

Efecto de la rotación con leguminosas sobre la productividad del cultivo de piña (*Ananas comosus* [L.] Merr.) y cultivos intercalados en Tabasco, México

Rubén García De la Cruz¹
Roberto García Espinosa²
María del Pilar Rodríguez Guzmán²
Héctor González Hernández²
David J. Palma López¹

RESUMEN. Los agroecosistemas que se establecen en las regiones tropicales suelen tener una productividad limitada si se comparan con la productividad original de los ecosistemas que sustituyeron. Sin embargo, se ha señalado la ocurrencia de sobreproductividad transgresiva con el uso de sistemas de policultivos. Para definir la posibilidad de sobreproductividad en sistemas de rotación con leguminosas y piña sola o en asociación con cultivos anuales, se estableció un experimento en Huimanguillo, Tabasco, México. El diseño usado fue de parcelas divididas, con cuatro repeticiones, en donde las parcelas grandes fueron *Mucuna deeringiana*, *Canavalia ensiformis* y sin rotación (testigo). Las parcelas chicas fueron los cultivos intercalados, que se establecieron en las calles anchas de las filas dobles de piña. El trabajo se desarrolló en tres fases: siembra de leguminosas, siembra de piña y siembra de cultivos intercalados: maíz y frijol negro asociados, maíz solo, y chile habanero solo. Los rendimientos de los cultivos intercalados obtenidos después de las rotaciones fueron altos en comparación con los de las parcelas sin rotación. En el caso de la rotación con *Mucuna*, el rendimiento de maíz solo fue de 3750 kg ha⁻¹, y asociado con frijol fue de 3875 kg ha⁻¹; para frijol fue de 634 kg ha⁻¹; y para chile habanero fue de 7551,8 kg ha⁻¹. La mayor productividad se obtiene con la rotación con leguminosas, y la aparente estabilidad se alcanza en corto tiempo. El potencial productivo de sistemas como este implica beneficios económicos hasta ocho veces mayores al simple monocultivo de piña.

Palabras clave: agroecosistemas, sobreproductividad, sobreproductividad transgresiva, estabilidad, *Mucuna deeringiana*, *Canavalia ensiformis*, policultivos.

ABSTRACT. Effects on pineapple productivity of rotating legumes and interspaced crops in Tabasco, Mexico. Agroecosystems established in tropical regions tend to have a rather limited productivity when compared to the original ecosystem's productivity. However, transgressive overyielding has been reported for mixed cropping systems in certain crop combinations. To define the possibility of transgressive overyielding in legume rotation systems followed by pineapple, alone or intercropped, an experiment was established in Huimanguillo, Tabasco, Mexico. A split-plot design was used, where the large plots were rotations with *Mucuna deeringiana*, *Canavalia ensiformis* and without rotation. The small plots were planted with corn alone or associated with beans, and Habanero hot pepper in the middle of pineapple rows. Yields of intercrops were high after legume rotations compared to without rotation. After *Mucuna*, corn yielded 3750 kg ha⁻¹; corn associated with beans yielded 3875 kg ha⁻¹; beans yielded 634 kg ha⁻¹ and Habanero pepper yielded 7551.8 kg ha⁻¹. The highest productivity was obtained with the legume rotation and apparent stability was achieved under a rather brief rotation time. Pineapple rotation-multicrop systems, particularly with *Mucuna*, represent a technically viable and economically profitable strategy.

Keywords: agroecosystems, transgressive overyielding, stability, pineapple, *Mucuna deeringiana*, *Canavalia ensiformis*, intercropping.

