

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL MANEJO DE EQUIPOS DE PIVOTE CENTRAL

Technical and Economical Evaluation of the Central Pivots Systems

Helbert Antonio Mena-Martín^{1‡}, Leonardo Tijerina-Chávez¹, Rafael Acosta-Hernández¹ y Enrique Mejía-Sáenz¹

RESUMEN

Esta investigación se realizó en 3 comunidades del estado de Yucatán, México (Tizimin, Becanchen y Tekat) con el propósito de determinar el impacto de los equipos de pivote central en la producción de maíz y pasto en la región. La uniformidad de distribución (UD), el coeficiente de uniformidad (CU) se encontraron por debajo de los recomendados siendo los CU 46.9, 60.66 y 55.44% y las UD 62.38, 71.97 y 72.62% para Tizimin, Becanchen y Tekat respectivamente, lo cual indica que existe una operación inadecuada de los equipos, así como un manejo agronómico deficiente. Por otra parte, el volumen de agua aplicado provocó una respuesta favorable en el rendimiento ya que por cada metro cúbico que se aplica, el rendimiento del pasto se incrementó en 4.4 kg MS ha⁻¹ año⁻¹. El análisis económico indicó una productividad del agua de 3.3, 1.11 y 17.38 \$ m⁻³ año⁻¹. La productividad de la tierra fue de \$4416.6, 7868.6 y 3470.7 ha⁻¹ año⁻¹ para los equipos de Tizimin, Becanchen y Tekat, respectivamente. La comparación de rendimientos y costos de operación del cultivo de maíz de temporal, con riego por surcos y pivote central indicó que el rendimiento obtenido con pivote central solo se incrementó en 2 Mg con respecto al rendimiento de temporal, por lo que no se justifica la inversión en estos equipos, para el caso de los equipos que riegan pasto el rendimiento obtenido no justifica la inversión, por lo que para hacerla rentable es necesario incorporar una actividad que proporcione un valor agregado como es la engorda de ganado para carne, así lo indicaron los incrementos en utilidades al pasar de \$4416.6 y 3470.7 ha⁻¹ año⁻¹ obtenidos en Tizimin y Tekat, respectivamente con la producción de pasto a \$20 350.2

y 15 754.4 ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente con la engorda de ganado.

Palabras clave: *evaluación, productividad, aspersión.*

SUMARY

This study was conducted in three communities of Yucatan, Mexico (Tizimin, Becanchen, and Tekat), to determine the impact of central pivot systems in the production of corn and grass in the region. The uniformity distribution (UD) and the coefficient of uniformity (CU) were below the recommended values: CU 46.9, 60.66, and 55.44%, and UD 62.38, 71.97, and 72.62% for Tizimin, Becanchen, and Tekat, respectively, indicating inadequate operation, as well as faulty agronomic management. On the other hand, the applied volume of water caused a favorable response since, for each cubic meter applied, the increase in grass dry matter yield was 4.4 kg ha⁻¹ year⁻¹. The economic analysis indicated water productivity of 3.3, 1.11, and 17.38 \$m⁻³ year⁻¹ and land productivity of \$4416.6, 7868.6, and 3470.7 ha⁻¹ year⁻¹ for Tizimin, Becanchen and Tekat, respectively. The comparison of yields and operating costs of the cultivation of rainfed corn, furrow-irrigated corn and central pivot irrigated corn indicated that the yield obtained with central pivot was 2 Mg higher than the rainfed corn crop yield, which does not justify investment in these systems. Likewise, for the case of equipment for irrigating grass, the obtained yield does not justify the investment. To make irrigated cultivation profitable, it is necessary to incorporate an activity that provides added value such as production of feed for fattening beef cattle. This was indicated by increments in utilities: from \$4416.6 and 3470.7 ha⁻¹ year⁻¹ obtained in Tizimin and Tekat, respectively, with grass production, to \$20 350.2 and 15 754.4 ha⁻¹ year⁻¹, respectively, with livestock feed.

