



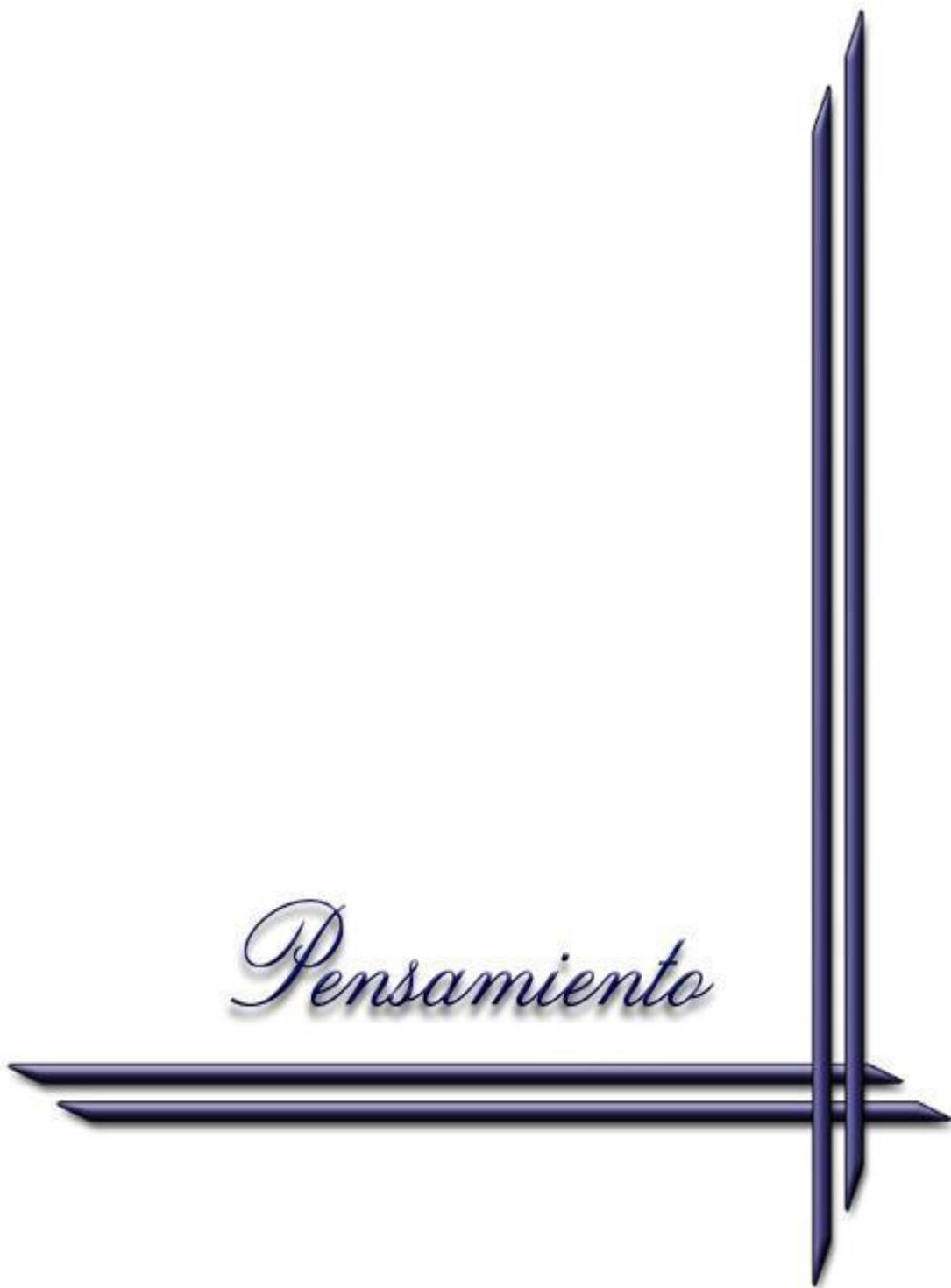
**Universidad de Cienfuegos
Facultad de Ciencias Agrarias
Trabajo de Diploma en opción al Título de
Ingeniero Agrónomo**

**TÍTULO:
Comparación de cuatro métodos para la
evaluación de la uniformidad de riego en
máquinas de pivote central**

**Autor: José Luis Quintana Reina
Tutores: M.Sc. Luis René Cabrera Díaz
Ing. Héctor Morejón González**

Curso 2012-2013

Pensamiento



Debemos prepararnos. Desarrollar tecnologías que nazcan de las condiciones concretas de nuestro suelo, de nuestras materias primas, de nuestro ambiente natural y de nuestro desarrollo actual, para poder dar al mercado cubano, al mercado mundial, los productos de nuestro suelo elaborados hasta el máximo permitido por la técnica de acuerdo a la inventiva y a la ciencia de nuestros propios tecnólogos.

Ernesto Che Guevara



Dedicatoria

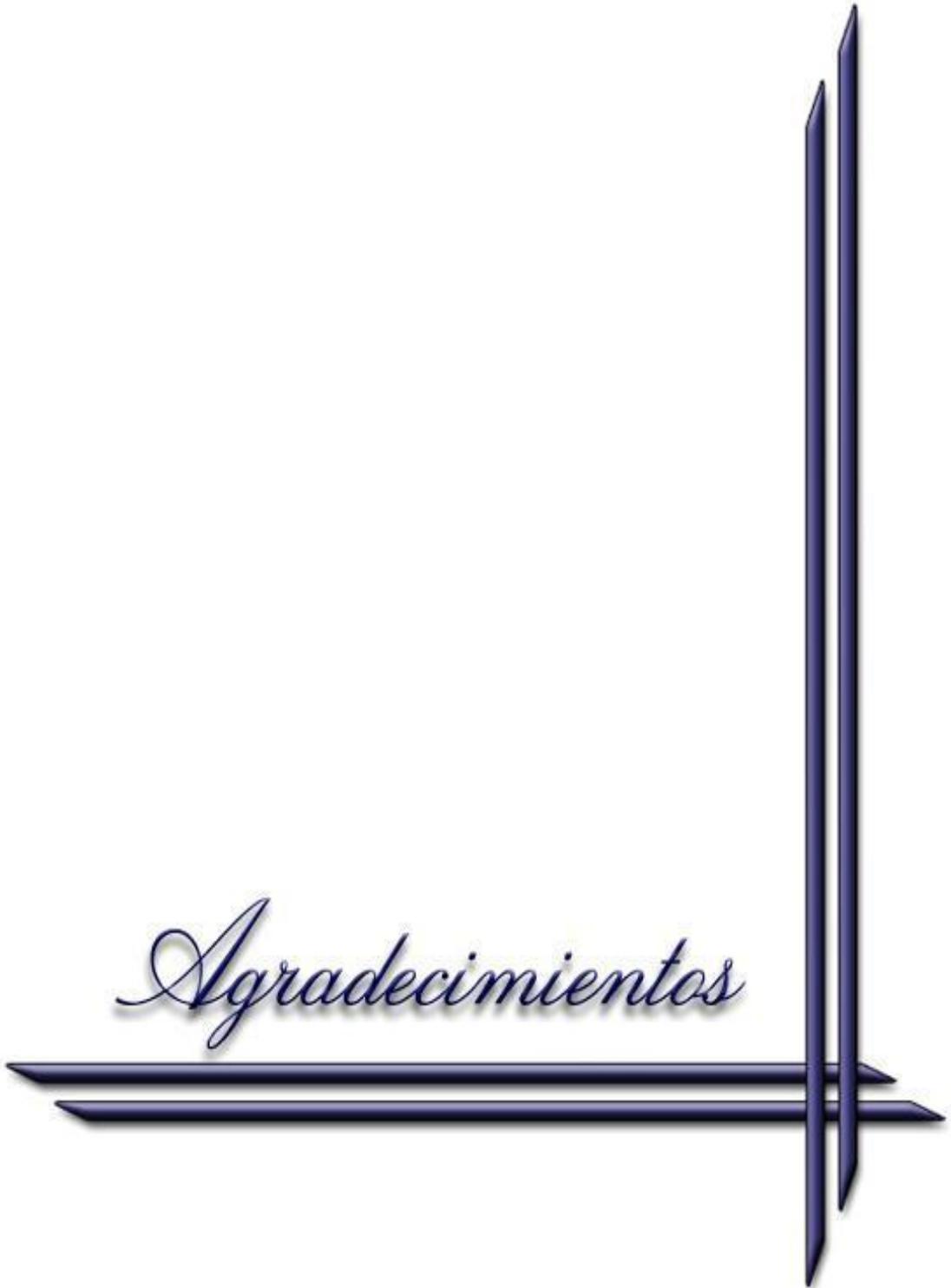


A mi familia que me ayudó para que este esfuerzo constituya la máxima expresión de satisfacción y orgullo del sueño esperado.