¹ Campus-Tabasco, Colegio de Postgraduados, 86500. H. Cárdenas, Tabasco. México. rubeng@colpos.mx

² Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados. 56230, Montecillos, Edo de México, México. Tel. (95)95 20200 X 1661, rogar@colpos.mx

Introducción

En la mayoría de las regiones tropicales del mundo, la producción de piña (*Ananas comosus* [L.] Merr.) se hace en monocultivo, provocando un desbalance del agroecosistema en grandes áreas tecnificadas, caracterizadas por la pérdida de suelo y la acelerada tasa de descomposición de la materia orgánica, ya que las tierras suelen ser rentadas (Rebolledo et ál. 1998). A largo plazo, esto resulta en la pérdida de la productividad del agroecosistema y en la necesidad de abandonar la tierra. Para lograr sistemas sustentables de producción, es necesario definir estrategias que permitan mantener el nivel de productividad en el largo plazo y el punto de partida debería ser el reconocimiento de agroecosistemas sustentables donde, por su buen balance, no ocurra pérdida violenta de la productividad.

Entre los escasos ejemplos de agroecosistemas sustentables en las regiones tropicales, se encuentran algunos esquemas de policultivo y rotación de cultivo para los cuales se ha documentado “sobrepoblación transgresiva” para ciertas combinaciones de cultivos, que se explica en razón del uso independiente del nicho ecológico, o del establecimiento de una interacción de protooperación entre especies cultivadas. Vandermeer (1989) menciona que en esta interacción de protooperación destaca el efecto “facilitador” que ejerce una especie al favorecer en gran medida a otra u otras especies, anulando o superando la competencia entre ellas. Al respecto, se ha demostrado que el uso de ciertas leguminosas en rotación con maíz (*Zea mays*) en las regiones cálidas húmedas de México mejora significativamente su productividad. La estabilidad de este sistema se atribuye, entre otras razones, al abundante aporte de materia orgánica y de nitrógeno fijado a través de la simbiosis bacteriana con la raíz de las leguminosas; a la mejor nutrición del maíz por la rápida colonización de sus raíces con las micorrizas y por la reducción en la incidencia y daños a las raíces por fitopatógenos del suelo. Al parecer, la rotación con leguminosas hace posible que el productor eleve y mantenga altos rendimientos, logrando su permanencia en las mismas áreas de cultivo (García et ál. 1994).

Los objetivos de este trabajo fueron (a) definir si la rotación con leguminosas tropicales (siembra previa al cultivo de la piña) podría permitir y facilitar el establecimiento de cultivos anuales intercalados con este cultivo; y (b) realizar un análisis beneficio-costos del sistema leguminosas-piña en comparación con el sistema convencional de producción en monocultivo.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló entre mayo de 2000 y mayo de 2001, en el rancho “Agrícola San Pablo SPR de RL”, ubicado en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, México; a

los 17°38'N y 93°29'O, con un clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano; a 11 msnm; suelos franco arcillo arenosos y profundos, con buen drenaje y alto grado de intemperización, de media a baja capacidad de intercambio catiónico, baja saturación de bases, pH ácido y deficiencia de fósforo, lo que los convierte en suelos restrictivos para muchos cultivos, sobre todo los anuales.

Se estableció un experimento de rotación leguminosas-piña y esta última, intercalada o no, con distintos arreglos de cultivos anuales. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, con cuatro repeticiones, en donde cada parcela grande (24 × 20 m) fue sembrada con las leguminosas *Mucuna deeringiana* o *Canavalia ensiformis* (solas) y sin leguminosas (testigo). Las parcelas chicas fueron los cultivos intercalados, establecidos en medio de las filas dobles de piña (un total de 4 filas dobles con un área de 4 × 4 m). El trabajo se desarrolló en tres fases:

1) Siembra de leguminosas, para lo cual se depositaron de dos a tres semillas por golpe, utilizando macana, con distancia entre plantas de 40 cm y 50 cm entre hileras. La siembra de leguminosas se realizó el 26 de mayo de 2000, al inicio del período de lluvias. Las leguminosas fueron podadas con machete el 16 de septiembre del mismo año.

2) Siembra de piña cv. Cayena Lisa Regional, usando propágulos conocidos como “clavos”. Esto se llevó a cabo entre el 16 y 18 de septiembre del 2000. La distancia empleada para la piña fue de 40 cm entre plantas en doble fila, donde la distancia entre surcos fue de 50 cm y la distancia entre cada fila doble fue de 1 m. Cabe destacar que el material vegetativo sembrado no recibió tratamiento con plaguicidas.