Index words: *evaluation, productivity, sprinkler.*

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

[‡] Autor responsable (helbert_mena@yahoo.com.mx)

INTRODUCCIÓN

Martínez (1991) menciona que una finalidad de la irrigación es incrementar la productividad de los cultivos. Los sistemas de riego por aspersión son recomendados para suelos muy permeables y poco profundos Martínez (1991), condiciones que presentan la mayor parte de los suelos del estado de Yucatán. En el año agrícola 2002/03 se sembraron 68 758 ha de maíz para grano de las cuales 1963 se encuentran bajo riego y 66 795 de temporal; para el caso de los pastos en total se sembraron 30 377 ha, de las cuales 2724 ha se encuentran bajo riego y 27 653 ha en temporal.

Con la finalidad de incrementar la producción de estos cultivos e incorporar una mayor área a la producción bajo riego, el gobierno de Yucatán apoyó a los productores yucatecos para la adquisición de equipos de aspersión de pivote central. A pesar de los beneficios que estos equipos podrían representar para los productores no se han podido lograr los resultados esperados; razón por la cual, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar las causas que limitan el uso adecuado de los equipos, mediante pruebas de uniformidad de aplicación del agua, revisión del diseño, diagnóstico de la operación del equipo y análisis económico de los beneficios y costos de operación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de los Equipos de Pivote Central

El primer equipo evaluado se encuentra ubicado en el municipio de Tizimin perteneciente a la Región Litoral Oriente, el segundo equipo se ubica en el poblado de Becanchen, municipio de Tekax perteneciente a la Región Sur y el tercer equipo se encuentra en la localidad de Tekat, municipio de Mococho y pertenece a la Región Litoral Centro.

Características de los Equipos

Las características de los equipos se presentan en el Cuadro 1.

Metodología

La evaluación se hizo siguiendo la metodología propuesta por Merriam y Keller (1978) y de acuerdo a la norma ASAE S436 (1991) para determinar

la uniformidad de aplicación del agua de pivotes centrales. El muestreo de los volúmenes captados fue mediante la colocación radial de recipientes colectores a 90°, 180° y 270° con respecto al punto pivote que corresponden a tres repeticiones.

El método comprende básicamente la determinación de la uniformidad de distribución (UD). Este coeficiente se determinó con la ecuación:

$$UD = \frac{\bar{L}_{pci}}{\bar{L}_p} (100) \quad (1)$$

donde: UD = uniformidad de distribución (%), \bar{L}_{pci} = lámina media recolectada en el cuarto inferior (mm), \bar{L}_p = lámina media recolectada en toda el área regada por el sistema (mm).

La norma ASAE S.436 establece la determinación del coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein para evaluar el funcionamiento de los sistemas de pivote central mediante la siguiente expresión:

$$CU = 100 \left[1.0 - \frac{\left(\frac{\sum_n S_s D_s - \frac{\sum_n D_s S_s}{\sum_n S_s}}{\sum_n D_s S_s} \right)^2}{\sum_n D_s S_s} \right] \quad (2)$$

donde: CU = coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein (%), D_s = lámina total aplicada a una distancia S desde el punto pivote (mm), S = distancia del punto pivote al colector (m), s = subíndice denotando un punto a una distancia S (m), n = número de recipientes.

Las evaluaciones se realizaron de acuerdo con Tarjuelo (1999) a las velocidades normales de trabajo, estas fueron: Becanchén 30%, Tekat 40% y Tizimin 50% de la velocidad máxima de avance respectivamente.

Para determinar si el diseño de los equipos evaluados fue el correcto, se realizó una revisión de diseño de acuerdo con la metodología de Dillon *et al.* (1972).

Con la finalidad de conocer si el manejo del equipo fue el adecuado, se determinaron las láminas aplicadas por el equipo bajo las condiciones normales en que opera, para luego compararlas con las láminas calculadas de acuerdo al requerimiento del cultivo y capacidad

Cuadro 1. Características de los equipos y aspersores evaluados.

Localidad	Datos del equipo			Datos de los aspersores Senninger super spray 360°		
	Marca	Longitud	Presión de operación	Presión de operación	Diámetro de mojado	Gasto
		m	kg cm ⁻²	kg cm ⁻²	m	L s ⁻¹
Tizimin	Valley	592	2 a 3.5	0.6974	9.3643	0.3004
Becanchen	Valley	392	2 a 3.5	0.6125	8.3767	0.3765
Tekat	Lindsay	270	2 a 3.5	0.5786	8.2936	0.3344

de retención de humedad del suelo, estableciendo las correcciones pertinentes para aplicar un calendario de riego.