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



Indice

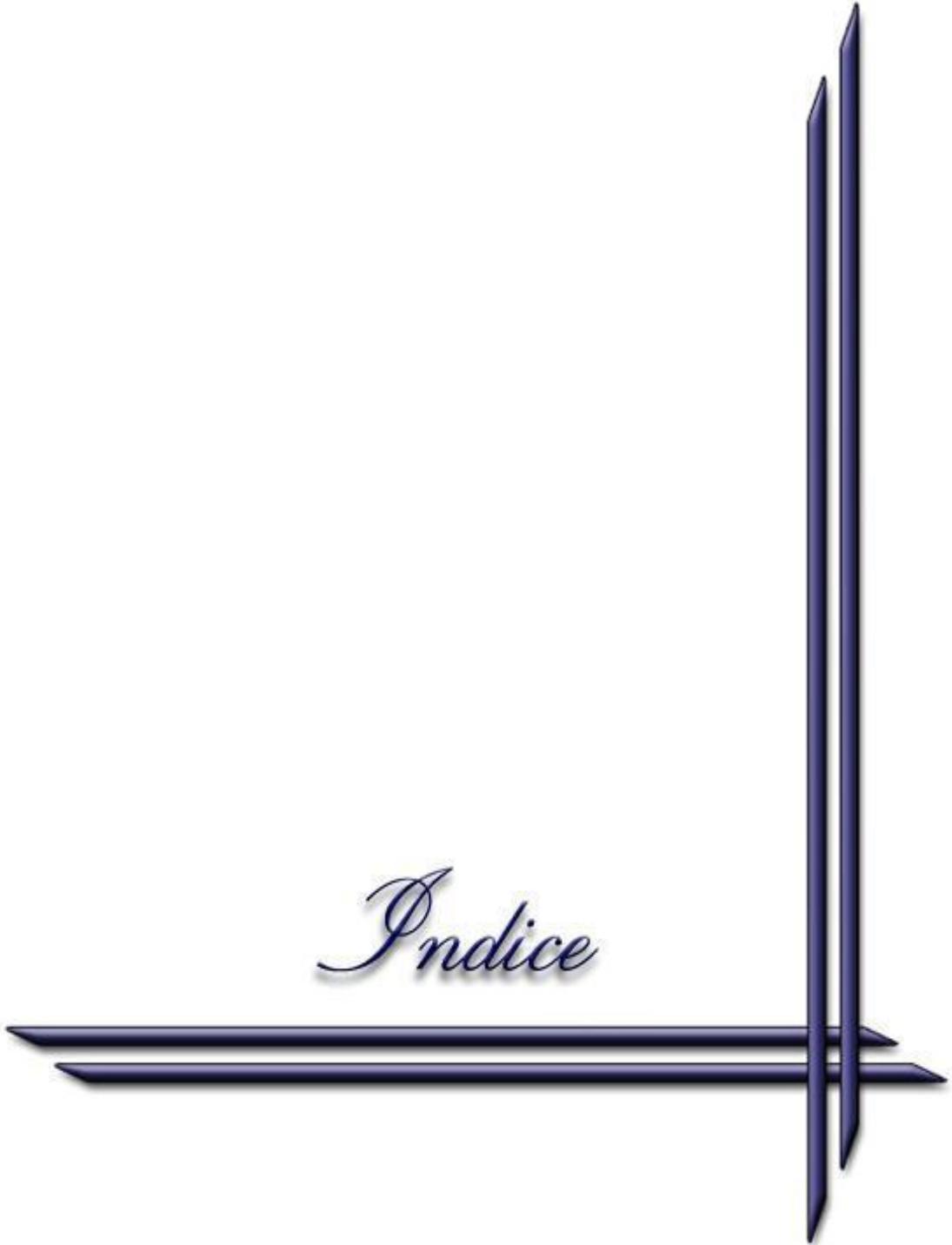
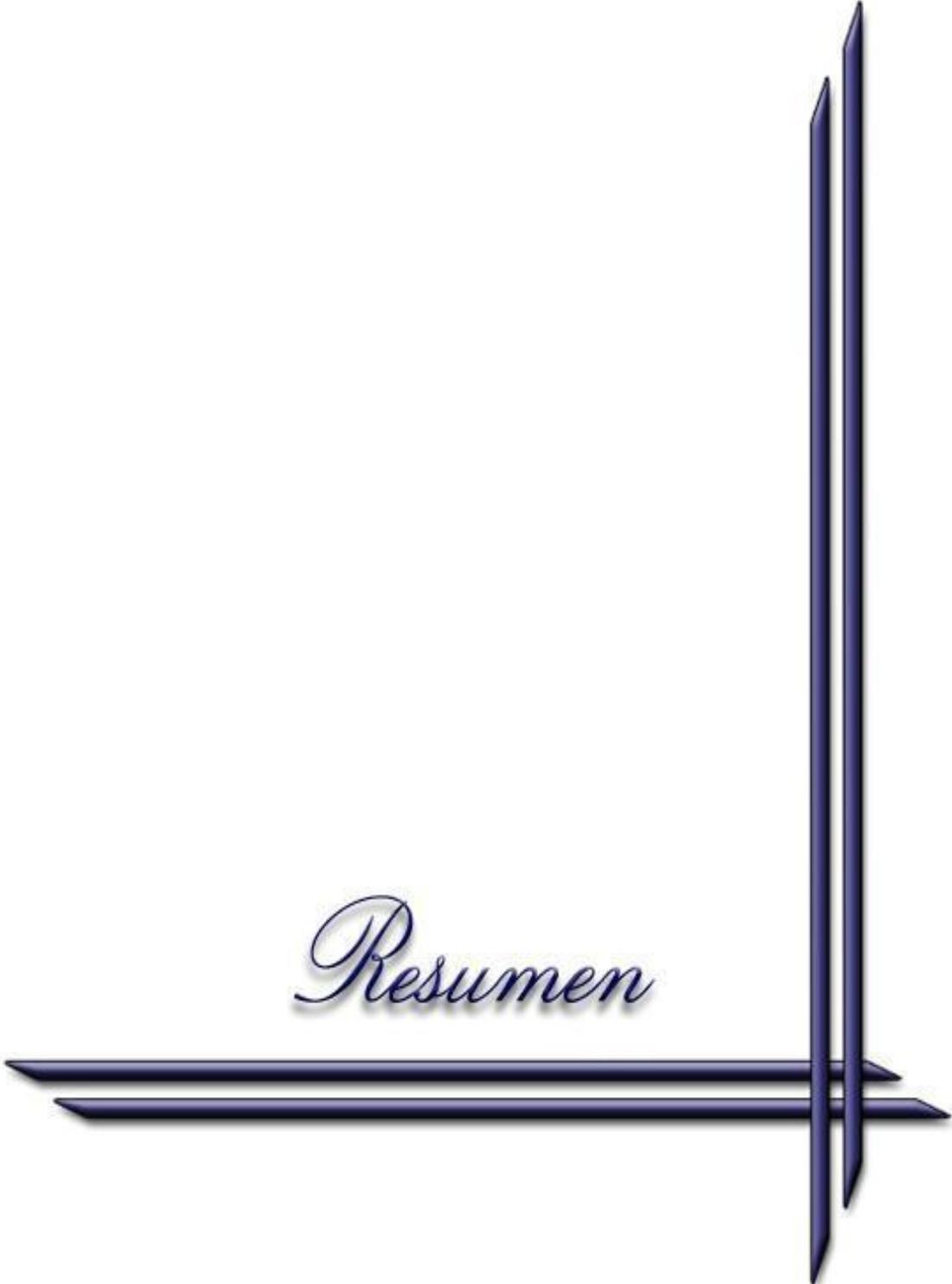


Tabla de contenido

Introducción	<u>1</u>
Problema científico	<u>3</u>
Hipótesis	<u>3</u>
Objetivo general.....	<u>3</u>
Objetivos específicos	<u>3</u>
Capítulo I. Revisión bibliográfica	<u>4</u>
1.1 Historia del riego	<u>4</u>
1.2 Las máquinas de riego.....	<u>5</u>
1.3 Desarrollo del riego con máquinas en Cuba	<u>7</u>
1.4 Desarrollo de emisores	<u>8</u>
1.5 El riego y el medio ambiente.....	<u>9</u>
1.5.1 Reducción del impacto de las gotas sobre el suelo y los cultivos	<u>11</u>
1.6 La uniformidad del riego.....	<u>12</u>
1.7 Evolución de los métodos de evaluación para máquinas de pivote central	<u>13</u>
Capítulo II. Materiales y métodos	<u>16</u>
Capítulo III. Resultado y discusión	<u>30</u>
3.1 Caracterización de las máquinas empleadas.....	<u>30</u>
3.2 Evaluación de las máquinas a través de los métodos utilizados.....	<u>32</u>
Conclusiones.....	<u>38</u>
Recomendaciones	<u>39</u>
Bibliografía	<u>40</u>