3) Siembra de cultivos intercalados siete meses después de la siembra de las leguminosas y tres meses después de la siembra de piña (16 de diciembre del 2000). La siembra de maíz y frijol fue directa y la del chile habanero fue por trasplante. Se usó maíz y frijol negro asociados; maíz (solo), y chile habanero (solo).

No se realizó ninguna aplicación de fertilizante a lo largo del ciclo de los cultivos. En todos los cultivos se evaluaron parámetros de vigor como altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento (este último no se evaluó para piña, donde solo se realizó una estimación visual). A la piña, además, se tomó por muestreo el peso fresco de raíz y, por diferencia con el peso de raíz lavada, el peso de suelo adherido a la raíz (rizosfera). Las evaluaciones se realizaron a partir de la siembra de piña en septiembre de 2000 hasta mayo de 2001, con una periodicidad mensual, por lo que para los cultivos intercalados solo hubo tres evaluaciones. La primera fecha de muestreo fue el 28 de diciembre (3

meses después del corte de leguminosas), la segunda el 30 de enero y la tercera el 28 de febrero de 2001. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey, mediante el paquete SAS versión 6.12. También se calculó la relación beneficio-costos para los tres grandes agroecosistemas investigados, empleando el criterio propuesto por Gittinger (1983), en el que la relación beneficio-costos es el cociente que resulta de dividir el total de los beneficios entre el total de los costos, entendiéndose como beneficios la cantidad en que los ingresos totales de una empresa exceden sus costos totales y contribuyen al logro de un objetivo, y los costos como bienes y servicios que reducen el ingreso del agricultor.

Resultados y discusión

Productividad y estabilidad de los agroecosistemas

Los parámetros de vigor de las plantas de piña (Cuadro 1) bajo el sistema de rotación con la leguminosa *M. deeringiana* fueron más altos, y las diferencias entre tratamientos resultaron altamente significativas ($p \leq 0,0001$) respecto a la rotación con *C. ensiformis* y el testigo, sin diferencias significativas entre estos dos últimos.

En las tres fechas de muestreo, la altura de la piña (Figura 1) fue mayor ($p \leq 0,001$) bajo la rotación con *M. deeringiana*. Lo mismo ocurrió con el peso de raíces, ya que en cada fecha de muestreo fue mayor en la rotación con *M. deeringiana*, en comparación con el testigo y la rotación con *C. ensiformis* (Figura 2). En contraste, no hubo diferencias significativas en cuanto a los parámetros de vigor de piña en los sistemas con cultivos intercalados, por lo que el efecto se debe únicamente a las rotaciones (parcelas grandes).

Las diferencias entre rotaciones (con solo cuatro meses) y con el testigo sobre los parámetros de vigor de la piña indican un efecto benéfico de la rotación con *M. deeringiana*, mientras que, aparentemente, ocurre un efecto negativo con la rotación con *C. ensiformis* al compararla con el testigo (sin rotación), principalmente respecto a altura y diámetro de tallo. Estas diferencias

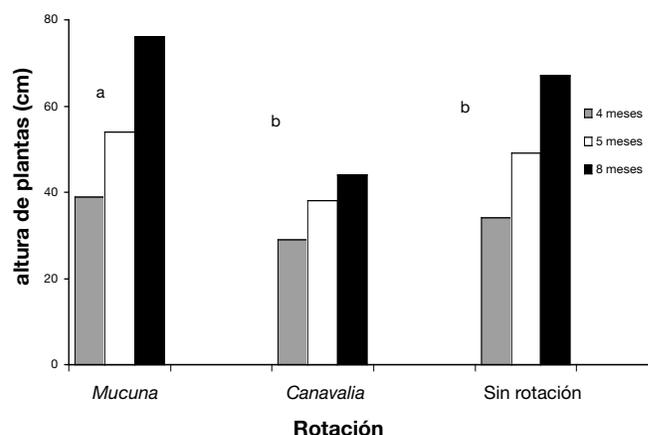


Figura 1. Altura de plantas de piña en tres fechas de muestreo, después de la rotación con leguminosas (letras iguales entre sistemas indican que no existe diferencia estadística significativa).

podrían atribuirse a algún efecto alelopático o a que *C. ensiformis* estimula algún componente de la microflora del suelo perjudicial al sistema de raíces de la piña (algún patosistema exacerbado, ver Maciel y García 1986).

