18.90	245
-----	-------	-----

Materiales a utilizar:

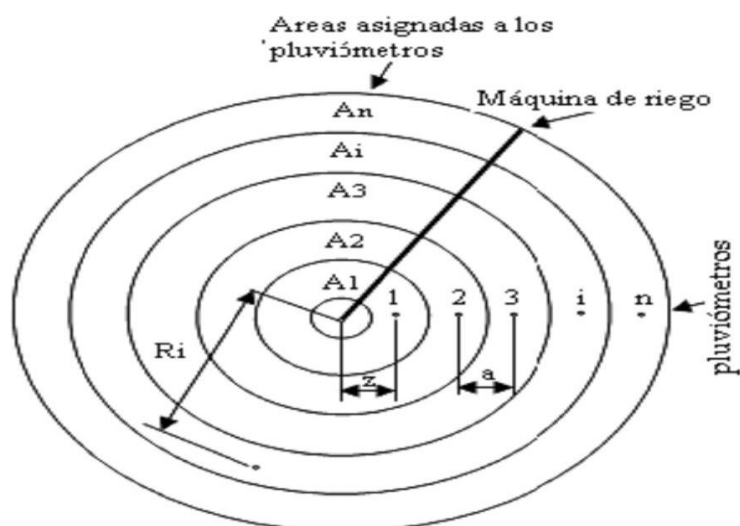
- Vasos pluviométricos cónicos con boca de 145 mm de diámetro.
- Manómetro de glicerina.
- Cronometro.
- Probeta graduada de 100 cm³.
- Cinta métrica de 5 y 30 m.
- Anemómetro.
- Psicrómetro.
- Cartas de distribución de emisores recomendadas por el fabricante.

Colocación de los pluviómetros.

Se colocara una línea de pluviómetro en cada radio, no obstante es necesario ampliar esta área por ambos extremos, para que al comenzar el ensayo, se evite en la medida de lo posible, que caiga agua en ninguno de los pluviómetros de ensayo. Para el cálculo de los resguardos no es posible seguir ninguna formulación, sino realizar una prueba en el campo. Se comprobó previamente a la realización de los ensayos, que un resguardo es equivalente a la propia área de ensayo, antes y después del área de ensayo, es suficiente para que la cantidad de agua que cae sobre los pluviómetros iniciales sea poco significativa (en cualquier caso de acuerdo con la norma, siempre se pueden eliminar los pluviómetros más cercanos al centro pivote).

Se le realizaron 3 evaluaciones a cada máquina utilizando las distancias entre pluviómetros (1.5, 3.0, 4.5 y 6.0m).

Grafico 2: Colocación de los pluviómetros.



Ancho de franja regado:

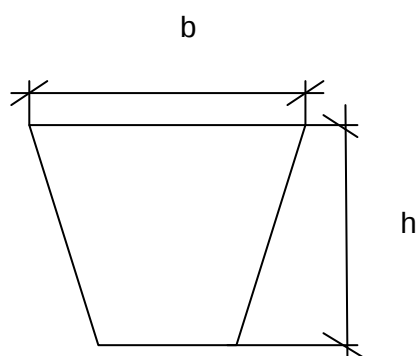
Para calcular el ancho de franja regado por el pívot se realizan ensayos radiales, con pluviómetros colocados paralelos al lateral porta-emisores, con el mecanismo motor en posición de parada.

- Longitud Efectiva: La longitud efectiva del pivote se considerará igual a la distancia del centro pivote hasta el último emisor, más 0,85 por el radio efectivo de éste.

DISPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PLUVIÓMETROS

Para determinar la disposición de los pluviómetros, se procedió de acuerdo a la norma UNE 11545. En ella se indican distintas condiciones a cumplir a la hora de colocar los pluviómetros, que pueden verse gráficamente:

Gráfico 3: Características del pluviómetro.



Abertura del Pluviómetro: 145 mm

Altura del Pluviómetro: 100 mm

El área de estudio había sido dejada en barbecho durante el ensayo, por lo que no había obstáculo alguno.

La parte de entrada de los pluviómetros debe ser nivelada, además cuando se esperan velocidades de viento superiores a 2 m/s, la distancia entre el suelo y la parte superior de los pluviómetros no debe superar los 0,3 metros. La distancia entre el emisor y el pluviómetro debe ser de mínimo 1 metro de altura. Se debe registrar la altura de las boquillas de los emisores, así como la abertura del pluviómetro.

Atendiendo a estas indicaciones, la entrada de los pluviómetros se niveló previamente a cada ensayo. Los pluviómetros fueron colocados a ras de suelo, por lo que esta abertura estaba situada a 0.01 m de altura con respecto al suelo. La distancia desde el pluviómetro hasta el emisor en todo caso es superior al metro.

VIENTO

- Se mide la velocidad del viento durante el ensayo y la dirección de este en relación a la línea de pluviómetros. Estas medidas se llevan a cabo 3 veces durante la prueba. Para ello se utiliza un anemómetro manual en dicha zona. En caso de lluvia se suspenderá la medición y se iniciará nuevamente al término de la misma.
- Para el ensayo se tuvo en cuenta que velocidades del viento superiores a 1 m/s⁻¹ podrían afectar a la validez de los resultados, y velocidades superiores a 3 m/s⁻¹ limitaban la misma.

EVAPORACIÓN

- El ensayo se debe llevar a cabo en momentos del día en que se minimice la evaporación. Se mide la temperatura y la humedad relativa 3 veces durante el ensayo.
- Se recoge y se mide el agua de los pluviómetros de control lo antes posible.

ELEVACIÓN

- La pendiente en la parcela de ensayo no excede el 0,5 % en ninguna dirección.

PROCEDIMIENTO EN CAMPO

PROTOCOLO DE ENSAYO EN CAMPO (RECOGIDA DE DATOS)

Para todos los ensayos realizados se procede de la siguiente manera:

1. El Pivote ensayado tiene un cuadro de mandos duplicado en la estación de bombeo y en el centro pivote. El proceso de encendido es el siguiente:

1.1 Encendido de la tensión en el cuadro

1.2 Se sitúa la velocidad entre el 0 y el 100 % de la velocidad máxima, en función de la lámina que se quiera aplicar

1.3 Se le da un sentido de avance, horario.

1.4 Se conectan las bombas y se regulan en función de la presión deseada en el centro pivote. La presión en el extremo la da el fabricante para una presión dada en el centro pivote, no obstante se comprueba con un manómetro preciso.

2. Registro de la presión de ensayo

Se establece la presión a la entrada de la máquina y en la boquilla, y se verifica que se mantiene esa presión dentro de unos límites de $\pm 5\%$, registrando el dato.

3. Control del caudal

Para comprobar el caudal de ensayo se dispone de un caudalímetro electromagnético.