El cálculo de la demanda evapotranspirativa y requerimiento de riego de los cultivos se realizó de acuerdo a la metodología de Blaney-Criddle modificada por Phelan (1963). Para el caso de maíz de grano (*Zea mays* L.) y en el caso del pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus* Pilg.) que es un cultivo perenne manejado con riego, el maíz se sembró en el ciclo otoño-invierno. La fecha de siembra fue el 8 de diciembre de 2002 y la cosecha fue el 18 de abril. La precipitación efectiva se calculó con la fórmula de Ogrosky y Mockus (1964).

Análisis de Suelo de los Sitios Estudiados

La capacidad de retención de humedad de los suelos de las localidades estudiadas se determinó mediante parámetros de humedad del suelo obtenidos en el Cuadro 4 tomada de Fuentes *et al.* (1997) entrando con la clase textural y densidad aparente determinados en el laboratorio por el método de Bouyoucos y de la parafina respectivamente; con lo cual se determinó la lámina máxima que se podría aplicar en cada región.

Para calcular la productividad de la tierra PT (\$ ha⁻¹) se dividió el valor total de la producción del cultivo (V_{tp}) (en pesos mexicanos) entre el área total del terreno (A_t) (ha), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$PT = \left[\frac{V_{tp}}{A_t} \right] \quad (3)$$

La productividad del agua (PA; \$ m⁻³) se calculó dividiendo el valor total de la producción del cultivo V_{tp} entre el volumen total de agua aplicado sobre el terreno (V_{ta} , m³), como se indica a continuación:

$$P_A = \left[\frac{V_{tp}}{V_{ta}} \right] \quad (4)$$

Con la finalidad de determinar el impacto del uso de sistemas de pivote central, sobre el rendimiento del maíz y del pasto, se realizó una comparación de rendimientos y costos de producción bajo diferentes sistemas de producción. Para determinar la rentabilidad de la engorda de bovinos de carne alimentados con pasto regado con pivote central se calculó el número de animales que podrían alimentarse en un año con la cantidad de pasto producida en este periodo, los ingresos y costos de operación esperados de esta actividad.

Para determinar el número de animales por ha se calculó el consumo de forraje del animal (CDF) mediante la siguiente ecuación:

$$CDF = PV \cdot C \cdot T \quad (5)$$

donde: CDF = consumo de forraje del animal (kg MS⁻¹ año⁻¹), PV = peso vivo del animal (kg), C = consumo diario de forraje ((kg MS día⁻¹), T = tiempo de estancia en el rancho (días).

donde:

$$C = 0.03 \cdot PV \quad (6)$$

Se consideró un PV de 450 kg y la unidad animal (UA) se calculó haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$UA = CDF/CPD \quad (7)$$

donde: UA = unidad animal (ha animal⁻¹), CDF = consumo de forraje del animal (kg MS año⁻¹), CPD = cantidad de pasto disponible (kg MS año⁻¹).

Finalmente, el número de animales por año se calculó con la siguiente ecuación:

$$NAA = SD/UA \quad (8)$$

donde: NAA = número de animales por año, SD = superficie disponible (ha), UA = unidad animal (ha animal⁻¹).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cálculo de las Uniformidades de Distribución

La uniformidad de distribución media (UD) de cada lugar se calculó con la Ecuación 1, tomando como factor de ponderación la distancia y el área del colector al punto pivote. El coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein se calculó con la Ecuación 2. Los resultados se presentan en el Cuadro 2.

De acuerdo con Shilo (2001) y con Tarjuelo (1999), los resultados obtenidos indican que todos los equipos, se encuentran funcionando por debajo de los valores mínimos del 75 y del 85% para la UD y coeficiente de uniformidad respectivamente.

Revisión del Diseño Hidráulico

Con respecto a la revisión del diseño los resultados se presentan en el Cuadro 3, se observó que no existe congruencia entre el diseño de los equipos evaluados con el diseño calculado, excepto para el equipo de Tekat que presenta un diseño similar al calculado.

