

Diseño agronómico en máquinas de pivote central, rendimientos, ahorro de agua y energía

Dr. Lorenzo Eddy Camejo Barreiro email: eddy@unica.cu
Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila. Cuba

MsC. Leonel Duarte Naranjo email: leonels@unica.cu
Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila. Cuba

MsC. Gisel Guerra Hernández email: gisel@unica.cu
Departamento de Hidráulica. Universidad de Ciego de Ávila. Cuba

RESUMEN

Se realizó el diseño agronómico para riego de papa con máquinas de pivote central, evaluando coeficiente de uniformidad (CU), uniformidad de distribución (UD), eficiencia de aplicación (EA), coeficiente de variación (CV), consumo de agua y energía y la influencia de la velocidad y dirección del viento sobre calidad del riego en varias entidades de la provincia Ciego de Ávila. Las máquinas se evaluaron para vientos entre 2-27 km/h. Los valores medios obtenidos fueron: CU=75,4 %, UD=59,8 %, EA= 75,3 %, CV=37,8 % y rendimientos medios en máquinas con diseño agronómico de 28,6 t/ha, sin diseño agronómico de 20,13 t/ha, con ahorro de 137192,4 m³ de agua y 54718,5 kWh de electricidad en la Empresa Agropecuaria La Cuba, el rendimiento medio en 20 máquinas con diseño agronómico en la provincia fue de 27,09 t/ha.

Palabras clave: ahorro de agua, diseño agronómico, energía, máquinas de riego, rendimiento.

Agronomic design in central pivot machines, performance and water and energy saving

ABSTRACT

An agronomic design was made for irrigation of potato with the central pivot irrigation machine. Parameters as uniformity coefficient (CU), distribution uniformity (UD), application efficiency (EA), variation coefficient (CV) and water and energy consumption were determined as well as the influence of wind velocity and direction on the quality of irrigation at several production units in Ciego de Avila province. Machines were assessed for wind velocity values between 2-27 km/h. Average values obtained were CU=75,4 %, UD=59,8 %, EA= 75,3 %, CV=37,8 % and average yield with agronomic design was 28,6 t/ha overcoming the 20,13 t/ha obtained without agronomic design. Savings amounted to 137192,4 m³ of water and 54718,5 kWh of energy while the average yield from 20 machines was 27,09 t/ha in the province.

Keywords: water saving, agronomic design, energy, irrigation machines, yield.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los expertos están de acuerdo en reconocer que los recursos naturales serán afectados: “el agua es quizás el primero de ellos” (Martín y De Juan 1993).

Actualmente se afecta por escasez de agua, el consumo humano, el uso industrial, agrícola y las necesidades para preservar el medio natural; existe contaminación de las aguas continentales, superficiales y subterráneas por constantes derrames tóxicos; aumenta la deforestación, disminuyen las precipitaciones, aumenta la desertificación, disminuyen las reservas energéticas, todo lo cual obliga a hacer un uso racional, eficiente y descontaminante de este recurso natural, imprescindible para la vida en el planeta.

En Cuba, que en los últimos años ha sufrido efectos provocados por el cambio climático en sus recursos naturales, en especial el agua y debe adaptarse a este grave problema, se ha dispuesto que el Ministerio de Agricultura, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y otros organismos del país (MINAGRI 2005) trabajen intensamente en un programa para enfrentar y mitigar los efectos de la sequía en el sistema productivo a corto, mediano y largo plazo, introduciendo tecnologías de riego con alta eficiencia, como riego localizado (tanto superficial como subterráneo), máquinas de pivote central eléctricas, riego por aspersión y riego superficial tecnificado que conlleven al menor uso del agua y la energía, electrificando los sistemas de bombeo.