Resumen





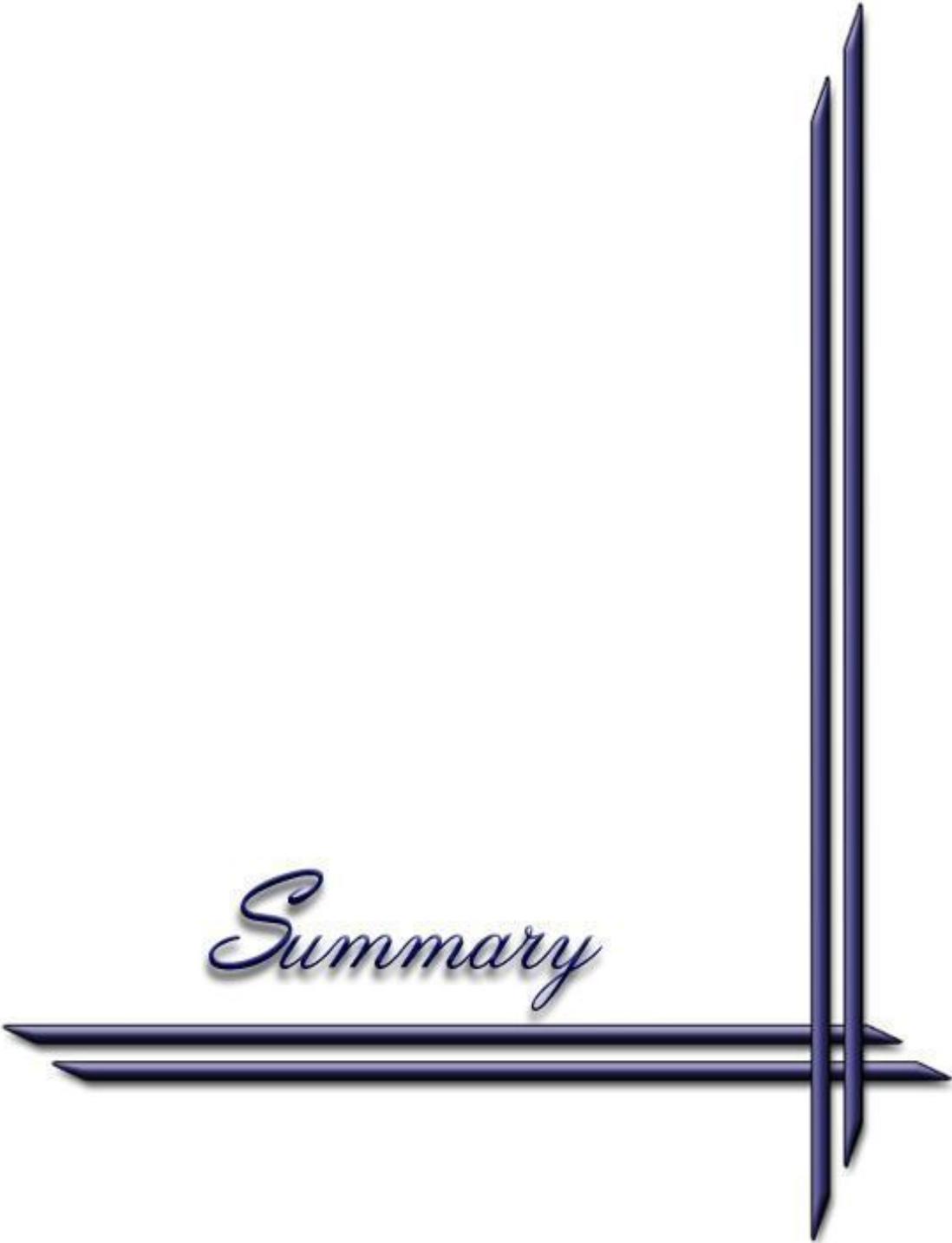
Resumen

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 de las mismas a través de cuatro métodos diferentes de calculo aplicables a las condiciones del lugar, lo que permitiera seleccionar el método más factible, 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 cada uno de los cuatros métodos analizados, pluviopivot y pivot los cuales son software y los de Tarjuelo y Lamelas que son de calculo manual, al analizar los resultados obtenidos fue observado que los resultados no difieren entre ninguno de los métodos, observándose que todos los indicadores analizados se encontraban en parámetros desfavorables y en especial la UD, la cual es catalogada como inaceptable según calificador de uniformidad de riego de Lamelas, (2010), además se determino que el pluviopivot por ser más fácil de utilizar debe ser el más utilizado del calculo de UD, 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 el método más factible de utilizar para las condiciones de producción de la unidad es el pluviopivot aunque se recomienda al de Tarjuelo como método de enseñanza para futuros profesionales del ramo.

Palabras clave. Uniformidad de distribución, riego, métodos de evaluación.



Summary





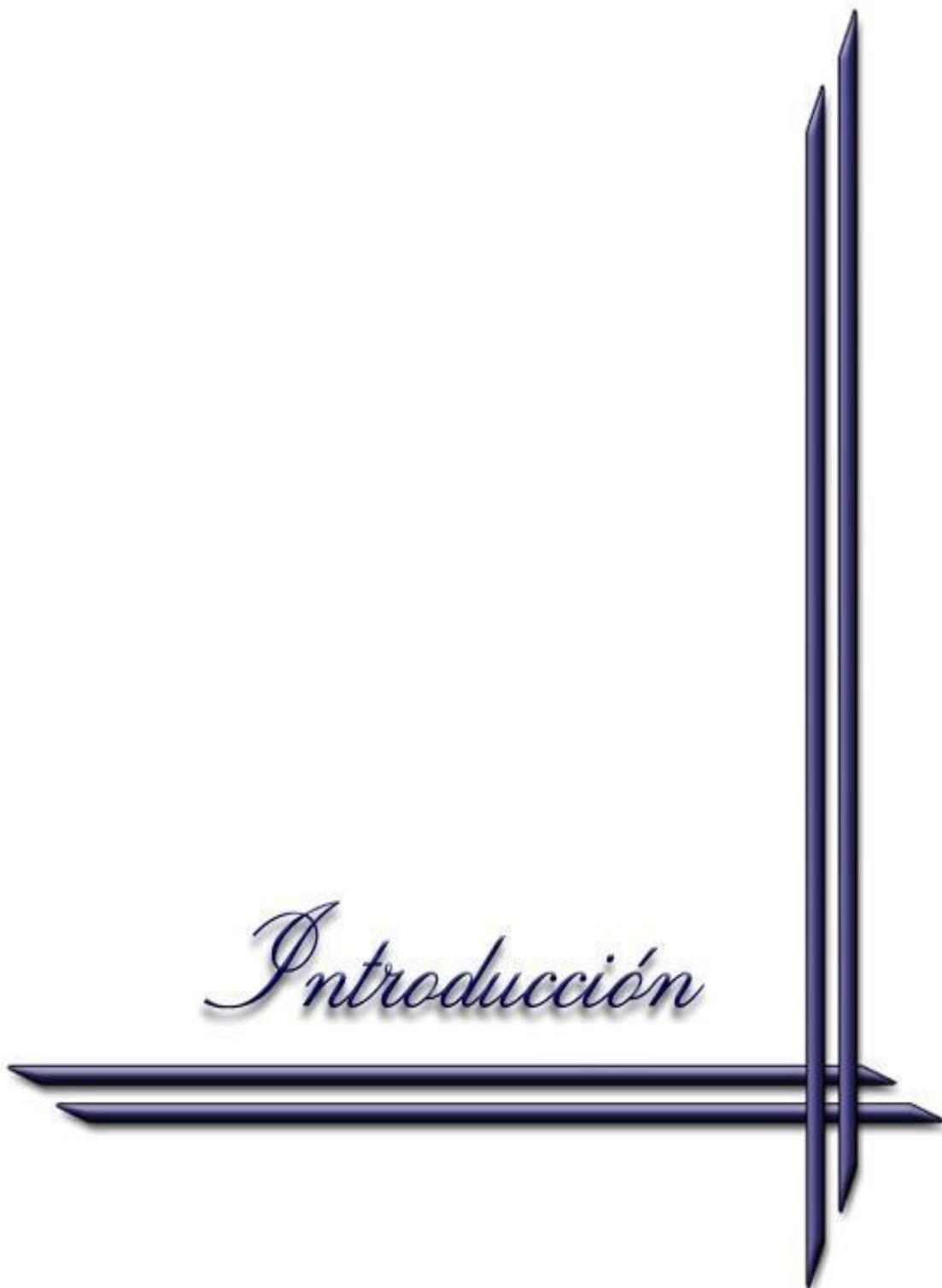
SUMMARY

They studied two hardware of irrigation with central pivot of the UEB " St. Martina of the municipality Cienfuegos to evaluate the applicable behavior of the uniformity of irrigation of the same through four different methods of calculation to the conditions of the place, what he permit to select the more feasible method, the farm measurements came true from the 15/4/2013 to the 27/4/2013, one had in account variables temperature (%), humidity (, velocity of the wind m seg (°C).) And of the machine (m hour), himself I utilize the letter of distribution of emitters recommended by the manufacturer to compare the real distribution in her hardware, but he maintained the existent when accomplishing the evaluation, recollected data were processed by each one of fourth analyzed methods, pluviopivot and pivot which are software and the ones belonging to Tarjuelo and Lamelas that come from manual calculus, when analyzing the obtained results the fact that results do not differ from methods, observándose that all examined indicators were finding in unfavorable parameters among no one was observed and specially the UD, whichShe is catalogued like unacceptable according to Lamelas's examiner of uniformity of irrigation, (2010), besides himself I determine that the pluviopivot to be more user-friendly must be the more utilized one belonging to UD's calculation, among the causes of these unfavorable results they find the deficient preparation of the personnel that labors in these hardware, besides the no fulfillment of designed technology give birth to him efficient use of technology, it is been understood that the more feasible method to utilize for the conditions of production of the unit is the pluviopivot although is recommended to the one belonging to Tarjuelo like teaching method for future professionals of the bunch.

Keywords. Uniformity of distribution, irrigation, appraisal methods.



Introducción





Introducción

La actual situación mundial se caracteriza entre otros aspectos por la utilización irracional de los recursos naturales incluyendo el agua, elemento indispensable para la vida en el planeta y a la que se le debe prestar el mayor interés por parte de los gobiernos, bástese saber que solo el 2% del agua existente es utilizable y mucha de ella se encuentra contaminada actualmente (FAO, 2012).

La mayor reserva de agua dulce que se conoce en el orbe se encuentra en el continente americano (Amazonas), sin embargo ya se sienten en esa importante región sur-americana los efectos del cambio climático y el calentamiento global (Allen y Markley, 1990).

En nuestro país existe una voluntad hidráulica que se demuestra en la construcción de presas, acueductos, canales y otras obras para el beneficio de todos.

La utilización del agua en Cuba para la agricultura representa el 70 % del potencial hídrico lo que resulta insuficiente en relación con las áreas potencialmente cultivables (Alemán *et al.* 2003), a finales del año 2000 existían 241 embalses, con una capacidad total de 8 810 hm³ (INRH, 2007). El área bajo riego aumentó de 162 000 ha en 1958 hasta 1 062 191 ha en 1991, la cifra más alta de la historia (incluida la caña de azúcar).

Se denomina riego por aspersión al método que consiste en aplicar agua a la superficie del terreno, rociándola a la manera de una lluvia ordinaria (Israelsen y Hansen, 1965). Los mismos autores definieron la aspersión como procedimiento de riego que se inicio en 1900. Los primeros sistemas de aspersores empleados en la agricultura fueron solamente una primera evolución de los utilizados para regar el césped de la ciudad. Con anterioridad a 1920, la aspersión estaba limitada a las hortalizas, los viveros y los huertos de frutales.

En 1954 surge la primera máquina de pivote central. Desde entonces las modificaciones que se han introducido en estas máquinas ha propiciado su diseminación por todo el mundo sobre los más diversos suelos y cultivo con disímiles modelos, lo que ha posibilitado no sólo el riego sino también la fertirrigación



con el consiguiente ahorro de equipamientos, el incremento de la productividad y la eficiencia de las labores (Heermann y Hein, 1968).

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, 1980, Gilley y Mielke, 1980, Sourell, 1985, Bordousky *et al.* 1992, Glenn *et al.* 1994, Tarjuelo, 1999).

Cuba cuenta con más de 32.000 hectáreas beneficiadas con alrededor de 1 000 máquinas de pivote de diferentes generaciones y modelos, aunque todas tienen en común el uso de boquillas difusoras más económicas y sustentables (Domínguez *et al.* 1998).

La falta de uniformidad de los sistemas de riego ha sido compensada con la utilización de normas de riego mayores que lo necesario, sin embargo esta práctica trae aparejado un incremento en el uso de fertilizantes, la contaminación de los mantos acuíferos, problemas de drenaje, la sobreexplotación de los equipos y el incremento de los costos de la actividad.

La uniformidad de aplicación del riego es un parámetro muy relacionado con los rendimientos de los cultivos. Para calcularlo se han utilizado diversos métodos, los cuales parten de la aplicación de modificaciones en el cálculo del coeficiente Christiansen.

En la actualidad en Cuba los métodos más aplicados son el Pluviopivot de la UCLV, desarrollado por (Pacheco *et al.* 2008), el Pívote diseñado por González y Navarro, (1999) del IIRD, el propuesto en el INICA por Lamelas *et al.* (2010), por último el sistema desarrollado por Tarjuelo, (2005) y descrito en su libro "El riego por aspersión y su tecnología".