Mención especial merece la notable diferencia en el peso del suelo adherido a la raíz de piña en la rotación con *M. deeringiana* (Cuadro 1), donde la raíz de piña presentó un promedio superior a los 23 g por muestra, mientras que sin rotación o con rotación de *C. ensiformis*, el peso fue de aproximadamente 7 g. Aunque no fue el objetivo de este trabajo ahondar sobre las interacciones microbianas de la raíz y el suelo, es claro que la rotación indujo un fuerte efecto de rizosfera que propició la retención en torno a la raíz (que en la piña es raíz desnuda) de una gran cantidad de suelo, probablemente debido a la gran actividad de endomicorizas, en un efecto que amerita ser estudiado a fondo y que no se observó en la rotación con *C. canavalia* y, desde luego, tampoco en el testigo sin rotación. El efecto de rizosfera observado podría explicar las diferencias, favorables a la rotación con *M. deeringiana*, de todos los parámetros de vigor de la piña y, al parecer, es un fenómeno nunca antes reportado en la literatura científica.

Cuadro 1. Valor promedio de los parámetros evaluados en las plantas de piña en cada agroecosistema, nueve meses después de la siembra

Parámetros de piña	Rotación con <i>Mucuna deeringiana</i>				Rotación con <i>Canavalia ensiformis</i>				Sin rotación (testigo)			
	Maíz	Frijol-maíz	Chile	Sin cultivo intercalado	Maíz	Frijol-maíz	Chile	Sin cultivo intercalado	Maíz	Frijol-maíz	Chile	Sin cultivo intercalado
Altura (cm)	77	78	76	75	44	45	44	43	73	66	67	63
Diámetro del tallo	7,1	7,3	7,2	7,1	5,2	5,3	5,0	5,1	6,1	6,4	6,7	6,6
Peso de raíz (g)	15,83	15,84	15,82	15,83	10,5	10,6	10,4	10,5	10,16	10,16	10,15	10,15
Suelo de rizosfera (g)	23,67	23,68	23,64	23,66	7,0	6,6	7,1	7,2	7,14	7,14	7,12	7,13

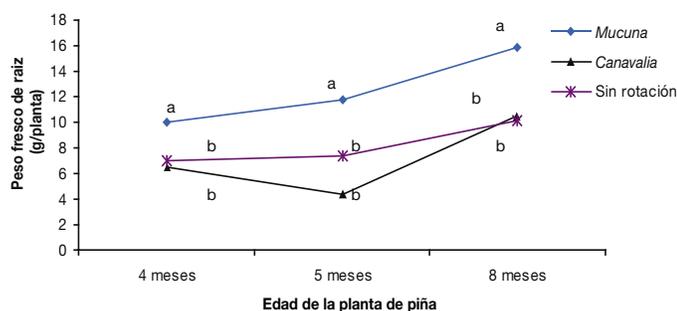


Figura 2. Peso de raíz de piña en tres fechas de muestreo, después de la rotación con leguminosas (letras iguales por fecha indican que no existe diferencia estadística significativa).

El efecto benéfico de las rotaciones fue muy claro sobre los cultivos intercalados, ya que en el testigo (sin rotación) la producción fue nula (Cuadro 2, Fig. 3). Aunque se sabe que normalmente en este tipo de suelos en la región los cultivos anuales no son posibles, sorprendieron los rendimientos obtenidos pues superaron por mucho a la media de los rendimientos estatales.

Cabe destacar que la siembra de los cultivos intercalados no pareció afectar los parámetros de vigor de la piña, sobre todo en la rotación con *M. deeringiana*, por lo que el uso de estas leguminosas en rotación, particularmente con *M. deeringiana*, acrecienta el potencial de productividad del agroecosistema. De esta manera, la rotación con leguminosas hace posible que el productor eleve y mantenga constantes los rendimientos, sin necesidad de abandonar temporalmente la tierra (Quiroga et ál. 1992).