4. Comienzo del ensayo

Se pone en funcionamiento el avance del pivote que está situado en el punto de inicio Xo, comenzando a contar en este momento el tiempo de ensayo.

En el instante $t=0$ se registran los datos de presión en el codo, presión en el extremo del brazo pivote, caudal inicial, dirección y velocidad del viento. También se registran los datos de humedad relativa, temperatura y hora de comienzo del ensayo.

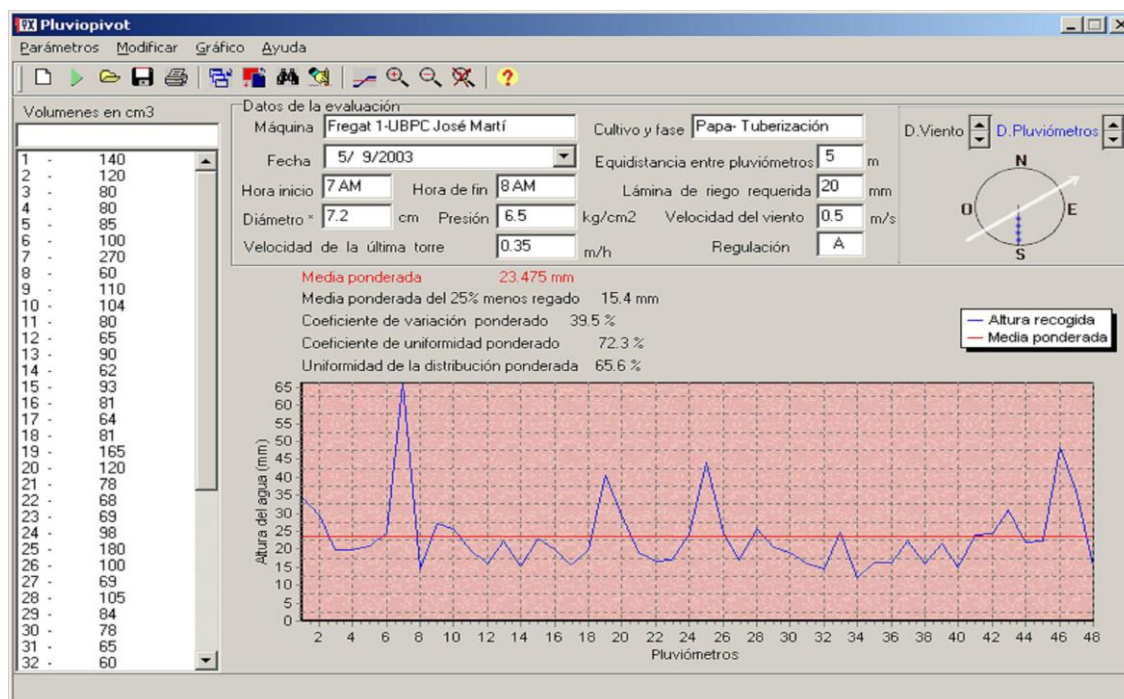
Características de los programas de cálculo aplicados.

Se aplicará a cada serie de datos de las evaluaciones efectuadas los siguientes programas de cálculo.

1. Pluviopivot:

Software desarrollado por *Pacheco y Yoan (2004)* aplicando el método de ponderación de área de *Heermann y Hein (1968)* donde se obtienen los datos de salida, media ponderada, coeficiente de variación ponderada, coeficiente de uniformidad ponderada, media ponderada para el 25% menos regado y uniformidad de distribución ponderada.

Gráfico 4. Ventana de salida Pluviopivot.



2. El sistema desarrollado por Tarjuelo (2005), permite calcular manualmente los siguientes parámetros:

AMA: altura bruta media aplicada (mm)

AMR: altura media recogida (mm)

ER: Eficiencia de recogida (%).

CU k: Coeficiente de uniformidad de variación (%).

1.15 AMR: Altura de agua igual a 1.15 veces la AMR (mm)

0.85 AMR: Altura de agua igual a 0.85 veces la AMR (mm)

Superficie con mas de 1.15 AMR: Superficie que recibe mas de 1.15 veces AMR.

Superficie con menos de 0.85 AMR: Superficie con menos de 0.85 veces AMR.

Tabla 3. Evaluación de una máquina de pivote central por el método de ponderación de distancia acumulada al pivote descrito por Tarjuelo "En el riego por aspersión y su tecnología".

Máquina: SM 4

Diámetro del pluviómetro: 14,5 cm

Área del pluviómetro: 165,13 cm²

Posición	Distancia (m)	Volumen recogido (cm ³)	Lámina recogida (mm)	Perímetro (m)	Lámina Ponderada (mm x m)	Area regada (ha)
1	3	0	0.00	9.42	0.00	0.0057
2	6	0	0.00	18.85	0.00	0.0113
3	9	82	4.97	28.27	140.40	0.0170
4	12	69	4.18	37.70	157.53	0.0226
5	15	157	9.51	47.12	448.04	0.0283
6	18	163	9.87	56.55	558.19	0.0339
7	21	106	6.42	65.97	423.50	0.0396
8	24	188	11.38	75.40	858.41	0.0452
9	27	46	2.79	84.82	236.29	0.0509
10	30	58	3.51	94.25	331.04	0.0565
11	33	54	3.27	103.67	339.03	0.0622
12	36	59	3.57	113.10	404.09	0.0679
13	39	64	3.88	122.52	474.86	0.0735
14	42	65	3.94	131.95	519.38	0.0792
15	45	107	6.48	141.37	916.05	0.0848
16	48	149	9.02	150.80	1360.67	0.0905
17	51	82	4.97	160.22	795.63	0.0961
18	54	70	4.24	169.65	719.15	0.1018
19	57	44	2.66	179.07	477.15	0.1074
20	60	59	3.57	188.50	673.49	0.1131
21	63	62	3.75	197.92	743.12	0.1188
22	66	50	3.03	207.35	627.83	0.1244
23	69	56	3.39	216.77	735.13	0.1301
24	72	72	4.36	226.20	986.26	0.1357
25	75	77	4.66	235.62	1098.69	0.1414
26	78	77	4.66	245.04	1142.64	0.1470
27	81	68	4.12	254.47	1047.90	0.1527
28	84	59	3.57	263.89	942.88	0.1583
29	87	55	3.33	273.32	910.35	0.1640
30	90	59	3.57	282.74	1010.23	0.1696
31	93	68	4.12	292.17	1203.14	0.1753
32	96	43	2.60	301.59	785.35	0.1810
33	99	57	3.45	311.02	1073.58	0.1866
34	102	35	2.12	320.44	679.19	0.1923
35	105	35	2.12	329.87	699.17	0.1979
36	108	59	3.57	339.29	1212.27	0.2036
37	111	59	3.57	348.72	1245.95	0.2092
38	114	59	3.57	358.14	1279.62	0.2149
39	117	61	3.69	367.57	1357.82	0.2205
40	120	59	3.57	376.99	1346.97	0.2262
41	123	49	2.97	386.42	1146.64	0.2319
42	126	50	3.03	395.84	1198.58	0.2375
43	129	91	5.51	405.27	2233.35	0.2432

La distancia entre pluviómetros, cálculo de uniformidad de distribución en máquinas de pivote central.