Revisión del Manejo del Equipo

Las láminas aplicadas por el equipo bajo las condiciones normales de operación se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados de la revisión del diseño hidráulico.

Parámetros	Tizimin		Becanchen		Tekat	
	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado
Gasto (L s ⁻¹)	100	105.37	51	53.37	24	21.91
Velocidad (%)	50	69-100	30	50-100	40	28-100
Presión (m)	24.74	60.84	19.77	22.6	14.83	15.81
Velocidad de rotación (m min ⁻¹)	1.6	1.25	0.74	0.93	1.186	0.42
Lamina / rotación (mm)	9.55	11.7	17.73	7.1	6.4	3.88
Requerimiento de riego (mm día ⁻¹)		5.0		3.74		4.64

Cuadro 2. Uniformidades de distribución (UD) empleando la distancia y el área del colector con respecto al punto pivote como factor de ponderación.

Equipo	UD del sistema	UD del sistema	CU
	ponderada por área	ponderada por distancia	
	----- % -----		
Tizimin	54.14	46.90	62.38
Becanchen	62.01	60.66	71.97
Tekat	52.44	55.14	72.62

CU = coeficiente de uniformidad.

Las clases texturales, densidades aparentes y parámetros de retención de humedad se presentan en el Cuadro 4.

De acuerdo a los resultados del requerimiento de riego y de retención de humedad se tiene lo siguiente: **Tizimin.** El equipo al ser operado a la velocidad de 50% abastece la demanda máxima de 2 días (Cuadro 3) que es como lo opera el usuario; para las condiciones de este estudio, se debe mantener la velocidad de rotación para no exceder la velocidad de infiltración. La capacidad de retención del suelo (14.8 mm) permite establecer el intervalo de riego en 3 días.

Becanchen. La lámina media aplicada de 17.7 mm por revolución y la velocidad de infiltración, indican que se debe incrementar la velocidad nominal en un 5%. La capacidad de almacenamiento del suelo (66 mm) permite un intervalo de riego de 17 días.

El incrementar la velocidad modifica el intervalo y se puede establecer en 8 días reduciendo el número de riegos (el productor riega cada segundo día) y costos de operación.

Tekat. La lámina media aplicada (6.4 mm) alcanza a cubrir el requerimiento máximo del cultivo. Por lo que se puede mantener la velocidad a 40% de la velocidad nominal; por otra parte, la velocidad de infiltración no permite escurrimiento superficial, mientras que la capacidad

Cuadro 4. Textura, densidad aparente y parámetros de retención de humedad de cada sitio evaluado.

Localidad	Textura	Densidad aparente	Saturación	Capacidad de Campo	PMP	HA	HA	Infiltración básica
		g cm ⁻³	----- % -----				cm de agua m ⁻¹ de suelo	mm h ⁻¹
Tizimin	Migajón limoso	1.38	43	14	8	8	13-14	6.0
Becanchen	Franco	1.36	47	22	10	12	09-10	10.5
Tekat	Franca arenosa	1.45	34	12	4	8	10-12	12.5

PMP = punto de marchitez permanente; HA = humedad aprovechable.

de almacenamiento del suelo (26 mm), permite establecer un intervalo de riego de 3 días.

La regresión del volumen aplicado contra rendimiento para el pasto y la comparación de los rendimientos y costos de producción para el cultivo de maíz y pasto, así como la productividad del agua y de la tierra se muestran en el Cuadro 5.

Se observó que al incrementar el volumen de agua aplicado, el rendimiento del pasto se incrementó en 0.0044 Mg MS ha⁻¹ año⁻¹ por cada metro cúbico aplicado, lo cual coincide por lo reportado por Chávez *et al.* (2004).

Análisis de Beneficios y Costos de Operación del Cultivo de Maíz

Con relación al equipo de Becanchen, en donde se cultiva maíz (Cuadro 6), se observan los beneficios y los costos de producción de maíz de temporal, con riego por surcos y riego con pivote central.

El incremento de la producción con pivote central con respecto al obtenido con temporal solamente es de 2 Mg ha⁻¹ y de una con respecto al riego por surcos, por lo que la productividad marginal es mínima y las utilidades obtenidas no justifican la inversión y el uso de estos equipos para este cultivo.