Existen diferentes enfoques en los elementos aportados por estos métodos, haciéndose necesario en la práctica definir el más adecuado en nuestras condiciones reales de producción.

Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.



Problema científico

¿Cuál será el método que mejor evalué la uniformidad del riego con máquinas de pivote central en las condiciones de la UEB, "Santa Martina"?

Hipótesis

Si se dispone del método que evalué con mayor exactitud la uniformidad del riego con máquinas de pivote central en las condiciones de la UEB "Santa Martina" se podrá explotar adecuadamente la tecnología, realizar el riego de manera más uniforme y hacer un uso más sostenible de los recursos suelo y agua.

Objetivo general

Evaluar cuatro sistemas de cálculo de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central de la UEB "Santa Martina" de la "Empresa Pecuaria Sierrita".

Objetivos específicos

- ✓ Realizar un estudio de los diferentes métodos de cálculo de uniformidad de riego y otros indicadores de evaluación.
- ✓ Caracterizar las máquinas sometidas a estudio.
- ✓ Proponer el método más adecuado para el cálculo de la uniformidad de riego en nuestras condiciones.



Capítulo I





I. Revisión bibliográfica

1.1. Historia del riego

El acto de aplicar agua a los cultivos es una actividad que data del siglo VI a.n.e., investigaciones arqueológicas han encontrado evidencia de riego en Mesopotamia y Egipto, donde la cebada era sembrada en lugares con niveles de precipitaciones insuficientes para satisfacer al cultivo.

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 n.e. 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 el 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 grandes distancias favoreciendo de manera directa el desarrollo del riego que avanzaba día a día y se extendía por todo el mundo.

Esta práctica es hoy imprescindible para el desarrollo agrícola necesario para alimentar los 6000 millones de habitantes que según (FAO, 2012) habitan nuestro planeta.

En la actualidad el hombre desafía los climas más extremos para cultivar alimentos y el éxito de esta labor muchas veces va aparejado del uso de modernos sistemas de riego, los cuales permiten obtener rendimientos impensables años atrás en estos lugares del mundo.

No hay duda que el riego representa en la actualidad un pilar fundamental para el logro de una agricultura sostenible a nivel mundial.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

1.2. Las máquinas de riego.

Numerosos han sido los cambios ocurridos en la agricultura desde que en la década del 50 comenzara a girar la primera máquina de pivote central en Nebraska, EU, (Harrison y Perry, 2010)

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).

Por otra parte esta tecnología debe ser empleada según las normas técnicas diseñadas por los fabricantes y que acompañan a cada máquina ya que esta será la garantía del uso adecuado del equipo, que al ser explotado inadecuadamente repercute en los resultados económicos y deja una huella ambiental en el agro-ecosistema.

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



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

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.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

- 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. Desarrollo del riego con maquinas en Cuba.

En nuestro país según González, (2005) 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 1200 máquinas, aunque los efectos del derrumbe del campo socialista sin duda afecto la actividad agrícola de forma general.

Por otra parte la ocurrencia de fenómenos naturales extremos en el período del año 2000 al 2005 afectó de manera notable la tecnología de riego lo que unido a la falta de un mantenimiento adecuado y la indisciplina tecnológica han deprimido esta importante actividad, la cual en estos momentos se encuentra en un proceso de renovación acorde al reordenamiento de la agricultura cubana.

La expansión de esta técnica ha permitido estabilizar las grandes producciones de papa, viandas y hortalizas sobre los suelos de mejores condiciones desde el punto de vista agrícola.

Aunque en extensión, 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.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

1.4. Desarrollo de emisores.

El uso de aspersores permitió que la actividad de riego se hiciera más eficiente tanto productiva como ambientalmente, esto se debe principalmente según Bordousky *et al.* (1992) a la mejora en la uniformidad de riego que esto trajo consigo.

Por otra parte el ahorro de portadores energéticos que se logra utilizando los difusores de baja presión permiten aumentar el número de máquinas de riego sin que sea necesario una demanda mayor de energía por parte de la agricultura, esto trae un impacto favorable en el aumento de los rendimientos tan necesarios actualmente.

A pesar de la dura crisis económica en que se vio envuelta Cuba con la caída del campo socialista las máquinas de riego fueron modernizadas en esa misma época ayudando así al desarrollo del denominado plan alimentario (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



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central. 8m, 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.* 2008) 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.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central. Según reportes del (FAO, 2002a) 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 alimentaria 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, (2012) 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.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central. 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

1,52MMha 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.

Esto tiene una repercusión directa sobre la calidad del riego, por lo que es determinante en los resultados productivos, sin embargo un mal manejo de las tecnologías establecidas para este tipo de riego puede influir negativamente en los resultados alcanzados.

La última tecnología disponible en el mercado internacional es el rotatorio, 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%

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 4,00 m 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 (Howell, 2003).



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

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 sin tener un efecto desfavorable en el medio ambiente, contribuyendo además a la conservación del suelo, haciendo el sistema mas sostenible que en épocas atrás.

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

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 aspersion por debajo de la copa de los árboles en vez de riego por aspersion 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.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

- Disposición correcta de los emisores en el riego por aspersión (1998), el rápido riego, cultivo.

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 maquina 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.

- 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.

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



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

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.

$$CU_v = \left[1 - \frac{1}{\frac{\sum C_i D_i}{D_i}} \cdot \sqrt{\frac{\sum \left(C_i - \frac{\sum C_i D_i}{\sum D_i} \right)^2 D_i}{\sum D_i}} \right] \cdot 100 \text{ (\%)} \tag{3}$$

Uniformidad de distribución del 25% menos regado:

$$UD_{25\%} = \frac{\text{Lámina media en el 25\% del área menos regada}}{\text{Lámina media de toda el área}} \cdot 100 \text{ (\%)} \tag{4}$$

(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,



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

1999) y el “**Simufre**” referido por (Pérez, 2001), los cuales como resultado ofrecen las soluciones para mejorar la distribución del agua, se puede señalar además otros métodos de calculo 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 maquinas 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 aspersion, 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), citados 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.* (2004), Pérez, (1998) y Pacheco, (2008).



Capítulo II



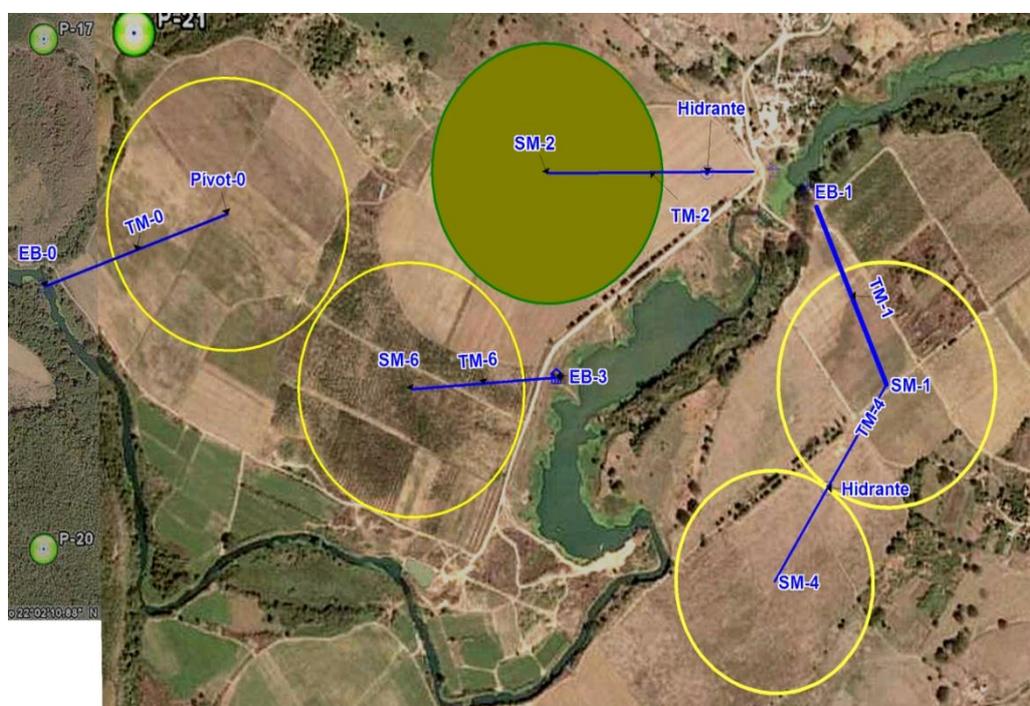


Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

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 (figura 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
José Luis Quintana Reina.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

y occidental de la provincia, clasifica el tipo de Llanuras onduladas, que son áreas con superficies planas con irregularidades en su micro relieve, 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 $2\text{m}/\text{km}^2 - 10\text{m}/\text{km}^2$, 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 estudio 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 utilizará 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 máquinas.

Cálculo de la franja de riego.

Se evaluarán 2 máquinas de riego con las siguientes características.

Tabla 3. Cálculo de la franja de riego.

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 colocará 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

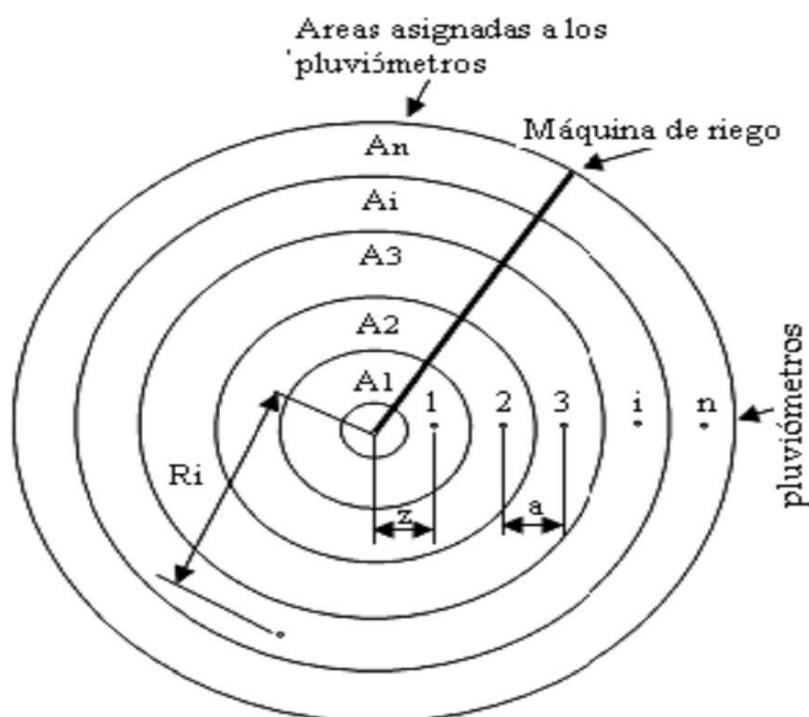


Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

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).