44	132	64	3.88	414.69	1607.23	0.2488
45	135	57	3.45	424.12	1463.97	0.2545
46	138	52	3.15	433.54	1365.23	0.2601
47	141	67	4.06	442.97	1797.29	0.2658
48	144	51	3.09	452.39	1397.20	0.2714
49	147	49	2.97	461.82	1370.37	0.2771
50	150	117	7.09	471.24	3338.89	0.2827
51	153	221	13.38	480.66	6432.93	0.2884
52	156	33	2.00	490.09	979.41	0.2941
53	159	48	2.91	499.51	1451.99	0.2997
54	162	67	4.06	508.94	2064.97	0.3054
55	165	54	3.27	518.36	1695.13	0.3110
56	168	60	3.63	527.79	1917.72	0.3167
57	171	51	3.09	537.21	1659.17	0.3223
58	174	67	4.06	546.64	2217.94	0.3280
59	177	76	4.60	556.06	2559.24	0.3336
60	180	82	4.97	565.49	2808.09	0.3393
61	183	59	3.57	574.91	2054.13	0.3449
62	186	68	4.12	584.34	2406.28	0.3506
63	189	56	3.39	593.76	2013.61	0.3563
64	192	87	5.27	603.19	3177.94	0.3619
65	195	48	2.91	612.61	1780.74	0.3676
66	198	41	2.48	622.04	1544.45	0.3732
67	201	45	2.73	631.46	1720.81	0.3789
68	204	33	2.00	640.89	1280.76	0.3845
69	207	73	4.42	650.31	2874.87	0.3902
70	210	59	3.57	659.74	2357.20	0.3958
71	213	82	4.97	669.16	3322.91	0.4015
72	216	68	4.12	678.59	2794.39	0.4072
73	219	57	3.45	688.01	2374.89	0.4128
74	222	60	3.63	697.44	2534.13	0.4185
75	225	61	3.69	706.86	2611.18	0.4241
76	228	55	3.33	716.28	2385.74	0.4298
77	231	52	3.15	725.71	2285.28	0.4354
78	234	46	2.79	735.13	2047.85	0.4411
79	237	55	3.33	744.56	2479.91	0.4467
80	240	61	3.69	753.98	2785.26	0.4524
81	243	50	3.03	763.41	2311.54	0.4580
82	246	62	3.75	772.83	2901.69	0.4637
83	249	53	3.21	782.26	2510.73	0.4694
Total	10458	5529	334.83	32854.85	125222.62	19.71

II. Resultados y discusión.

Caracterización de las máquinas empleadas.

Fueron analizadas las máquinas en cuanto a su estado técnico general, se observó que no existía una correcta política de mantenimiento según Norma UNE-EN 12325-1:1999, lo que ha provocado escapes de agua a través de las juntas de unión de las tuberías provocado por falta de ajustes en sus pernos de sujeción, además las deficiencias en el filtrado del agua provocan daño mecánico que traen aparejado orificios en las tuberías principales, taponamiento en los emisores y otros accesorios lo que repercute en la distribución de agua a lo largo del pivote.

Por otra parte existen diferencias en la longitud de los bajantes lo que difiere de lo recomendado en (Anónimo).

Así mismo faltan emisores y contrapesos en cada una de las máquinas trayendo movimientos de los emisores y la caída en chorro directo al suelo y cultivo, siendo causa según la FAO (2002) de erosión y mal uso del recurso agua.

Fue observado que no existe una correcta distribución de emisores según fabricante afectando los parámetros técnicos de trabajo.

Los salideros detectados en las redes de distribución traen consigo una caída en la presión del agua en el pivote.

Dado los valores de UD obtenidos, los cuales en todos los casos son menores del 75 % se evalúa de inaceptable este importante parámetro.

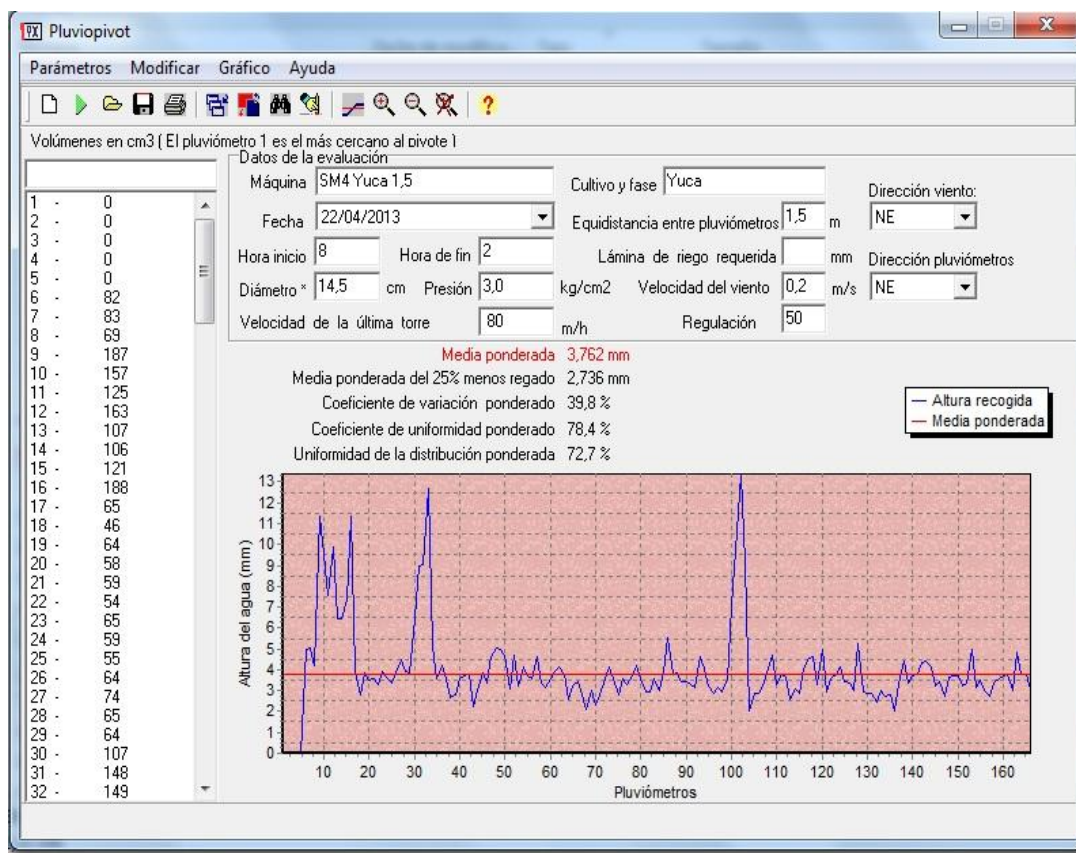
Existen roturas en las estaciones de bombeo dentro la que incluyen motores en desperfecto lo que obliga a los operarios al cambio arbitrario de equipos de bombeo entre estaciones afectando el régimen de riego que demandan los cultivos.