Análisis Económico de la Producción de Pasto para la Alimentación de Bovinos de Carne

Con la finalidad de determinar la factibilidad económica en valor agregado del uso de los pivotes centrales en la producción de pasto se efectuó un análisis en relación con su utilización en la alimentación de bovinos productores de carne en Tizimin y Tekat, considerando los beneficios, costos de operación y utilidades tomando como punto de comparación las utilidades obtenidas solo con la producción de pasto. Los datos se obtuvieron de la aplicación de las Ecuaciones 5 a 8, encuestas a los productores y de la base de datos del programa de uso eficiente del agua de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Los resultados se presentan en el Cuadro 7.

Los resultados obtenidos muestran un aumento en las utilidades, ya que éstas se incrementaron de \$4416.6 y \$3470.6 ha⁻¹ año⁻¹ obtenidas con la producción de pasto a \$20 350.2 y \$15 754.4 ha⁻¹ año⁻¹ con la producción de carne para Tizimin y Tekat respectivamente, por lo que las utilidades se consideran buenas y para el caso de la producción de carne se justifica la inversión en un pivote central.

Cuadro 5. Datos de superficie, rendimiento, volumen de agua utilizado, utilidades y costos de producción de pasto y maíz regados con pivote central en Yucatán.

Localidad	Cultivo	Volumen total de agua utilizado	Superficie	Rendimiento	Precio	Valor de la producción	Costo de operación	Costo de energía	Utilidad	Utilidad neta
		m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹	ha	Mg ha ⁻¹ año ⁻¹	\$ Mg ⁻¹	----- \$ ha ⁻¹ año ⁻¹ -----				\$
Tizimin	Pasto	6110.36	110	40	149.76	5990.4	758.0	815.8	4416.6	485826
Becanchen	Maíz	7092.0	48	6	1610.0	9660.0	844.5	946.9	7868.6	377692.8
Tekat	Pasto	4333.08	23	32.1	149.76	4807.3	758.0	578.6	3470.7	79826

Cuadro 6. Rendimientos, costos de operación y utilidad del cultivo de maíz bajo diferentes sistemas de producción.

Sistema	Rendimiento	Valor de la producción	Costos de energía	Costos de operación	Utilidad
	Mg ha ⁻¹	\$ Mg ⁻¹	- - - - - \$ ha ⁻¹ año ⁻¹ - - - - -		\$ ha ⁻¹
Temporal	4	1450.00		2240.00	3560.00
Gravedad	5	2000.00		4500.00	5500.00
Pivote central	6	1610.00	844.50	946.90	7868.5

La carga animal que puede soportar el rendimiento del pasto producido con riego por pivote central es alta (8.12 y 6.33 UA ha⁻¹) comparada con 1.8 UA reportadas por González *et al.* (1994) para riego con cañones para la zona henequenera.

Productividad del Agua y de la Tierra

Los resultados del análisis de la productividad del agua y de la tierra se presentan en las Figuras 1 y 2.

En la Figura 1 se observa que para Becanchen donde se siembra maíz, se obtiene \$1.11 m³ de agua aplicado, mientras que para Tekat y Tizimin donde se sembró pasto, se puede obtener \$0.80 m³ y \$0.72 m³. La productividad de Becanchen es mayor debido a que el maíz se comercializa directamente, mientras que la productividad del pasto fue baja debido a que éste se utiliza para alimentar ganado, por lo que la productividad obtenida con el valor agregado de la producción de carne se incrementó a \$3.33 y \$17.38 m³ para Tizimin y Tekat, respectivamente, estas productividades se consideran adecuadas, ya que es mayor a la que se obtendrían con la carga animal de 1.8 UA reportada por González *et al.* (1994), ya que de tener esta carga animal en las comunidades estudiadas con los mismos costos se obtendrían productividades de \$-3.51 m³ y \$-3.28 m³ para Tizimin y Tekat, respectivamente.