El sistema productivo del Ministerio de Agricultura ha adquirido numerosas máquinas de pivote central eléctricas de las cuales han sido instaladas más de 100 en la provincia de Ciego de Ávila, debido al potencial hídrico subterráneo del territorio y las características de los suelos (ferralíticos rojos), con el objetivo fundamental de incrementar la producción de alimentos, dentro de los cuales se cuenta la papa, por lo que es imprescindible un manejo del agua adecuado en este cultivo y su uso racional y eficiente con esta tecnología.

La Universidad de Ciego de Ávila, por solicitud del Ministerio de Agricultura en la provincia ha realizado el diseño agronómico, regulado y evaluado esta técnica de riego, en varias empresas del territorio, preparando al personal para su explotación, buscando con ello incrementos de los rendimientos agrícolas, así como ahorro de agua y energía, resultados que se exponen en el presente trabajo científico-técnico.

El diseño agronómico es el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo de acuerdo con las condiciones climáticas donde se desarrolle, las normas de riego en función del tipo de suelo y la eficiencia del riego, así como los intervalos y número de riegos que se requieren de acuerdo con su ciclo vegetativo.

El diseño agronómico varía de acuerdo con el lugar donde es instalada la máquina de riego, por ejemplo si se siembra papa en Ciego de Ávila y en Artemisa en el mismo tipo de suelo, el diseño agronómico es diferente ya que las condiciones climáticas son diferentes, mientras que el diseño hidráulico de la máquina está definido por sus características técnicas, dadas por el fabricante, las cuales no varían.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en empresas de cultivos varios de Ciego de Ávila dedicadas al cultivo de la papa donde existen máquinas de pivote central. Se tomaron las propiedades hidrofísicas fundamentales de estos suelos (Camejo 1983), ver tabla 1.

Tabla 1. Propiedades hidrofísicas fundamentales de los suelos ferralíticos rojos en Ciego de Ávila

Perfil (cm)	Capacidad de campo (% base suelo seco)	Peso volumétrico (g/cm ³)
0-10	30,75	1,34
11-20	30,50	1,34
21-30	30,00	1,34
31-40	32,70	1,32
41-50	30,25	1,31

La norma parcial de riego por fase de desarrollo se determinó por la fórmula tomada de Pacheco et. al. (2006) (pp 59-60):

$$Mpn = 100 \times H \times Da \times (CC - LP) \quad (1)$$

donde:

Mpn - Norma parcial neta (m³/ha)

H - Profundidad radicular ó capa activa (m).

Da - Densidad aparente del suelo con respecto a la densidad del agua.

CC - Capacidad de campo en % base suelo seco (bss).

LP - Límite productivo o límite inferior de humedad para riego en % bss.

La norma parcial de riego bruta se obtiene dividiendo la norma parcial neta entre la eficiencia de riego en la máquina según la fase de desarrollo del cultivo, ver tabla 2.

$$Mpb = Mpn / Ef \quad (2)$$

donde: *Mpb* = Norma parcial de riego bruta (m³/ha)

Ef = Eficiencia del sistema de riego (%)

De acuerdo con los estudios realizados en la provincia, según la metodología establecida por Tarjuelo (2005), se obtuvo como media de acuerdo con la fase de desarrollo del cultivo de la papa los siguientes valores de eficiencia en las máquinas de riego.

Tabla 2. Eficiencia determinada en las máquinas de riego

Fases del cultivo (días)	Eficiencia media en la máquina (%)
Siembra-germinación 0-15	82
Crecimiento-inicio tuberización 16- 25	82
Engrosamiento del tubérculo 26- 60	85
Engrosamiento- maduración 61- 90	85

La evapotranspiración se obtuvo tomando como base el coeficiente bioclimático decenal del cultivo y la evaporación media desde un evaporímetro Clase A para cada decena, el intervalo de riego se estableció de acuerdo con la norma parcial de riego neta (m^3/ha) y la evapotranspiración diaria ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{día}$) por fase de desarrollo del cultivo.