En el gráfico 2 se muestra la colocación de los pluviómetros.

Gráfico 2. Colocación de los pluviómetros.



Se le realizaron 3 evaluaciones a cada máquina

Ancho de franja regado:

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



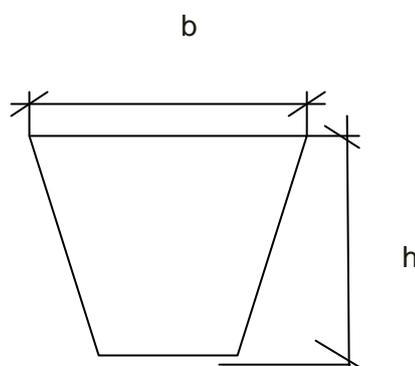
Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

- 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.



- Distancia entre los pluviómetros es igual a 3 metros.

-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

Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.



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 X_0 , 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 desarrollados.

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

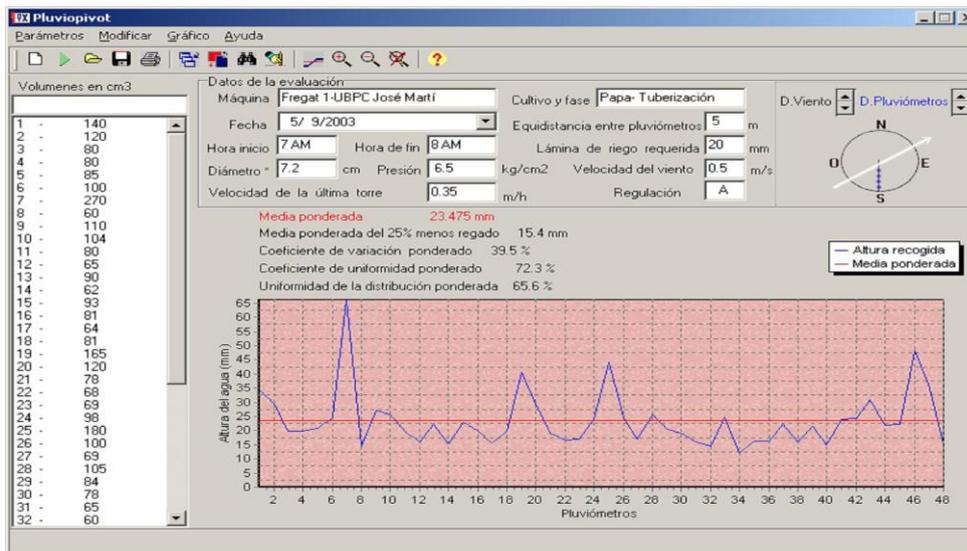
1. Pluviopivot.

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.

Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.



Grafico 4. Ventana de salida Pluviopivot.



2. Pivot.

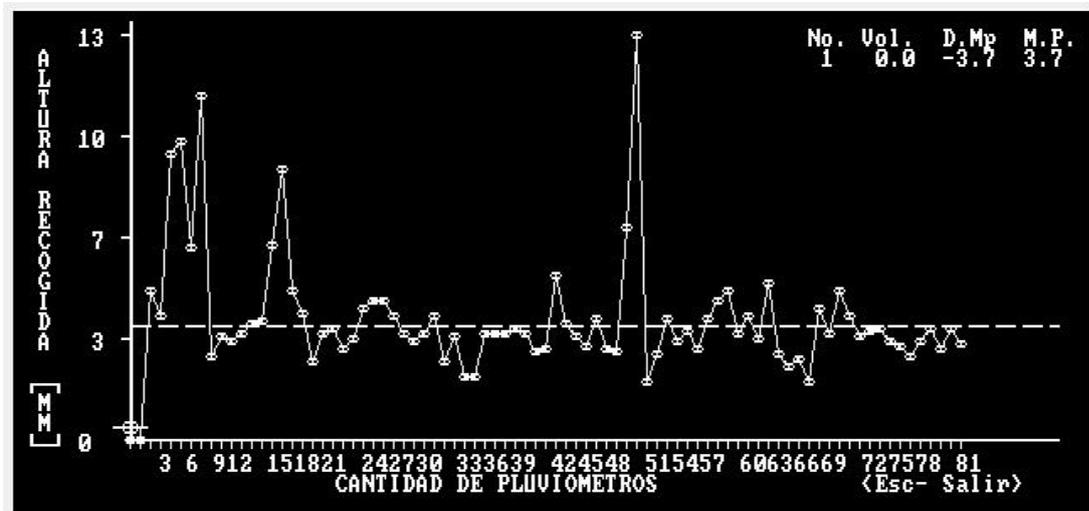
Software diseñado por González y Navarro, (1999) del IIRD. Esta Opción permite calcular los parámetros de la uniformidad del riego de una maquina de pivote para lo cual es necesario colocar una línea de pluviómetros espaciados de 1.5 a 5 m dependiendo de la longitud de la máquina y la cantidad de pluviómetros disponibles. La lámina de agua recogida en cada pluviómetro se introduce en mm.

Grafico 5. Ventana 1 de salida Pivot.





Grafico 6. Ventana 2 de salida Pivot.



3. 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 4. Evaluación de una máquina de pivote central por el método de ponderación de distancia acumulada al pivote.

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



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

43	129	91	5.51	405.27	2233.35	0.2432
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

Fuente. (Tarjuelo, 2010).



4. El propuesto en el INICA por Lamelas *et al.* (2010), Este método sigue el sistema de cálculo manual, con los volúmenes recolectados se determinara:

La media ponderada de los volúmenes recogidos en los pluviómetros utilizados (Vm).

La media ponderada de los volúmenes recogidos en el 25% de la superficie peor regada (V 25%).

La uniformidad de distribución (UD), se obtendrá (V 25%) / (Vm).

Nota: En este método se eliminan el 20% de los pluviómetros a partir del pivote.

Tabla 5. Evaluación de una máquina de pivote central por el método de Lamela en base a ponderación según el área que atiende cada pluviómetro.

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 ha)	Area regada (ha)
17	51	82	4.97	160.22	0.48	0.10
18	54	70	4.24	169.65	0.43	0.10
19	57	44	2.66	179.07	0.29	0.11
20	60	59	3.57	188.50	0.40	0.11
21	63	62	3.75	197.92	0.45	0.12
22	66	50	3.03	207.35	0.38	0.12
23	69	56	3.39	216.77	0.44	0.13
24	72	72	4.36	226.20	0.59	0.14
25	75	77	4.66	235.62	0.66	0.14
26	78	77	4.66	245.04	0.69	0.15
27	81	68	4.12	254.47	0.63	0.15
28	84	59	3.57	263.89	0.57	0.16
29	87	55	3.33	273.32	0.55	0.16
30	90	59	3.57	282.74	0.61	0.17
31	93	68	4.12	292.17	0.72	0.18
32	96	43	2.60	301.59	0.47	0.18
33	99	57	3.45	311.02	0.64	0.19
34	102	35	2.12	320.44	0.41	0.19
35	105	35	2.12	329.87	0.42	0.20
36	108	59	3.57	339.29	0.73	0.20
37	111	59	3.57	348.72	0.75	0.21
38	114	59	3.57	358.14	0.77	0.21
39	117	61	3.69	367.57	0.81	0.22
40	120	59	3.57	376.99	0.81	0.23
41	123	49	2.97	386.42	0.69	0.23
42	126	50	3.03	395.84	0.72	0.24
43	129	91	5.51	405.27	1.34	0.24



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

44	132	64	3.88	414.69	0.96	0.25
45	135	57	3.45	424.12	0.88	0.25
46	138	52	3.15	433.54	0.82	0.26
47	141	67	4.06	442.97	1.08	0.27
48	144	51	3.09	452.39	0.84	0.27
49	147	49	2.97	461.82	0.82	0.28
50	150	117	7.09	471.24	2.00	0.28
51	153	221	13.38	480.66	3.86	0.29
52	156	33	2.00	490.09	0.59	0.29
53	159	48	2.91	499.51	0.87	0.30
54	162	67	4.06	508.94	1.24	0.31
55	165	54	3.27	518.36	1.02	0.31
56	168	60	3.63	527.79	1.15	0.32
57	171	51	3.09	537.21	1.00	0.32
58	174	67	4.06	546.64	1.33	0.33
59	177	76	4.60	556.06	1.54	0.33
60	180	82	4.97	565.49	1.68	0.34
61	183	59	3.57	574.91	1.23	0.34
62	186	68	4.12	584.34	1.44	0.35
63	189	56	3.39	593.76	1.21	0.36
64	192	87	5.27	603.19	1.91	0.36
65	195	48	2.91	612.61	1.07	0.37
66	198	41	2.48	622.04	0.93	0.37
67	201	45	2.73	631.46	1.03	0.38
68	204	33	2.00	640.89	0.77	0.38
69	207	73	4.42	650.31	1.72	0.39
70	210	59	3.57	659.74	1.41	0.40
71	213	82	4.97	669.16	1.99	0.40
72	216	68	4.12	678.59	1.68	0.41
73	219	57	3.45	688.01	1.42	0.41
74	222	60	3.63	697.44	1.52	0.42
75	225	61	3.69	706.86	1.57	0.42
76	228	55	3.33	716.28	1.43	0.43
77	231	52	3.15	725.71	1.37	0.44
78	234	46	2.79	735.13	1.23	0.44
79	237	55	3.33	744.56	1.49	0.45
80	240	61	3.69	753.98	1.67	0.45
81	243	50	3.03	763.41	1.39	0.46
82	246	62	3.75	772.83	1.74	0.46
83	249	53	3.21	782.26	1.51	0.47
Total	10458	5529	334.83	32854.85	75.13	19.71

Fuente. Lamela 2010



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central. Para calificar las UD obtenidas se utilizó el calificador de (Lamela, 2010), (ver tabla 6)

Tabla 6. Calificador de UD.