Todas las deficiencias observadas pudieran ser solucionadas aplicando una política dentro de la cual incluya la capacitación de los operarios y directivos de esta UEB, lo cierto es que el funcionamiento del riego es inadecuado por lo que no son alcanzados los resultados que se esperan y tan necesarios son para la sustitución de importaciones y alcanzar la agricultura sostenible en la cual el país desea insertarse como lo plantean los lineamientos de la política económica y social acordados en el marco del VI congreso del partido.

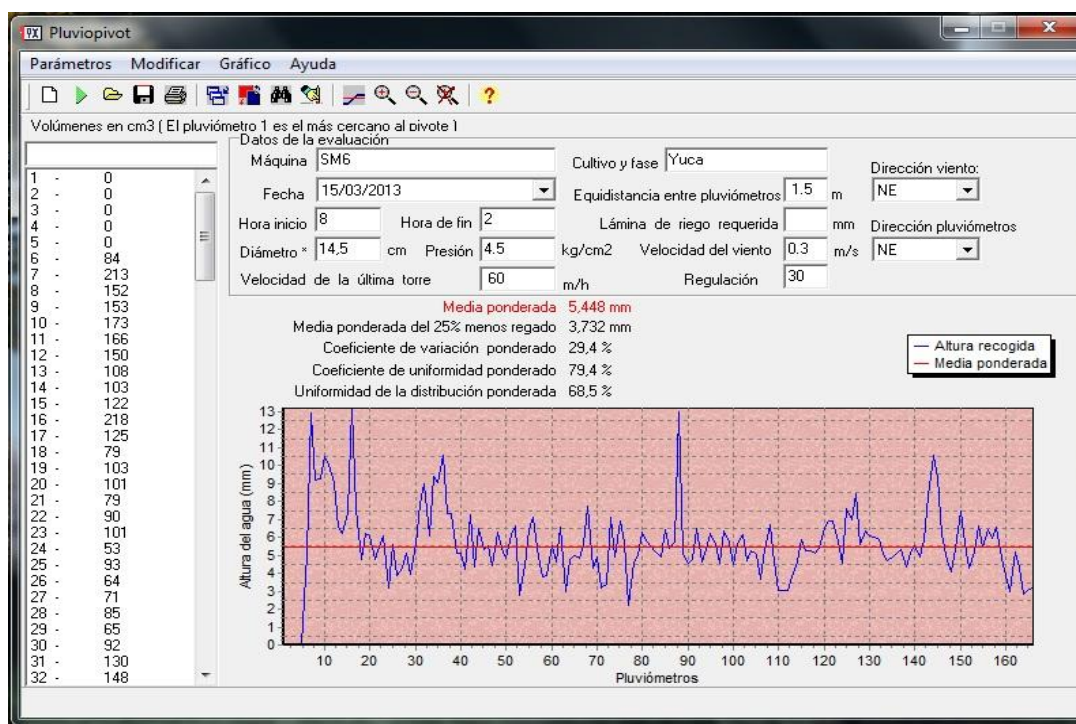
La distancia entre pluviómetros, cálculo de uniformidad de distribución en máquinas de pivote central.

Gráfico 5. Ventanas de salida Pluviopivot.

SM-4(1.5m)

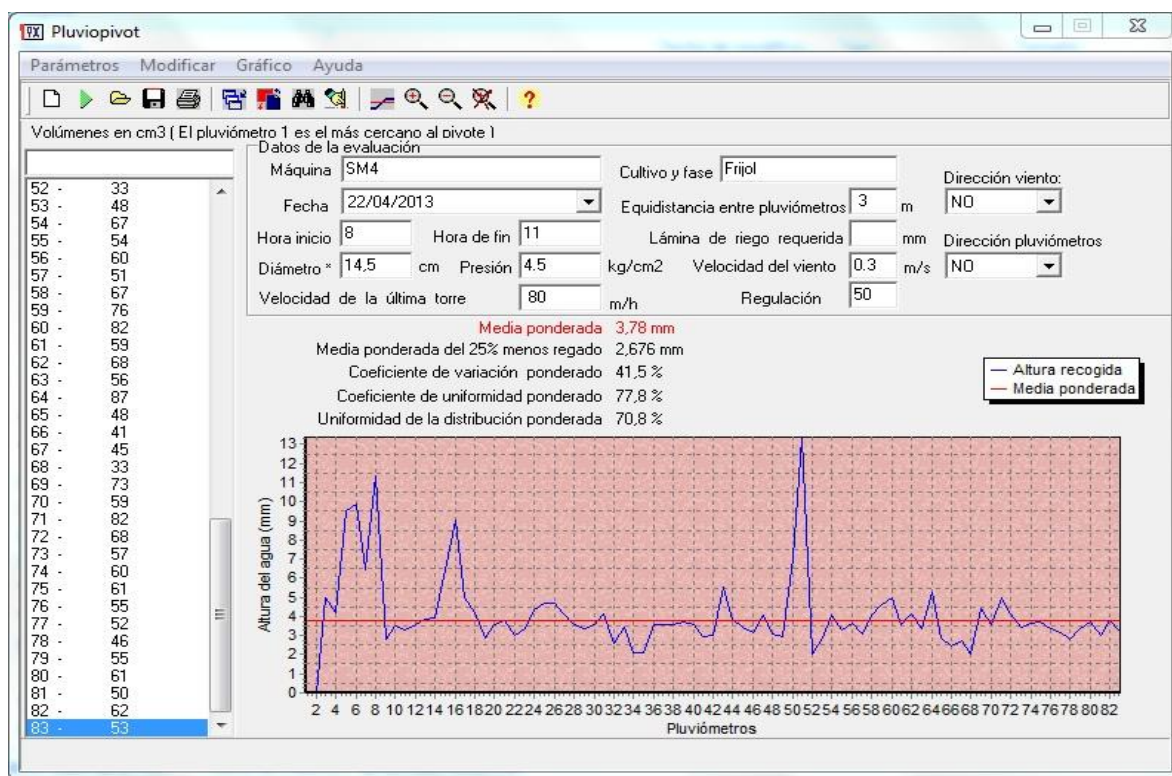


SM-6(1.5m)