$$Et = 10 Kb Ev \quad (3)$$

donde: Et = Evapotranspiración ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{decena}$)
 Kb = Coeficiente bioclimático.
 Ev = Evaporación desde un evaporímetro Clase A (mm).

$$IR = Mpn / Etd \quad (4)$$

donde: IR = Intervalo de riego (días).
 Mpn = Norma parcial de riego neta (m^3/ha).
 Etd = Evapotranspiración diaria ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{día}$)

Para la regulación de la máquina, con la norma parcial bruta calculada por fase de desarrollo del cultivo, se selecciona en el catálogo emitido por el fabricante cuál es el porcentaje de selección que corresponde en el reloj porcentual para cada norma de riego calculada, logrando con ello el riego más racional, eficiente y económico al regular la máquina de acuerdo con las necesidades hídricas del cultivo.

Cuando no existe el catálogo para la regulación de la máquina emitido por el fabricante, para su confección se utiliza la metodología establecida, que aparece en el Manual de Explotación (WIS 2004). Para la evaluación pluviométrica se colocaron a lo largo de la máquina pluviómetros de 12 cm de diámetro, con capacidad de un litro y espaciamiento de 2 metros entre ellos (Tarjuelo 2005).

Determinación del volumen de agua en las fases de cultivo

$$Vc = (A \times N^0 \times Mpb) \quad (5)$$

donde:
 Vc - Volumen de agua aplicada en las fases de desarrollo (m^3).
 A - Área de la máquina (ha)
 N^0 - Número de riegos
 Mpb - Norma parcial bruta (m^3/ha)

Cálculo del volumen de agua ahorrado en las fases de desarrollo

$$Va = (Vaf - Vam) \quad (6)$$

donde:
 Va - Volumen de agua ahorrado (m^3)

V_{af} - Volumen de agua aplicado según norma de riego fija (m^3)

V_{am} - Volumen de agua aplicado por las máquinas por fase de desarrollo (m^3)

Cálculo de las horas de trabajo total en las fases de desarrollo

$$Ht = (h \times N^0) \quad (7)$$

donde:

Ht - Horas de riego total en las fases de cultivo

h - Horas por vuelta

N^0 - Número de riegos en las fases del cultivo

Nota: Ciclo de cultivo es la duración desde la siembra hasta la cosecha. Fases de desarrollo son las diferentes etapas fisiológicas en el ciclo del cultivo.

Costo de energía en las fases de desarrollo del cultivo por máquina de riego

$$Ce = (P \times Ht \times Cu) \quad (8)$$

$$P = \frac{0,0098 \times Q \times H}{rb \times rm} \quad (9)$$

donde:

P - Potencia (kW)

Cu - Consumo unitario (\$/kWh)

Ce - Costo de energía en las fases de desarrollo del cultivo (\$)

rb - Rendimiento de la bomba

rm - Rendimiento del motor

Q - Caudal (L/s)

H - Carga (m)

Ht - Horas de bombeo (h)

Para obtener los parámetros de coeficiente de uniformidad (CU), uniformidad de distribución (UD), eficiencia de aplicación (EA), coeficiente de variación (CV), se introdujeron todos los valores de los volúmenes de agua recogidos en los pluviómetros en cada una de las evaluaciones realizadas a las máquinas, procesando los datos mediante el software Pluviopivot (Pacheco y Pacheco 2004), obteniéndose además la distribución de la pluviometría a lo largo de la máquina, así como la lámina media aplicada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la evaporación desde un evaporímetro clase A y los coeficientes bioclimáticos del cultivo por fases de desarrollo se procedió a determinar las necesidades hídricas, ver tabla 3.

Es de señalar que las necesidades hídricas presentadas en la tabla 3, para las condiciones climáticas específicas de la provincia Ciego de Ávila, se encuentran por encima de las reportadas por López et.al. (1995) en Cuba, debido a los cambios climáticos que han venido ocurriendo en los últimos años.