Para el caso de la productividad de la tierra, la Figura 2 indica que se pueden obtener \$7868.6 ha⁻¹ año⁻¹

del cultivo de maíz en Becanchen \$4416.6 ha⁻¹ año⁻¹ y \$3470.7 para el caso de pasto cultivado en Tizimín y Tekat respectivamente; mientras que con el valor agregado de la producción de carne, esta productividad se incrementó a \$20 350.2 ha⁻¹ año⁻¹ en Tizimín y en \$15 754.4 ha⁻¹ año⁻¹ en Tekat, justificando la inversión en un pivote central.

CONCLUSIONES

- Los resultados de las pruebas de evaluación indicaron que existe una baja uniformidad de aplicación del agua sobre el terreno. El diseño de los equipos evaluados no es correcto a excepción del equipo de Tekat en donde se encontró un diseño similar al calculado en la revisión del diseño, lo que repercute en la baja uniformidad de aplicación del agua y por consiguiente en el rendimiento
- Existen deficiencias en cuanto al manejo y operación por parte de los usuarios ya que no aplican un calendario de riego y desconocen la lámina por aplicar en cada riego, se aplican riegos innecesarios, incrementando costos de producción por este concepto, aunado a la falta de programas de mantenimiento. Sin embargo, es posible corregir los problemas de manejo con los resultados obtenidos del rediseño efectuado en este estudio.
- El volumen de agua aplicado, fue determinante en el rendimiento, ya que por cada metro cúbico adicional

Cuadro 7. Rendimientos, costos de operación y utilidades obtenidas de la producción de bovinos alimentados con pasto regado con pivote central en Tizimín y Tekat, Yucatán, México.

Lugar	Superficie	Rendimiento del pasto	Carga animal	Producción	Precio	Valor de la producción	Costo de energía	Costo	Utilidad	Utilidad neta
	ha	Mg MS ha ⁻¹ año ⁻¹	UA ha ⁻¹	kg carne ha ⁻¹ año ⁻¹	\$ kg ⁻¹	- - - - - \$ ha ⁻¹ - - - - -				\$
Tizimín	110	40.0	8.12	3654	15	54810	815.8	33644	20350.2	2238522
Tekat	23	31.20	6.33	2848.5	15	42727.5	578.6	26394.5	15754.4	1732984

MS = materia seca; VA = unidad animal.

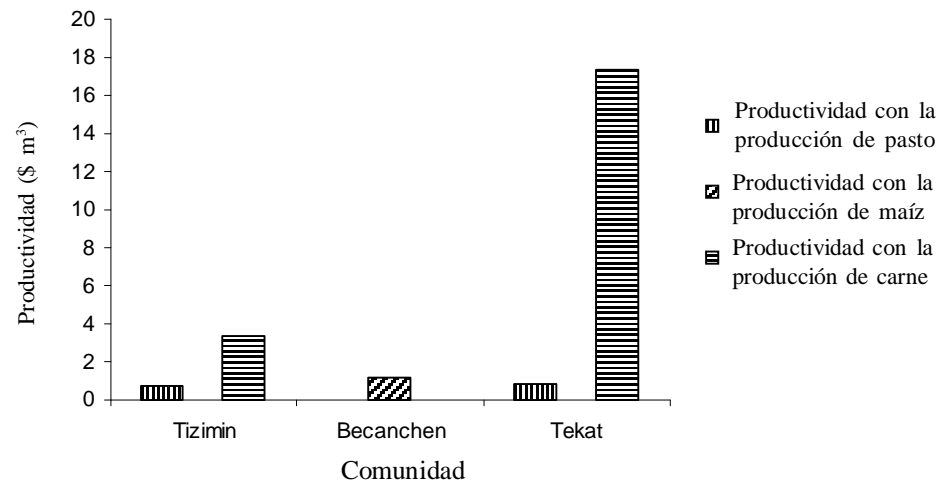


Figura 1. Productividad del agua utilizando pivote central.