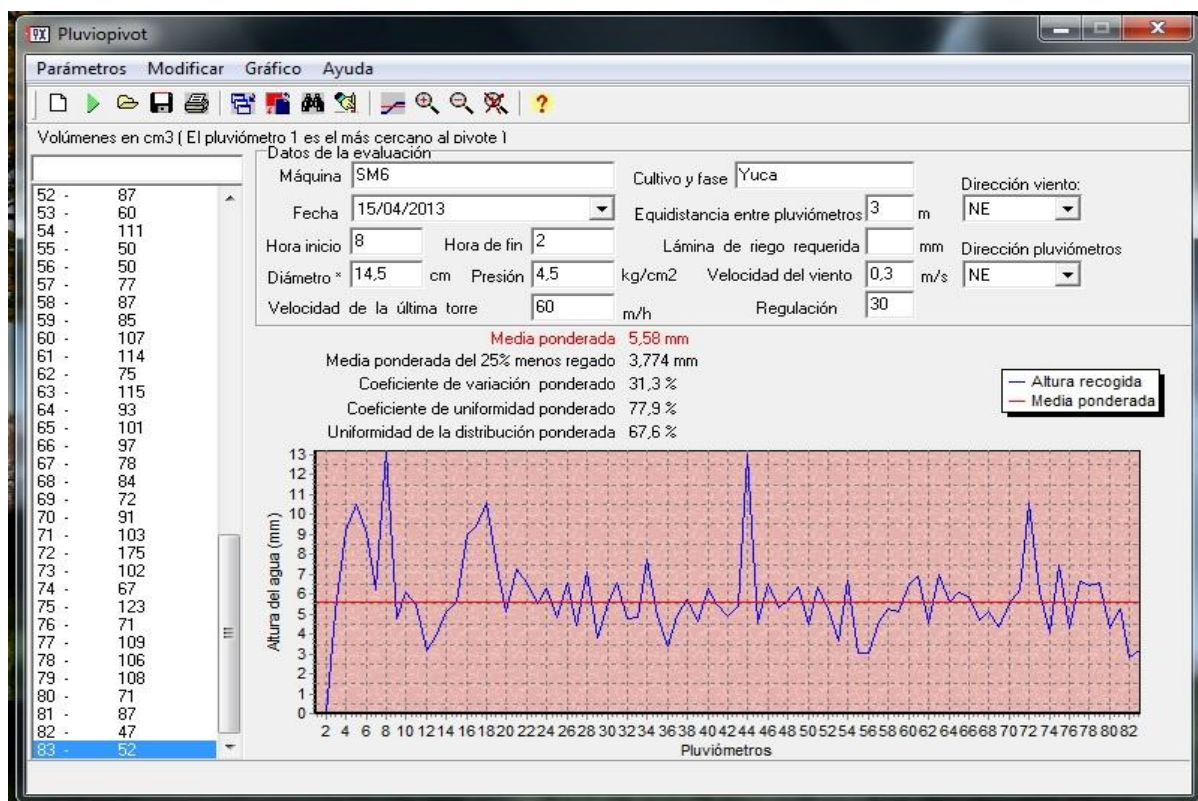


La distancia entre pluviómetros, cálculo de uniformidad de distribución en máquinas de pivote central.

SM-4(3.0m)

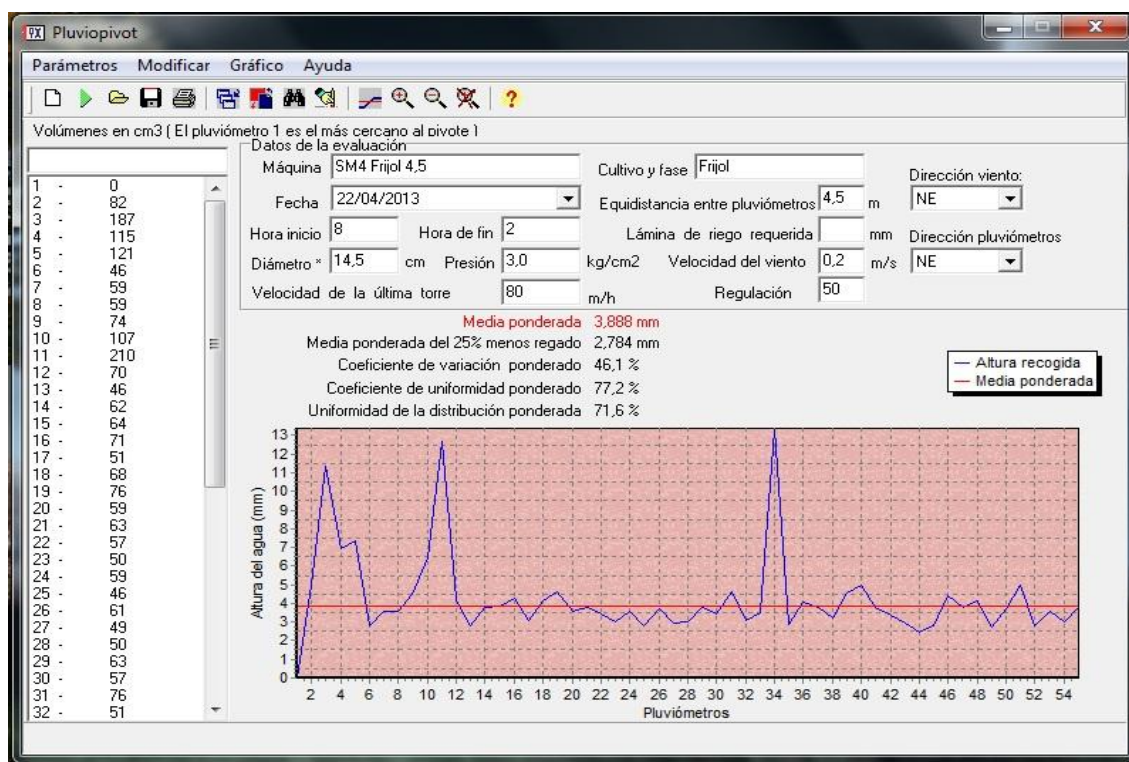


SM-6(3.0m)