Tabla 3. Requerimientos hídricos del cultivo de la papa por fase de desarrollo en las condiciones de la provincia Ciego de Ávila

Ciclo (días)	Necesidad hídrica (m³/ha/día)
Siembra-germinación 0-15	30-40
Crecimiento-inicio tuberización 16- 25	40-50
Engrosamiento del tubérculo 26- 60	50-60
Engrosamiento- maduración 61- 90	50-60 (los primeros 20 días)

A partir de las propiedades hidrofísicas del suelo, la profundidad a humedecer por fase de desarrollo y el límite inferior de humedad para riego (límite productivo) se procedió al cálculo de la norma parcial de riego neta, así como el intervalo de riego requerido, tomando como referencia las fases de desarrollo establecidas para el cultivo y ajustándolas a las condiciones edafo-climáticas de la provincia Ciego de Ávila, ver tabla 4.

Tabla 4. Norma de riego e intervalo de riego por fase desarrollo

Fase de desarrollo del cultivo (días)	Norma parcial neta (m³/ha)	Intervalo de riego (días)
MINE	300	-
Siembra-brote (0-15)	150	3-4
Crecimiento-inicio tuberización (16-25)	180	3-4
Engrosamiento del tubérculo (26-60)	220	4
Engrosamiento-Maduración (61-90)	220	4

Es de señalar que, para las condiciones de la provincia Ciego de Ávila, en los meses en que se desarrolla este cultivo es necesario regar cada tres días hasta los primeros veinticinco días después de siembra, ello se debe a que el cultivo en las primeras fases no cubre el campo y el proceso de evaporación del agua desde el suelo es alto. En la fase de engrosamiento del tubérculo hasta la maduración se riega cada cuatro días.

Análisis de los parámetros de evaluación de la calidad del riego en máquinas de pivote central Western de la provincia de Ciego de Ávila

En la tabla 5, tabla 6 y tabla 7 se pueden observar los valores de los parámetros de evaluación, los cuales permiten interpretar el comportamiento real de la calidad del riego en máquinas de pivote central Western de la provincia de Ciego de Ávila, y por ende hacer análisis de los mismos.

Como se aprecia en las tablas 5, 6 y 7, EA, CU, UD y CV se ven afectados por la velocidad del viento, disminuyendo más la uniformidad del riego en la máquina en los meses en que se cultiva la papa (diciembre- marzo) en los cuales se presentan, para las condiciones climáticas de la provincia, las máximas velocidades del viento. Las evaluaciones en que la velocidad del viento es baja se realizaron en las primeras horas de la mañana, pero cuando se realizaron después de las 10:00 am las velocidades del viento alcanzaron valores por encima de los 10 km/h y según Tarjuelo (1995) por encima de 10 km/h no se debe operar esta técnica de riego.

Tabla 5. Valores de los parámetros de evaluación de máquinas de pivote central Western (máquinas de la Empresa Cultivos Varios La Cuba)

Máquinas	Fecha	Hora de comienzo	Presión Pívor (kgf/cm ²)	Velocidad viento (km/h)	CU (%)	UD (%)	CV (%)	EA (%)
Higinio	23-1-08	1:00 p.m	3,05	5,0	78,8	70,9	30,0	82,17
Higinio	21-2-08	9:00 a.m	3,12	12,5	74,2	68,0	28,9	78,12
Higinio	26-2-08	8:00 a.m	3,19	6,5	78,4	62,9	28,6	79,21
Nad.2	9-1-08	1:30 p.m	2,5	22,1	76,2	76,0	19,1	73,45
Nad.2	9-1-08	2:00 p.m	2,5	27,65	72,0	73,3	25,5	72,36
Lango	28-1-08	1:00 p.m	3,05	24,25	73,4	73,5	21,6	73,49
Frutero	24-108	1:00 p.m	1,9	7,0	77,7	60,7	30,7	82,87
Naranja	30-1-08	7:35 a.m	2,5	5,0	80,7	72,7	24,8	82,37
S.Gertrudis	30-1-08	2:00 p.m	1,52	5,0	81,6	68,5	34,2	85,11