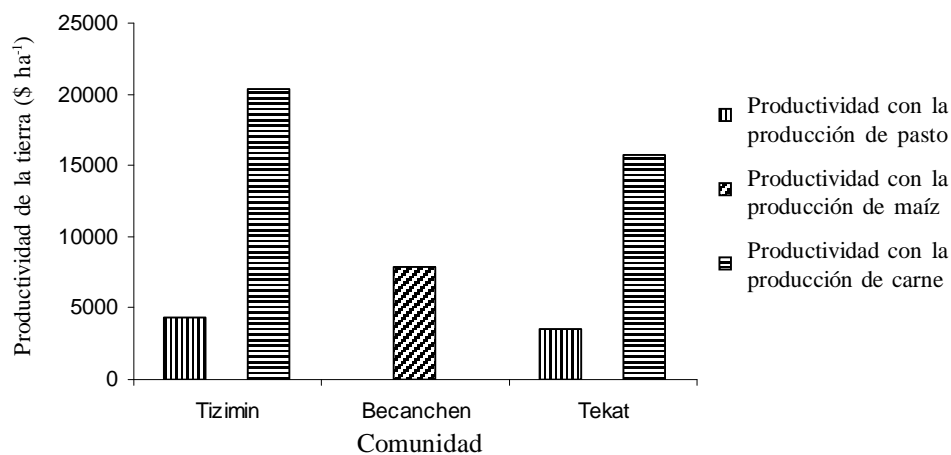


Figura 2. Productividad de la tierra de 3 comunidades de Yucatán bajo diferentes sistemas de producción.

que se aplica, el rendimiento del pasto se incrementó en $0.0044 \text{ Mg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

- Con respecto al equipo de Becanchen, en donde se cultiva maíz, los resultados obtenidos en relación al incremento de los rendimientos con pivote central fue mínimo con respecto a los rendimientos obtenidos con riego por gravedad y temporal y si se consideran además los altos costos de adquisición de los equipos hacen injustificable la inversión. La misma situación se presentó en el cultivo de pasto, en donde para hacer justificable la inversión fue necesario realizar una actividad adicional que aportara un valor agregado a la producción de pasto obtenida, como lo fue la engorda de ganado para carne.

LITERATURA CITADA

- ASAE (American Society of Agricultural Engineers). 1991. Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot, corner pivot, and moving lateral irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. pp. 653-654. *In*: Cooperative standards program for engineering in agriculture. Standards 1991 38th edition. ASAE 2950 Niles Road St. Joseph, MI, USA.
- Chávez M., J., B. Rojas M., J. C. Buendía E., E. Palacios V. 2004. Impacto del funcionamiento de los sistemas de riego presurizados en la productividad de ocho cultivos en Guanajuato, México. *Agrociencia* 38: 477-486.
- Dillon, R. C., E. A. Hiler Jr., and G. Vittetoe. 1972. Center pivot sprinkler design based on intake characteristics. *Trans. ASAE* 15: 996-1001.

- Fuentes R., C., H. Quiñones P., L. Rendón P., F. Hernández S., R. Sánchez B., G. Magaña S., E. Peña P., J. Enciso M., F. Martínez S., M. Carrillo G., J. Herrera P., V. Ángeles M., J. Castillo G., P. Martínez A., D. Replogle J., J. Clemmens A., B. De León M., V. Ruiz C., M. Iñiguez C., J. Ángeles H., M. Sánchez A., y R. Arteaga T. 1997. Manual para el diseño de zonas de riego pequeñas. Depto. de Irrigación UACH. IMTA. Jiutepec, Morelos, México.
- Fuentes Y., J. L. y C. García L. 1999. Técnicas de riego. Sistema de riego en la agricultura. Mundi-Prensa. México, D.F.
- González V., C., J. Escobedo M., P. Lara L. y F. Vera M. 1994. Producción de carne bovina con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) bajo tres presiones de pastoreo en la región centro-norte de Yucatán. Horticultura y Ganadería Tropical 3: 1-17.
- Martínez E., R. 1991. Riego localizado: diseño y evaluación. Patronato Universitario. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, edo. de México.
- Merriam J., L. and J. Keller. 1978 Farm irrigation system evaluation: A guide for management. 3rd. Ed., Utah State University. Logan, UT, USA.
- Ogrosky, H.O. and V. Mockus. 1964. Hydrology of agricultural lands. In: Ven Te Chow (ed.). Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill. New York, NY, USA.
- Shilo, C. 2000. Riego por aspersión, aumentando su eficiencia. Rev. Inter. Agua Riego 20: 15-22.
- Tarjuelo M., J. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. Mundi-Prensa. Madrid, España.