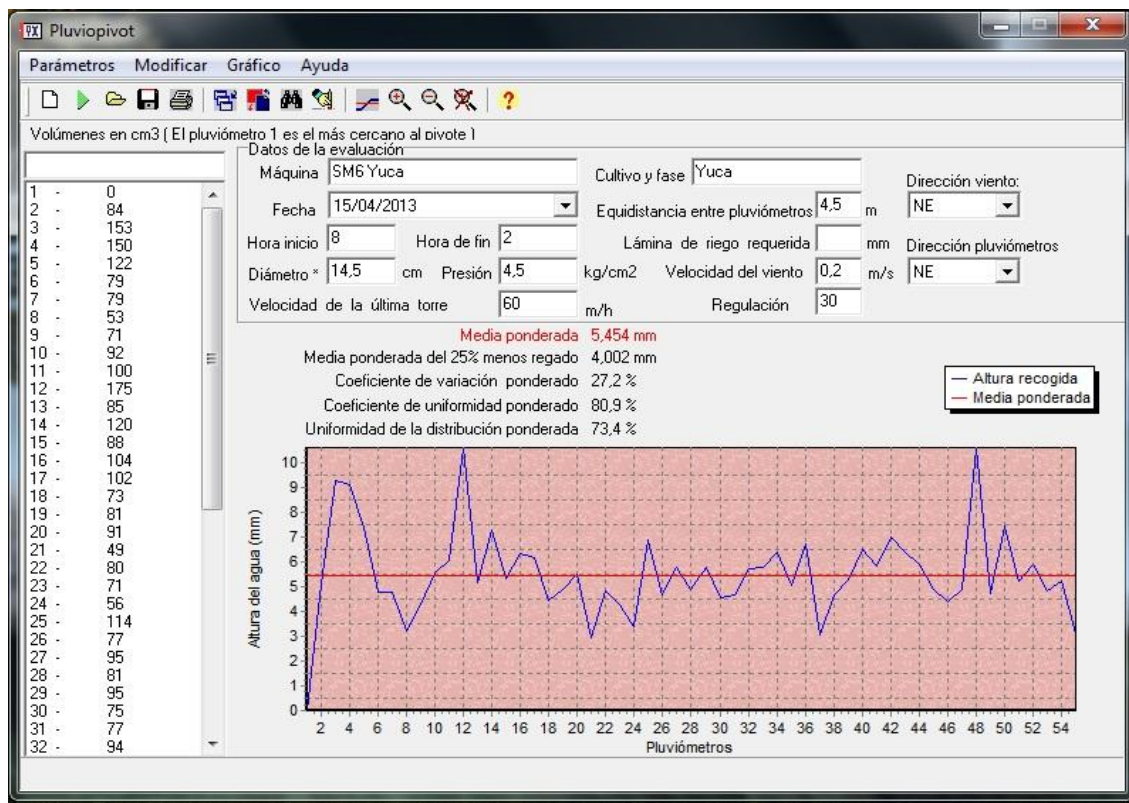


La distancia entre pluviómetros, cálculo de uniformidad de distribución en máquinas de pivote central.

SM-4(4.5m)

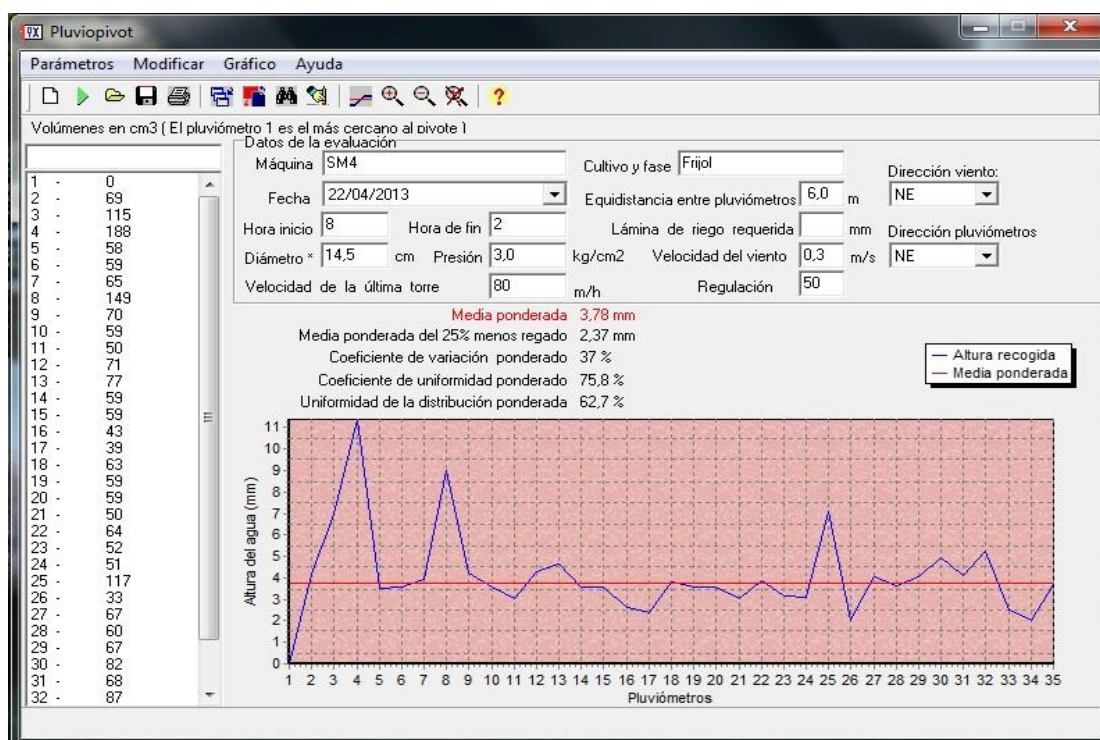


SM-6(4.5m)