Tabla 6. Máquinas CPA “26 de Julio”

Fecha	Hora de comienzo	Presión Pívor (kgf/cm ²)	Velocidad Viento (km/h)	CU (%)	UD (%)	CV (%)	EA (%)
2-3-05	3:30 pm	2,7	12,5	70,2	71,1	36,5	71,48
12-3-05	2:00 pm	2,7	9,0	76,0	76,9	28,4	79,7
21-3-05	1:30 pm	2,7	8,5	78,4	78,1	26,9	79,9
26-1-05	10:00 am	2,7	4,0	85,2	78,3	23,2	89,18
17-3-05	8:30 am	2,7	3,5	84,1	77,2	20,1	88,46
22-2-05	9:15 am	2,7	3,0	85,8	80,4	18,6	90,1

Tabla 7. Máquinas Granja Nádales 2 y CPA Revolución de Octubre

Máquinas	Fecha	Hora de comienzo	Presión Pívor (kgf/cm ²)	Velocidad del viento (km/h)	EA (%)	CU (%)	UD (%)	CV (%)
Nádales 2 Máquina 8	25/2/10	3:20pm	3	27	71,8	55,6	35,2	56,55
Nádales 2 Máquina 6	12/2/10	9:00am	2,5	2	85,8	76,9	18,2	77,92
Rev. de Oct. Máquina 4	15/2/10	9:40am	2	3,5	80,9	71,8	25,5	72,76
Rev. de Oct. Máquina 4	19/2/10	9:15am	2,1	4	80	67,1	29,6	67,18
Rev. de Oct. Máquina 2	2/12/09	1:15pm	2	5	80,3	73,5	25,3	67,84
Rev. de Oct. Máquina 3	18/1/10	1:20pm	2,1	5,5	75,2	56,6	33,7	56,57

A pesar de que se recomienda no explotar las máquinas de 10:00 am a 4:00 pm en estos meses por las altas velocidades del viento y regar en horas nocturnas para una mejor eficiencia del riego, en la práctica común esto no se realiza, afectando no solo la calidad del riego sino el rendimiento agrícola del cultivo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al realizar el diseño agronómico y su comprobación en una máquina para la CPA 26 de Julio, según resultados obtenidos por (Duarte y Camejo 2005), ver tabla 8.

Los parámetros hidráulicos de la máquina son: presión en pivot 2,7 kg/cm², caudal 65,2 L/s, área de riego 50,8 ha, longitud 397,2 m y número de torres 7.

Tabla 8. Diseño agronómico para máquina Western

Ciclo papa (días)	# de riegos	Mpn (m ³ /ha)	Intervalo de riego (días)	Efi-ciencia (%)	Mpb (m ³ /ha)	Regulación de la máquina (%)	Horas por vuelta (h)	# horas diarias
Mine	1	300	-----	82	365	11	80	-----
0-15	4	158	4	82	192	21	42	11,6
16-40	6	198	4	82	241	17	52	14,4
41-79	10	238	4	85	280	14	63	17,5
80-110	8	238	4	85	280	14	63	17,5

En la máquina anterior, se comprobó que se satisfacen las necesidades hídricas establecidas para la papa en la provincia Ciego de Ávila, determinando por método gravimétrico la humedad del suelo en lugares seleccionados antes del riego y posterior a éste, comprobándose que el diseño agronómico realizado satisface plenamente las necesidades hídricas del cultivo para las condiciones edafoclimáticas del territorio, lo que se aprecia en la tabla 9 y tabla 10.