UD (%)	Calificación.
> 85	Excelente
75-85	Buena
<75	inaceptable

Fuente. (Lamela, 2010).

Capitula III





III. Resultados y discusión.

3.1. 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 Normas técnicas. (UNE-EN 12325-1:1999, UNE-EN 12325-2:2000, UNE-EN 12325-3:1999 y ISO-11545-2002), lo que trae aparejado una deficiente explotación de la técnica, estando propensa la misma al desgaste y roturas.

Se detectaron 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 1).

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, lo cual afecta todos los parámetros de trabajo de las máquinas de riego, en especial la UD, la misma para todos los casos resultaron ser menor del 75 % , por lo que se evalúa de inaceptable este importante parámetro.

Al estar afectado la UD, los resultados productivos son perjudicados y además la huella ambiental de la actividad de riego se hace más notable al contribuir al lavado de los suelos, erosionando los mismos y contaminando el medio ambiente.

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.

Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.



Por otra parte la sub-utilización de la tecnología de riego fue evidente en algunos casos, observándose poca población de plantas en el Maíz lo que repercute directamente en los resultados productivos de la UEB, sin embargo existían cultivos como el Plátano (*musa paradisiaca*) sin ser beneficiado por riego al estar las máquinas averiadas e incompletas.

La falta de un plan para el desarme efectivo de las máquinas en caso de catástrofes naturales fue otro de los aspectos que llaman la atención en la UEB objeto de estudio esto podría traer consecuencias negativas en caso de ocurrencia de fenómenos tales como los fuertes huracanes que pueden afectar el país en la época lluviosa.

Para una posible solución a las deficiencias detectadas sería necesario la aplicación de 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.

El resultado obtenido se manifiesta gráficamente en las ventanas de salida de los Software utilizados.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

3.2. Evaluación de las maquinas a través de los métodos utilizados.

Relación entre altura recogida y distancia del centro del pivote.

Gráfico 7. Ventana salida pivot (Máquina SM-4).

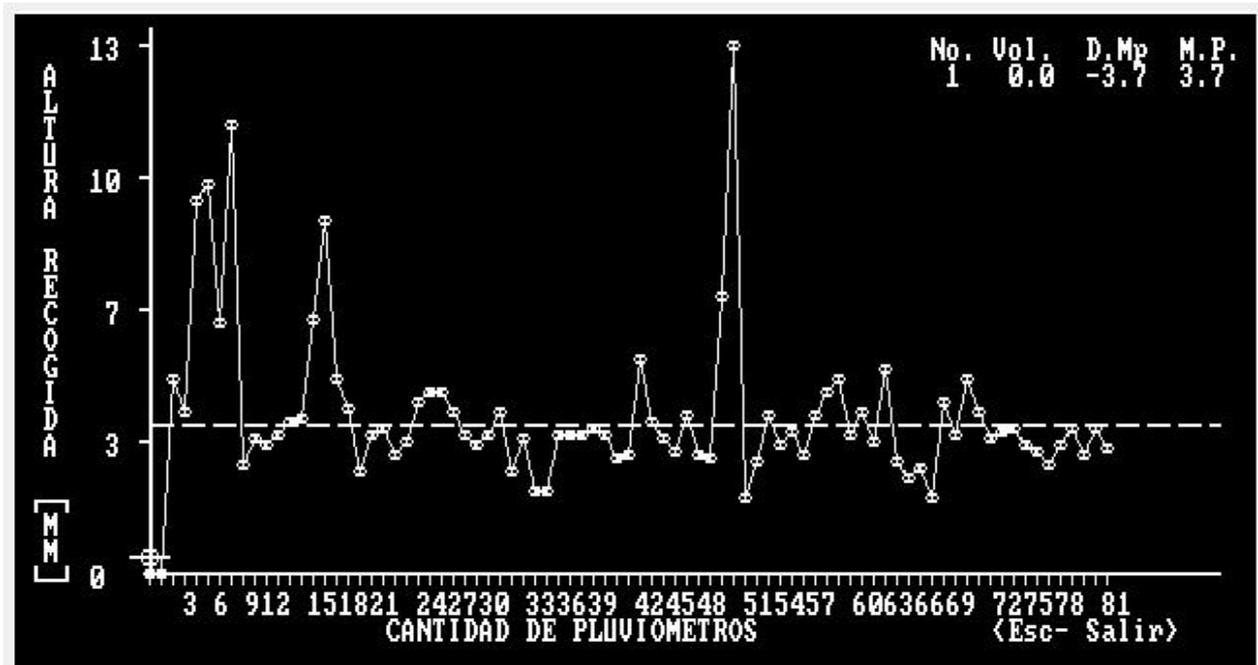


Gráfico 8. Ventana salida pivot (Máquina SM-4).



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.



Gráfico 9. Ventana salida pivot (Máquina SM-6).

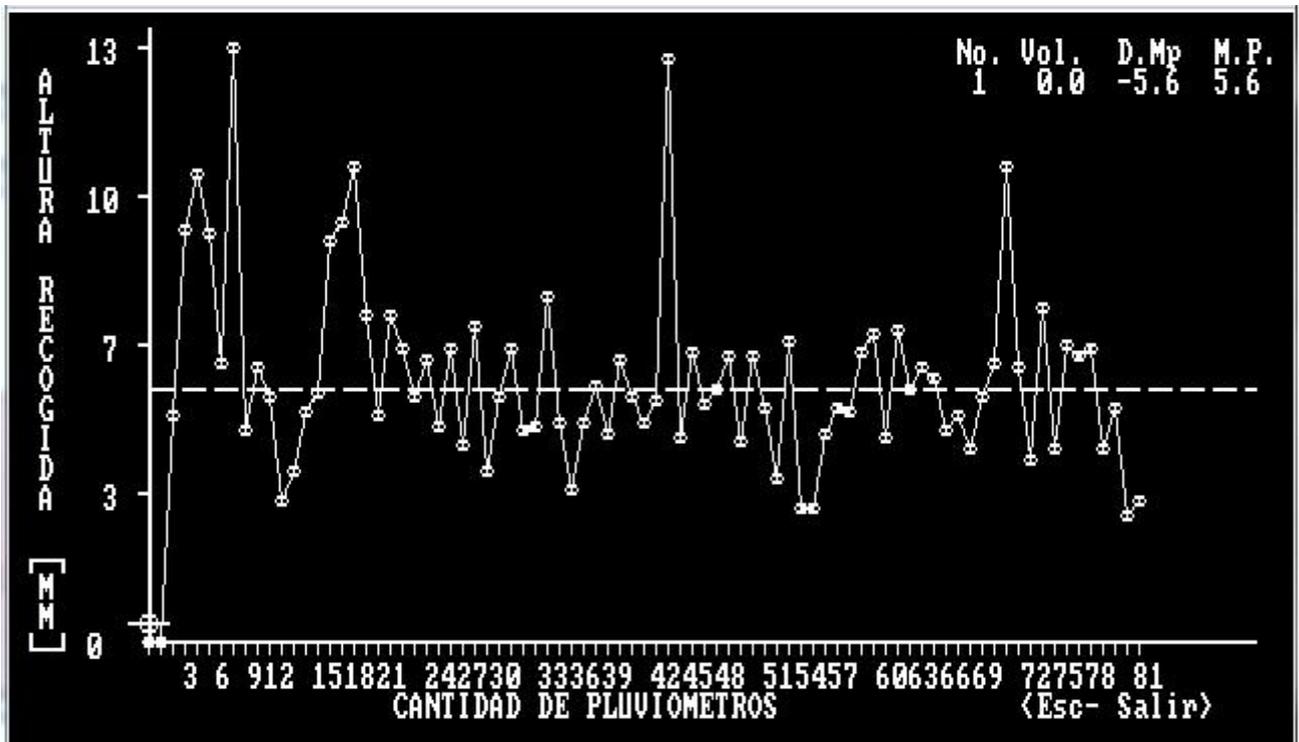
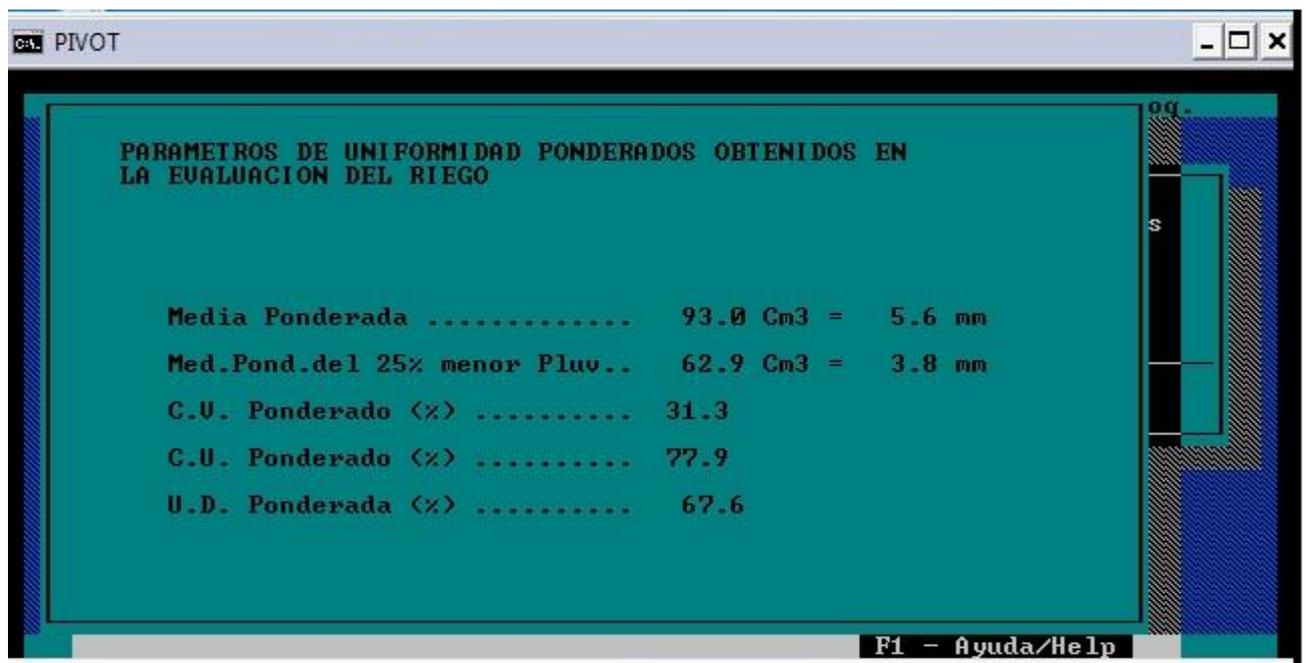


Gráfico 10. Ventana salida pivot (Máquina SM-6).