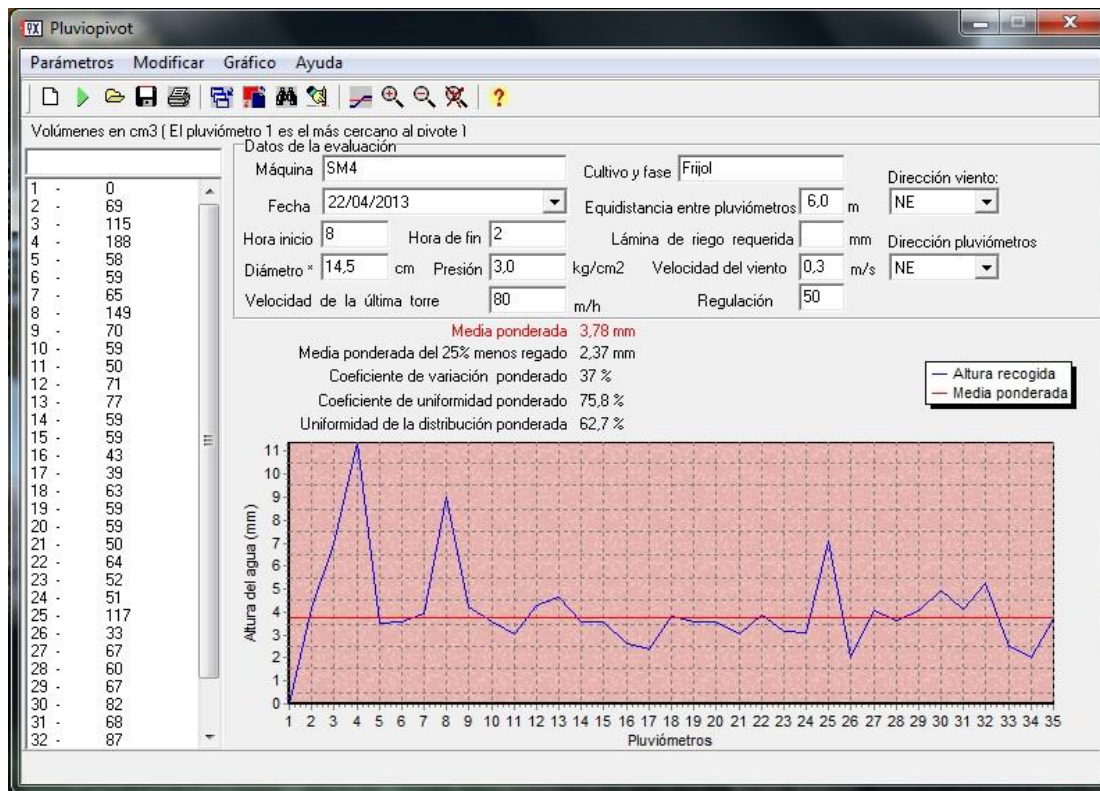


La distancia entre pluviómetros, cálculo de uniformidad de distribución en máquinas de pivote central.

SM-4(6.0m)



SM-6(6.0m)



Comparación de resultados obtenidos según software pluviopivot y método tarjuelo.

Tabla 4. Resultados obtenidos según software pluviopivot.

máquina	SM4				SM6			
Distancia (m)	1.5	3.0	4.5	6.0	1.5	3.0	4.5	6.0
UD %	72.7	70.8	71.6	62.7	68.5	67.6	73.4	68.5
CVk	39.8	41.5	46.1	37.0	29.4	31.3	27.2	31.9
CUk	78.4	77.8	77.2	75.8	79.4	77.9	80.9	78.3
mp 25%	2.74	2.68	2.78	2.37	3.73	3.77	4.0	3.96

Tabla 5. Resultados obtenidos según método tarjuelo.

Máquina	SM4				SM6			
Distancia (m)	1.5	3.0	4.5	6.0	1.5	3.0	4.5	6.0
ARA	46.16	51	49.29	58.19	49.99	46	53.55	53.48
ARE	18.17	17	16.17	13.36	25.36	22	23.12	29.56
ARI	35.67	32	34.5	28.46	24.64	32	23.83	26.02

Leyenda:

UD % ----- uniformidad de distribución.

CVk ----- coeficiente de variación ponderada.

CUk ----- uniformidad de distribución ponderada.

mp 25% ----- media ponderada para el 25 % de las laminas de menor valor.

ARA ----- área regada adecuadamente (%).

ARE ----- área regada excesivamente (%).

ARI ----- área regada inadecuadamente (%).

M. pond----- media ponderada (mm).

En la tabla 4 se observa el comportamiento de UD en las dos máquinas estudiadas, este indicador varía para cada una de las distancias entre la SM4 Y SM6, siendo evaluado como inaceptable para ambos casos según la tabla de evaluación de UD recomendada por (Lamela 2010), además se observa que la UD para la distancia 6m en la SM4 resulta muy baja lo que se debe a que el pluviómetro atiende un área muy dispersa lo que repercute directamente en los resultados según (Pacheco 2010).

Para los indicadores CVk, CUh y mp 25% se mantiene la misma tendencia a la similitud de los mejores valores a reflejarse en las distancias entre 1.5 y 4.5m resultando más afectados para la distancia 6.0m ,lo que nos puede estar demostrando que la distancia de 6.0m no es recomendable en nuestras condiciones.

En la tabla 5 se refleja variación entre las ARA para cada una de las distancias lo que puede estar influenciado por el azar, además nos demuestra que este método no es mas recomendado par distancias amplias confirmando que a mayor numero de muestras (menor distancia entre pluviómetros) es la mayor veracidad de los datos obtenidos.

Conclusiones.

1. Las máquinas de riego SM-4 Y SM-6 de la UEB Santa Martina no son explotadas de manera correcta.
2. La UD en ambas máquinas se califica como inaceptable.
3. Las distancias de 1.5, 3.0 y 4.5 se comportan de forma similar, no siendo para el caso de la de 6.0m.

Recomendaciones.

1. Capacitar al personal técnico de la actividad de riego en el territorio.
2. Cumplir las normas establecidas par el mantenimiento de los equipos de riego.
3. Utilizar para el cálculo de UD distancias entre pluviómetros que se encuentren en el rango 1.5-4.5m, de acuerdo a longitud de la máquina y el número de pluviómetros disponibles.
4. Presentar los resultados obtenidos en Forum u otras actividades científicos del Minag.

Bibliografía.

- Anónimo 1. (1999). Instructivo técnico de riego y drenaje. P.13-26. La Habana. Cuba.
- Alemán, C.; Gonzáles, P.; Pérez, R. y Roque, R. (2003). Organización: Aspecto clave en la sostenibilidad de los sistemas de riego y la eficiencia del uso del agua, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 12(3): 31-36,
- Alfonso, E.: (1998) “Valor relativo del coeficiente de uniformidad en el riego por aspersión con máquinas de pivote central”, Revista Ciencias técnicas agropecuarias. 13(002): 15-21.
- Allen, G. R.; Keller, J.; Martin, D.; (2000). Center Pivot System Design. The irrigation association, Second Edition, Sitio Web: [www. Irrigation. Org](http://www.Irrigation.Org). Agosto,
- Allen, R. G.; and Markley, G. P. (1990). Sprinkler and Trickle Irrigation Lecture Notes. Department of Biological and Engineering.
- Bordusky, j. P.; LyleW, M.; Lascano, R.J. y Upchurch D.R. (1992) Cotton irrigation Managemet with LEPA Systems. Trans. ASAE: 35 (3) pág.879-884.
- Bremond, B.; Molle, B. (1995). Characterization of rainfall under center pivot: influence of measuring procedure, Journal of Irrigation and Drainage Engineer, 121(5):347-353,
- Cárdenas, J. F. (2000). Estudio del uso de la boquilla difusora cubana en las máquinas de riego de pivote central, 76pp., Tesis (en opción al título de Master en Riego y Drenaje), Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, La Habana,
- Cuba, Instituto nacional de recursos hidráulicos (INRH): (2007). 5to Curso Nacional de Inspección Estatal (Bases Jurídicas). Noviembre. Decreto Ley No 138 de las Aguas Terrestres, La Habana, Cuba,

Dillehay, T. D.; (2005). " Preceramic irrigation canals in the peruvian Andes". Design and operation of faro irrigation systems.