Tabla 9. Humedad del suelo un día antes del riego en la máquina Western

Profundidad	Capacidad de Campo	Limite Productivo 85%Cc	Humedad del suelo 1 día antes del riego en la fase de 16 a 40 días
cm	% bss	% bss	% bss
0-10	30,90	26,2	26,2
11-20	30,10	25,58	27,1
21-30	31,90	27,11	27,7

Tabla 10. Humedad del suelo dos días después del riego en la máquina Western

Profundidad	Capacidad de Campo	Limite Productivo 85 % Cc	Humedad del suelo 2 días después del riego en la fase de 16 a 40 días.
cm	% bss	% bss	% bss
0-10	30,90	26,26	28,3
11-20	30,10	25,58	29,2
21-30	31,90	27,11	29,5

Volumen de agua aplicado en máquinas de pivote central con diseño y sin diseño agronómico

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en la evaluación de las máquinas de riego en la empresa agropecuaria La Cuba, ver tabla 11, tabla 12, tabla 13.

Tabla 11. Volumen de agua aplicada por fase de desarrollo en las máquinas con diseño agronómico (La Cuba). Fases de cultivo I y II

Máquinas	Área (ha)	Fase I del cultivo (días) 0 - 15		Volumen total (m ³)	Fase II del cultivo (días) 16 - 25		Volumen total (m ³)
		Nº de Riegos	Norma Bruta (m ³ /ha)		Nº de Riegos	Norma Bruta (m ³ /ha)	
Higinio	53,68	4	190	40796,80	3	238	38327,5
Naranja	40,52	4	190	30795,20	3	238	28931,3
Ballama-1	37,57	4	190	28553,20	3	238	26825,0
Ballama-3	44,28	4	190	33652,80	3	238	31615,9
La piña	40,87	4	190	31061,20	3	238	29181,2
Frutero-1	38,91	4	190	29571,60	3	238	27781,7
Volumen (m ³)	-			194430,8	-		182662,6

Tabla 12. Volumen de agua aplicada por fase de desarrollo en las Máquinas con diseño agronómico (La Cuba). Fase de cultivo III y IV

Máquinas	Fase III del cultivo (días) 26 -60		Volumen total (m ³)	Fase IV del cultivo (días) 61-90		Volumen total (m ³)
	Nº de Riegos	Norma Bruta (m ³ /ha)		Nº de Riegos	Norma Bruta (m ³ /ha)	
Higinio	8	287	123249,3	6	287	92435,0
Naranja	8	287	93033,9	6	287	69775,4
Ballama-1	8	287	86260,7	6	287	64695,5
Ballama-3	9	287	114375,2	6	287	76250,2
La piña	7	287	82107,8	6	287	70378,1
Frutero-1	8	287	89337,4	6	287	67123,6
Volumen (m ³)	-		588364,3	-		440657,8

Tabla 13. Volumen de agua aplicada en las dos primeras fases vegetativas al regar sin diseño agronómico (La Cuba). Fase de cultivo I y II

Máquinas	Área(ha)	Fase I del cultivo (días) 0 - 15		Volumen total (m ³)	Fase II del cultivo (días) 16 - 25		Volumen total (m ³)
		No. de Riegos	Norma (m ³ /ha)		No de Riegos	Norma (m ³ /ha)	
Higinio	53,68	4	287	61624,6	3	287	46219,0
Naranja	40,52	4	287	46494,0	3	287	34887,7
Ballama-1	37,57	4	287	43475,0	3	287	32348,0
Ballama-3	44,28	4	287	50833,4	3	287	38125,6
La piña	40,87	4	287	46919,0	3	287	35189,0
Frutero-1	38,91	4	287	44669,0	3	287	33501,5
Volumen total de agua (m ³)	-			294015,0	-		220270,8

En las fases III y IV las máquinas de riego se explotan de manera similar, por tanto el No. de riegos, la Norma y el Volumen total serán los mismos.

Es de señalar que el problema más grave en el riego de este cultivo, en la práctica común, es que desde que se siembra, se regula la máquina para una sola norma de riego.

Así no se explotan las posibilidades que brinda esta tecnología de riego, que permite regular la entrega de agua de acuerdo con las necesidades hídricas del cultivo por fase de desarrollo.