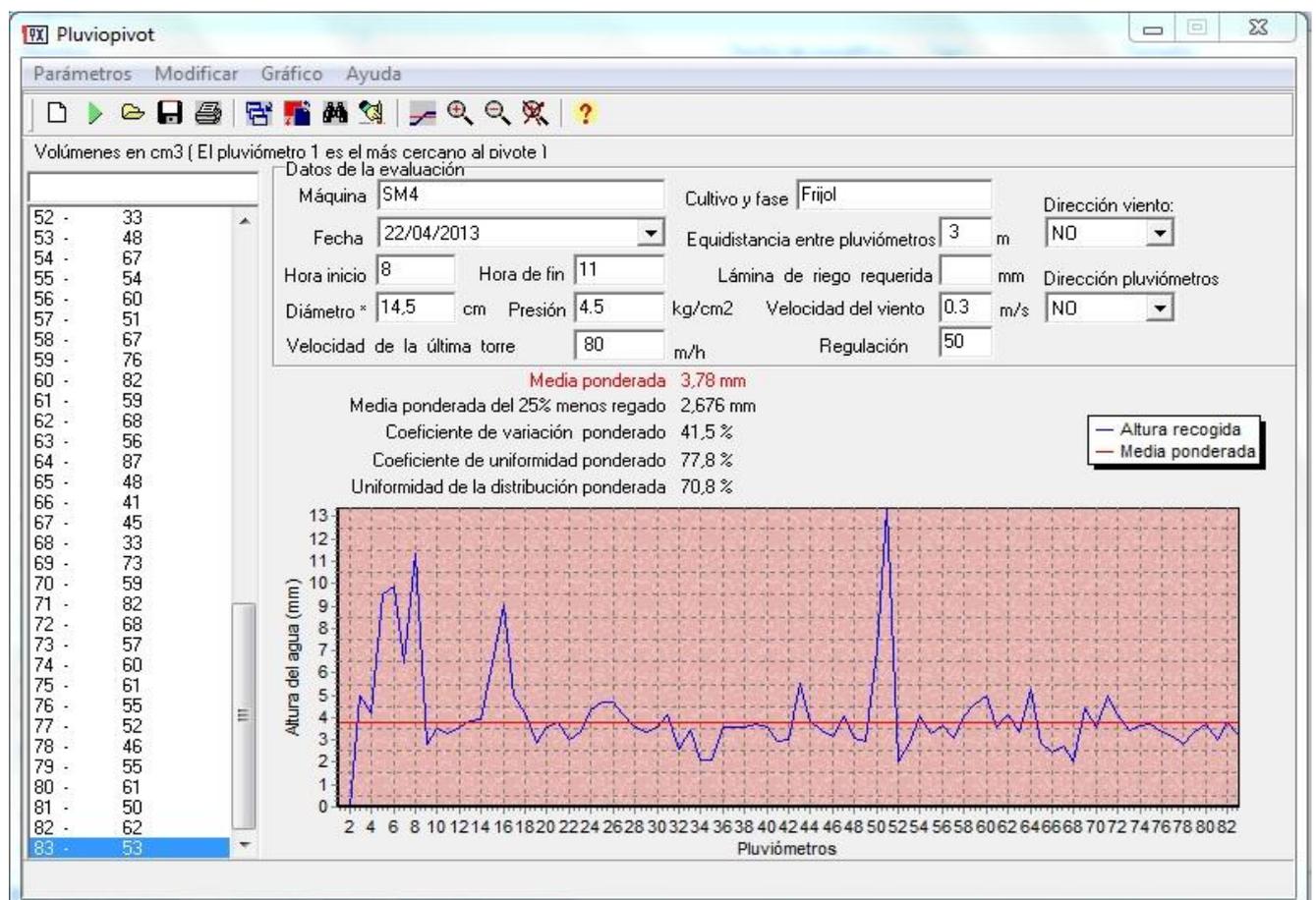
Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

En los gráficos del 7 al 10 pertenecientes al software Pívo se aprecian diferencias en la lluvia recogida en la mayoría de los pluviómetros, existiendo zonas de altos valores de volumen recogido lo que es influenciado por salideros afectándose la UD para ambas máquinas aunque la SM-4 es la que peor comportamiento muestra.

Se debe señalar teniendo en cuenta lo planteado por Tarjuelo (2010) con respecto a la influencia de la velocidad del viento en los valores de UD que en este caso no excedió los 0.3m/s no repercutiendo directamente en este importante indicador.

Por otra parte el valor bajo de la media ponderada se debe a que se trabajó con regulación del 50% y al aumentar la velocidad disminuye la norma neta aplicada.

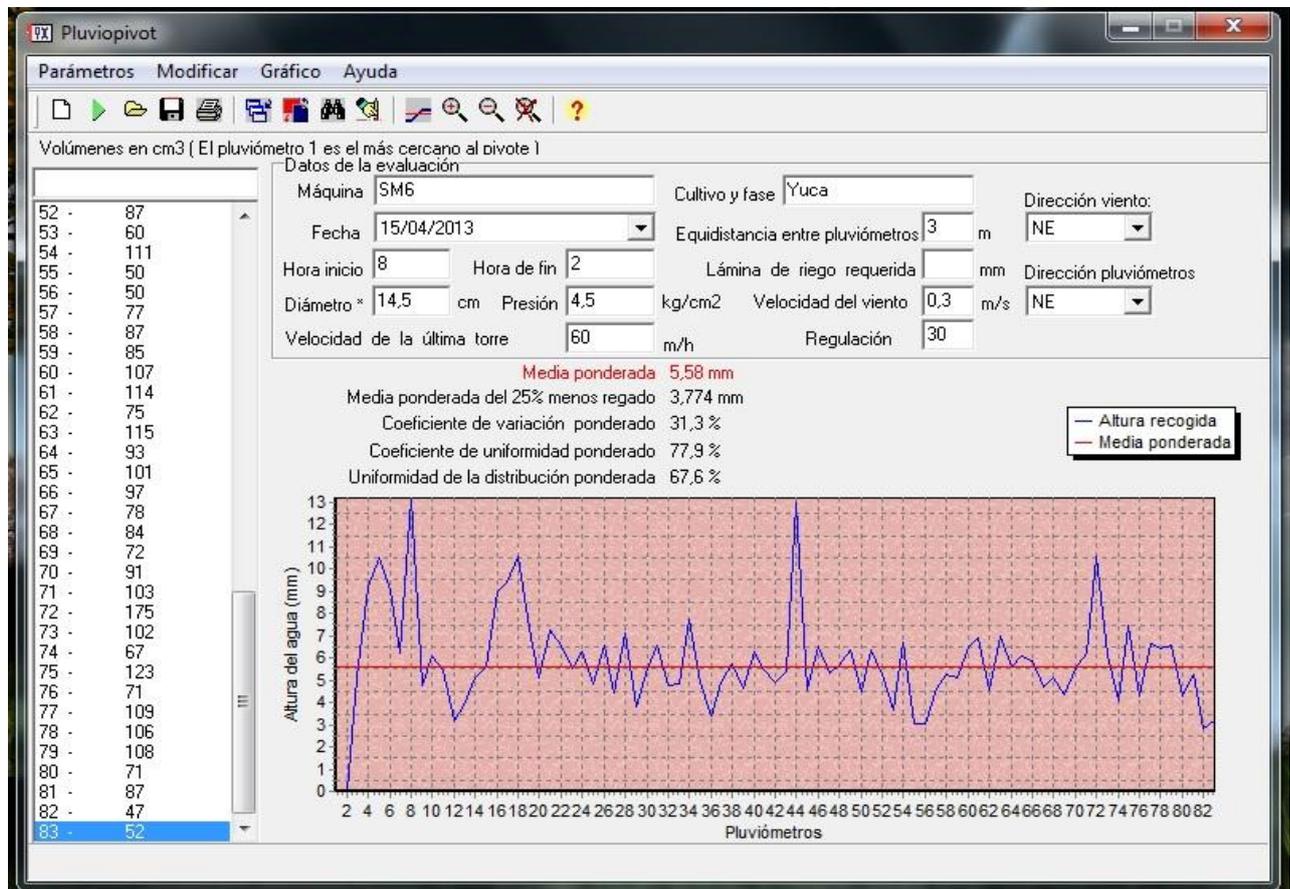
Gráfico 11. Ventana de salida Pluviopivot (Máquina SM-4).





Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

Gráfico 12. Ventana de salida Pluviopivot (Máquina SM-6).



Las ventanas de salida del método pluviopivot muestran la misma tendencia que en las analizadas a través del Pívo lo que ratifica lo anteriormente señalado en el análisis de los resultado sen cuanto a UD.

Este indicador tiene mejor comportamiento e el tramo comprendido del pluviómetro 20 al 43, esto se puede deber a la no existencia de salideros ni boquillas tupidas en ese tramo, además las boquillas que se utilizan son las adecuadas según lo recomendado por el fabricante.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

Tabla 7. Resultados de los cálculos realizados según los cuatro métodos aplicados.

Método	Pluviopivot		pivot		tarjuelo		lamela	
	SM4	SM6	SM4	SM6	SM4	SM6	SM4	SM6
máquina								
UD (%)	71	67	71	67	71	68	70	67
CVk (%)	42	31	42	31	42	31	–	–
CUh (%)	78	78	77	78	78	78	–	–
mp 25%	2.68	3.77	2.68	3.77	2.68	3.77	2.68	3.77
ARA (%)	51	46	51	46	51	46	–	–
ARE (%)	17	22	17	22	17	22	–	–
ARI (%)	32	32	32	32	32	32	–	–
M. pond(mm)	3.8	5.6	3.8	5.6	3.8	5.6	3.8	5.6

Leyenda:

UD % ----- uniformidad de distribución.

CVk ----- coeficiente de variación ponderada.