Domínguez, M.; Roque, R.; Alemán, C.; Pérez, R. y Villanueva, J. (1998). "Máquina de riego por aspersión de pivote central hidráulica, de baja presión con colgantes", Revista Ciencias Técnicas Agropecuaria., 7(1): 56-58.

Faci, J.; Bercero, A.: (1990). Desarrollo de coeficientes de uniformidad ponderados con la superficie en evaluaciones de riego de ramales auto transportados giratorios (pivotes). Investigación Agr.: Producción y Protección Vegetal. Vol. 5(1):103-113. España.

FAO (Food and Agricultural Organization), (1992). Deficit irrigation practices.

FAO Water Report No.10. Rome, Italy.

FAO (Food and Agricultural Organization), (2002). Deficit irrigation practices.

FAO Water Report No. 22. Rome, Italy.

FAO. (2010). Expectativas futuras para la agricultura regional. Roma, Italia.

FAO. (2012). Reporte regional para América latina y el caribe. Roma, Italia.

FAO. (2002^a). El agua fuente de seguridad alimentaría, Día Mundial del de la Alimentación.

Febles, P. (2012). Conferencia en el curso de agricultura sostenible. ICA. Mayabeque.

Gilley, J.; Mielke, R. LI.N. (1980) Conserving Energy with Low-Pressure Center Pivot Journal of Irrigation and Drainage Division: p.49-58.

Glenn J.; Hoffman and Derrel J.M (1994) Advanced Irrigation Engineering. International Water Irrigation Review.14 (2) p.24-29 goer/biblioteca_virtual/ciencia/tec-papa.pdf [Consulta:15/4/2013].

González .P. (2005) Manual para el diseño y operación de máquina de pivote central. Ed. Instituto de investigación de riego y drenaje Ministerio de la Agricultura. Pág. 1-20.

González, P. y Navarro, R. (1999). Programa de computación (Pívor), para el cálculo de distribución de boquillas y aspersores en las maquinas de pivote central. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 8(2), 33-35.

González, P. (2006). Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes, en las máquinas de riego por aspersión, Informe final, Proyecto 22-18, IIRD, La Habana.

González, C. (2002) Análisis económico de las tecnologías de riego utilizadas en el cultivo de la papa, adaptabilidad, ventajas y desventajas, (inédito).235 pp, Utah. State University. USA.

Harrison, K. and Perry, C.: (2010). Evaluating and Interpreting Application Uniformity of Center Pivot Irrigation Systems C 911. Disponible en http://www.caes.uga.edu/publications/pubDetail.cfm?pk_id=7685. Revisado 22/3/2013.

Heermann, D.; HEIN, F.R. (1968). Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation system, Transactions of the ASAE 11(1): 11-15,

Howell, T.A.: (2003). Water loss comparison of sprinkler packages. Central plains irrigation short course and exposition. February 4-5, 2003, Colby, Kansas. Central plains Irrigation Association, Colby, Kansas. pp.52-58.

Israelsen, O.W.; Hansen, E. (1965) Principios y aplicación del riego. Edición revolucionaria. La Habana. pp.85-98.

- Lamelas, C.: (2010). Elementos parciales para la evaluación de los sistemas de riego a presión. INICA. La Habana. Cuba.
- Lyle P. y Butter G. (1980) Low energy labor from Texas pivot. Irrigation Farmer. 7 (4) pág. 4.
- Merriam, J.L.; Keller, J. (1998). Irrigation system evaluation a guide for management, Utah State University, Logan, UTA, USA,
- Norma UNE-EN 12325-1 (1999). "Técnicas de riego. Instalaciones de pivote central y de avance frontal. Parte 1: Presentación de las características técnicas."
- Norma UNE-EN 12325-2 (2000). "Técnicas de riego. Instalaciones de pivote central y de avance frontal. Parte 2: Funcionamiento y características técnicas mínimas".
- Norma UNE-EN 12325-3 (1999). "Técnicas de riego. Instalaciones de pivote central y de avance frontal. Parte 3: Terminología y clasificación".
- Norma UNE-EN ISO 11545 (2002). "Equipos de riego. Pivote central y sistemas de avance frontal con boquillas para aspersores o difusores. Determinación de la uniformidad en la distribución del riego."
- Pacheco, J. (2008). Servicio de Asesoramiento al Regante en la provincia Villa Clara, 53pp., Informe final del Proyecto Ramal del MINAG, Santa Clara, Villa Clara, Cuba,
- Pacheco, J.; y Yoan, P.C.: (2004). Aplicación de software "Pluviopivot" para el cálculo de coeficientes de uniformidad ponderados por superficie.
- Pérez, L.; Domínguez, R. G.; Cárdenas, L.; Rodríguez, M. J. (2001) Boquilla Difusora Cubana: Criterios para el diseño hidráulico de los pivotes. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias Vol.10, No 1).
- Sourell, H.: (1985). Desarrollo y uso del riego por goteo móvil .Drip/Trickle Irrigation in systems evaluation. A guide for management.
- Tarjuelo, J.M. (1999) El Riego por Aspersión y su Tecnología. Ed. Mundi- Prensa. Madrid. p.231-321.

- Tarjuelo, J. M. (2001), La integración entre investigadores, Gestores y usuarios del regadío. [En línea] Formato de Archivo: PDF/Adobe Acrobat. Disponible en: www.riegosdenavarra.com/sar. [Consulta:25/3/2013].
- Tarjuelo, J. M. (2005). El riego por aspersión y su tecnología, 569pp., Ed. Mundi-Prensa. Tercera edición, Madrid, España,
- Tarjuelo, J. M. (1990). El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona-México. 492 pp.
- Tarjuelo, J. M. (2006). Agua y agronomía. Castilla La Mancha, España: Ediciones Mundiprensa, 490 pp.
- Tornés, N. (2008). Revista Electrónica Granma Ciencia. Vol.12, No.2, Mayo – Agosto.
- Zamora, E. y Chaterlan, Y. (2003). Estrategia Ambiental de riego y drenaje para la seguridad alimentaria en Cuba, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 12(3): 1-4.
- Christiansen, J.E. (1942). Irrigation by Sprinkling. California Agric. Exp. Sta. Bul. 670 Berkeley, Universidad de California, .USA.
- Merrian, J. L.; Keller, J. (1978). Farm irrigation systems evaluation. A guide for management, 235 pp, Utah. State University. USA.
- Merriam, L.; Sheare, M.N.; BURT, C. M. (1980).valuating irrigation systems and Practices. En: Design and operation of faro irrigation systems. Ed: M.E. Jensen. ASAE. Michigan, 721-776. USA.