Regulando de esa forma se ahorra agua, energía y se obtiene mayor y mejor producción agrícola, como se demuestra en el presente trabajo al conjugar el diseño agronómico con las regulaciones de la máquina de riego para que entregue esas necesidades hídricas, en ello radica el mayor aporte de este trabajo.

El no regular la máquina de acuerdo con la fase de desarrollo del cultivo conlleva aplicar exceso de agua en los primeros 30 días a partir de la siembra (tabla 14) lo que puede causar daños a la semilla afectando la germinación y por ende la población en el campo e influyendo en el rendimiento del cultivo, tabla 15.

Tabla 14. Volumen de agua ahorrada según la explotación del Pivot (La Cuba)

Fases de desarrollo (días)	Volumen de agua aplicado (m ³)		Volumen de agua ahorrada (m ³)
	Para norma de riego fija en las máquinas	Para normas de riego por fase de desarrollo	
0-15	294015,0	194430, 8	99584,2
16-30	220270,8	182662,6	37608,2
31-60	588364,3	588364,3	0
60-90	440657,8	440657,8	0
Volumen total de agua (m ³)	1543307,9	1406115 ,5	137 192,4

Tabla 15. Producción en las máquinas con diseño agronómico (La Cuba)

Máquina	Papa (variedad)	Área (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Higinio	Santana	53,6	1575,8	29,4
Naranja	Santana	32,20	966,0	30,0
	Baraca	8,52	238,8	28,10
Ballama-1	Armada	28,18	830,7	29,5
	Santana	9,39	291,0	31,0
Ballama-3	Bellin	8,72	242,4	27,8
	-Inovato	7,38	200,2	27,13
	-Santana	28,18	845,4	30,0
La piña	Faula	18,11	523,3	28,9
	-Romano	20,08	598,3	29,80
	-Inovato	2,013	56,3	28,0
	-Daisis	0,671	19,6	29,2
Frutero-1	Romano	38,91	1155,6	29,7

A continuación se exponen rendimientos alcanzados en otras empresas y cooperativas del territorio, que fueron evaluadas. Como se apreció en la tabla 15, y ahora en la tabla 16 y tabla 17, el diseño agronómico garantiza en la primera fase de desarrollo del cultivo una humedad óptima, que existan una germinación uniforme, un cubrimiento total del campo con plantas y un alto potencial de rendimiento, ver figura 1 y figura 2.

Tabla 16. Producción en las máquinas con diseño agronómico (El Mambí)

Máquina Western	Papa (variedad)	Rendimiento (t/ha)		Producción (t)
		Plan	Real	
1	Chieftain	17,74	29,98	1468,42
2	Romano- Agiba.	21,29	32,10	1572,25
3	Chieftain-Caguay.	17,74	30,20	851,03
4	Romano.	21,29	20,28	707,56
5	Diáman- Romano.	21,29	28,43	1144,59
6	Santana.	21,29	26,00	732,68
7	Romano.	21,29	30,12	930,09
8	Romano-Caguay.	19,11	28,35	589,68

El rendimiento agrícola de la papa donde se utiliza semilla de producción nacional es menor que el de la semilla importada, aunque el cultivo sea regado de manera óptima, como se expone en los resultados que aparecen en la tabla 17.

Tabla 17. Producción en las máquinas con diseño agronómico (CPA Revolución de Octubre, CPA 26 de Julio, Granja Nadales 2).

Máquinas de riego	Rendimiento (t/ha)
Revolución de Octubre	23,1
Nádeles 2	19,4 Semilla nacional
Nádeles 2	18,3 Semilla nacional
Revolución de Octubre	21,4 Semilla nacional
Revolución de Octubre	26,6
26 de Julio	32,88



Figura 1. Máquina con diseño agronómico



Figura 2. Evaluación del riego y fertirriego

Producción media en las máquinas evaluadas con diseño agronómico y sin él.