CUh ----- 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 7 se observan los resultados de los cálculos efectuados aplicando los cuatro métodos empleados, para el caso de *Pluviopivot*, *pivot* y *tarjuelo* los resultados son similares, esto se debe a que las fórmulas desarrolladas son idénticas, además que no existe diferencia entre el método de ponderación por área y el de ponderación por el radio.

Para el caso de Lamela se desecha aun después de obtener a través de este método resultados de UD similares a los alcanzados en el resto de los métodos debido a que el mismo ignora el 20 % de los pluviómetros a partir del pivote (ver tabla) lo que puede falsear los datos, además no tienen cuenta los coeficientes CVk y CUh, siendo aplicable en la caña de azúcar y no en los cultivos varios.

Analizados los métodos restantes se puede decir que el de tarjuelo es el más completo en los datos aportados ya que incluye a los indicadores ARA, ARE y ARI, los cuales no se obtienen en los métodos de soporte digital aunque en este caso fueron obtenidos manualmente lográndose resultados similares, a su vez este método tiene el inconveniente de ser manual lo que lo hace más susceptible a errores humanos y más lento para su ejecución a nivel macro no siendo recomendado para este trabajo.

Analizando la calidad de los datos obtenidos en los diferentes métodos, así como el nivel de complejidad a la hora de realizar los mismos y el posterior análisis de los resultados se propone desechar los métodos Pívor, Tarjuelo y Lamelas, manteniendo el software Pluviopivot como el más factible para aplicar en trabajos similares a este, aunque el de Tarjuelo aporta información de otros indicadores (ARA, ARE e ARI) lo cual pudiese ser utilizado en trabajos que así lo necesiten como también puede ser una herramienta en la formación de profesionales de la agricultura.



Conclusiones



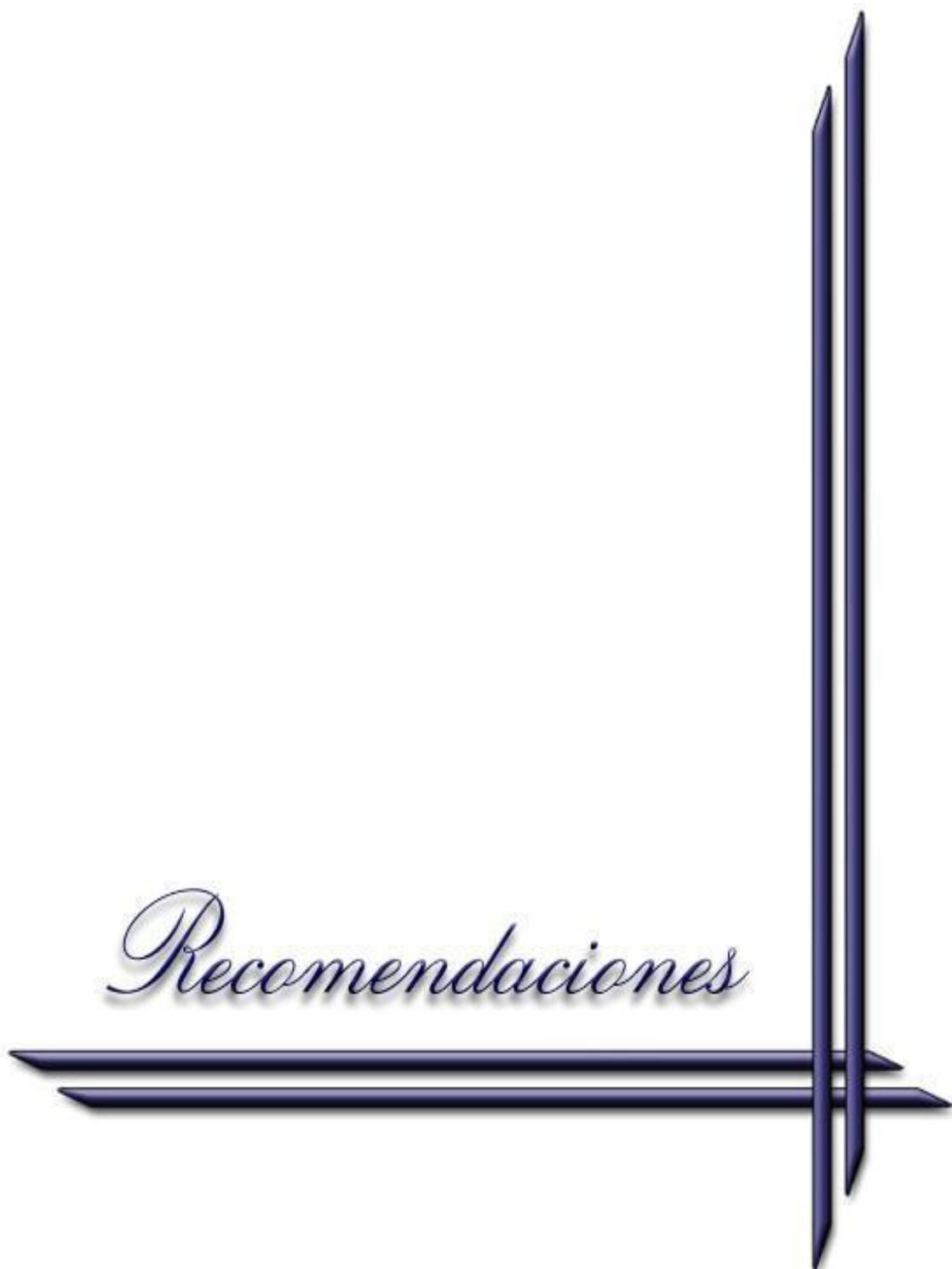


Conclusiones.

- La tecnología de riego no es explotada adecuadamente en la UEB "Santa Martina".
- La uniformidad de distribución se encuentra en la zona de **inaceptable** para cada una de las máquinas evaluadas.
- El método pluviopivot resulta ser el más práctico para su utilización en nuestras condiciones.
- El método de Tarjuelo puede ser una herramienta para la preparación de personal técnico en la actividad de riego.



Recomendaciones



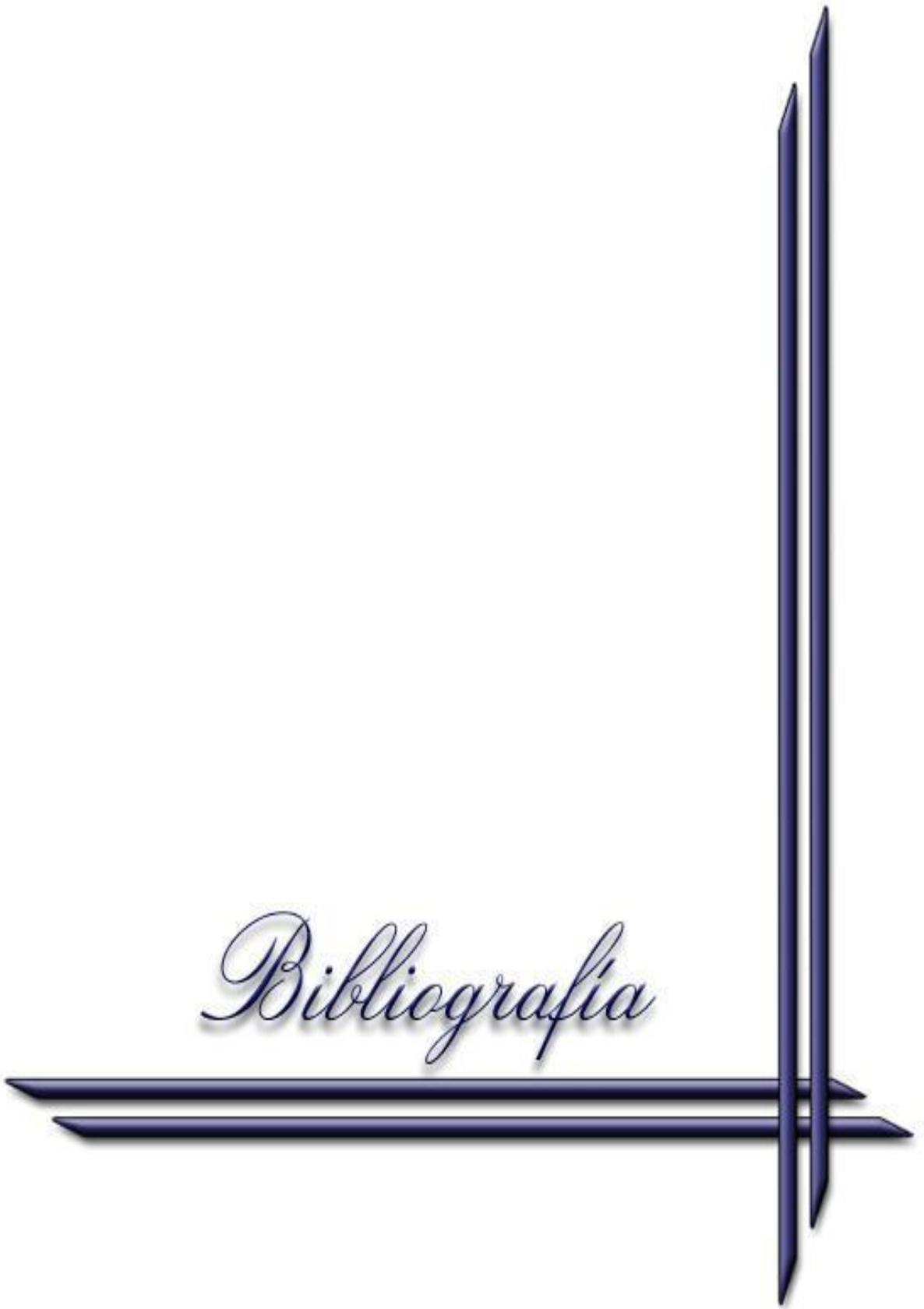


Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

Recomendaciones.

- ❖ Trabajar en el uso adecuado de la tecnología de riego en la UEB "Santa Martina".
- ❖ Capacitar al personal que labora y dirige esta actividad en la UEB "Santa Martina".
- ❖ Utilizar el método pluviopivot para la evaluación periódica de las máquinas de riego en la UEB "Santa Martina".
- ❖ Divulgar los resultados de este trabajo a otras instancias que permitan solucionar este tipo de deficiencia en otras zonas de producción.

Bibliografía



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.



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.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

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_virtualciencia/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 aspersion, 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-proped 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,



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

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.



Comparación de cuatro métodos para la evaluación de la uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

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.

Merriam, 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.