El rendimiento medio alcanzado en las 6 máquinas evaluadas en la empresa agropecuaria La Cuba que regaron sin diseño agronómico fue de 20,13 t/ha, mientras que con esas mismas máquinas cuando regaron con diseño agronómico fue de 28,6 t/ha con ahorro de 137192,4 m³ de agua y 54718,5 kWh de electricidad, que representa 12038 pesos en ahorro de energía eléctrica, tabla 18. El rendimiento medio alcanzado en las 20 máquinas evaluadas que regaron con diseño agronómico en la provincia Ciego de Ávila fue de 27,09 t/ha.

Tabla No 18. Ahorro de energía por aplicación de la norma de riego por fase de desarrollo en las 6 máquinas evaluadas en La Cuba

		máquinas regando con regulación fija	máquinas regando con diseño agronómico por fases de desarrollo	Ahorro
Consumo de energía	(kWh)	663847,8	609129,3	54718,5
Costo de la energía con tarifa 0,22 \$/kWh	(\$)	146046,5	134008,5	12038,00

El consumo de agua y energía se evaluó solamente en las máquinas de la Empresa Agropecuaria La Cuba y no en el resto de las máquinas evaluadas en la provincia.

CONCLUSIONES

- Los valores medios obtenidos en el riego del cultivo de papa con máquinas de pivote central eléctricas fueron: coeficiente uniformidad CU= 75,4 %, uniformidad de distribución UD = 59,8 %, eficiencia de aplicación EA = 75,3 %, coeficiente de variación CV = 37,8 % para velocidades del viento entre 2- 27 km/h.
- La calidad del riego se ve afectada por la velocidad del viento como se aprecia en las evaluaciones efectuadas bajo diferentes condiciones climáticas.

- El diseño agronómico permite organización en la explotación de la máquina y mejor control de la calidad del riego como se demuestra en los resultados obtenidos.
- Este resultado aporta ahorro de agua y energía, así como rendimientos altos y estables.

REFERENCIAS

- Camejo L. E.** (1983). “Régimen de riego del plátano vianda para la provincia Ciego de Ávila”. Tesis de Doctorado. Universidad Central de las Villas, Cuba.
- Duarte L. y Camejo L.** (2005). “Evaluación de la máquina de pivote central Western en el cultivo de la papa”. Informe técnico. Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila. Cuba.
- López R. M., Vázquez E. y López R.** (1995). “Raíces y tubérculos”. Editorial Pueblo y Educación. Cuba. ISBN 959 – 130355 – 6.
- Martín Santa Olalla F. y De Juan J. A.** (1993). “Agronomía del riego”. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. España. ISBN 84-7114- 425- 5.
- MINAGRI** (2005). “Programa para el enfrentamiento y mitigación de la sequía en el sistema productivo del MINAGRI a corto mediano y largo plazo”. Documento interno. Ministerio de Agricultura. Cuba.
- Pacheco J., Alonso N., Pujol P. y Camejo E.** (2006). “Riego y Drenaje”, Editorial Félix Varela, Ciudad de La Habana. Cuba. ISBN 978-959-07-0621-9.
- Pacheco Y. y Pacheco J.** (2004). “Aplicación del software pluviopivot para el cálculo del coeficiente de uniformidad ponderados por superficie en máquinas de riego de pivote central”. Versión 3.5. Documento interno. Universidad Central de Las Villas. Cuba.
- Tarjuelo J. M.** (2005). “El riego por aspersión y su tecnología”. 3.^a edición revisada y ampliada Ediciones Mundi Prensa. Madrid. España. ISBN 84-8476-225-4.
- WIS** (2004). “Western Center Pivot Standard Owner’s Manual”. Western Irrigation Systems. Alkhorayef Industries. Catálogo No 030. April 2004. Saudi Arabia. Certificate No 010615 ISO 9001 : 2000.