La estabilidad resultante en el agroecosistema parece depender de aspectos biológicos del suelo, fenómeno en el que se ha involucrado la reducción al daño radical por fitopatógenos (García et ál. 1994). También parece importante que en los agroecosistemas ensayados, donde se usa el cultivo previo de leguminosas (rotación), la siembra de cultivos intercalados resulta en una productividad acrecentada comparada con la productividad del testigo (sin rotación), en lo que pudiera interpretarse como una sobreproducción transgresiva, ya que el cultivo principal

(la piña) no es afectado en su desarrollo. De acuerdo con Vandermeer (1989), en agroecosistemas con policultivos puede ocurrir este tipo de sobreproductividad y, según Trenbath (1970), este puede ser un fenómeno en el que la protooperación entre especies cultivadas sustituye la competencia entre especies. En ciertas combinaciones de cultivos puede observarse el fenómeno al que Vandermeer denomina “facilitación”, el cual significa que una especie facilita el mejor desarrollo de otra u otras especies. En este trabajo se evidencia que el cultivo previo (rotación) con leguminosas tropicales, principalmente con *M. deeringiana*, facilita un mejor desarrollo de los cultivos intercalados con la piña, a tal grado que solo donde se practicaron rotaciones fue posible obtener cosecha de los cultivos intercalados (Cuadro 2, Fig. 3). La reducción de la competencia, la protooperación que se establece entre especies cultivadas en rotación o en cultivos múltiples resultante en la facilitación, puede ser explicada para agroecosistemas tropicales, al menos en parte, por la reducción del impacto dañino del patosistema edáfico, que de acuerdo con Summer et ál. (1981) se observa en policultivos, ya que las plantas generalmente muestran mejor salud y vigor por la gran diversidad de raíces en el suelo. Es importante comentar también que el método de cultivo practicado en este trabajo corresponde a la llamada “labranza cero”, no hubo roturación del suelo, situación que según Summer et ál. (1981) resulta en un bajo impacto del patosistema edáfico en las regiones tropicales.

Relación costo–beneficio de los agroecosistemas estudiados

El difícil proceso de comercialización que sufren los productores de piña para colocar su producto reduce el margen de rentabilidad. De acuerdo con Rebolledo et ál. (1998), tomando en cuenta la información financiera de la rentabilidad del cultivo en los últimos cinco años, para la cosecha de 1997 estimaron un costo de producción por tonelada de fruta fresca de \$750. Con base en un costo

Cuadro 2. Rendimiento (kg ha^{-1}) de cultivos intercalados en piña, obtenidos en cada agroecosistema

Rendimiento de los cultivos intercalados con piña	<i>Mucuna deeringiana</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	Sin rotación
Maíz solo	3750	3750	0
Maíz ⁽²⁾ -frijol	3875	3812	0
Frijol ⁽³⁾ -maíz	634	475	0
Chile habanero	7552	7055	0

Notas: ⁽²⁾ Se refiere únicamente al rendimiento de maíz cuando fue asociado con frijol; ⁽³⁾ se refiere únicamente al rendimiento de frijol cuando fue asociado con maíz.

Cuadro 3. Costos de producción y beneficios (US\$) estimados por agroecosistema, en comparación con el monocultivo piña regional

Agroecosistema	Costo de producción total/ ha	Valor de la producción total/ ha ^a	Ganancia total estimada	Relación beneficio-costo
<i>Mucuna deeringiana</i>				
Piña- maíz (sólo)	1778,4	6570,0	4791,6	3,7
Piña- maíz-frijol	1787,1	7229,0	5441,9	4,0
Piña- chile habanero	2007,9	17147,2	15.139,6	8,5
Piña sola	1765,5	5820,0	4054,5	3,3
<i>Canavalia ensiformis</i>				
Piña- maíz (sólo)	1869,3	6570,0	4700,7	3,5
Piña- Maíz-frijol	1886,3	7058,2	5171,9	3,7
Piña-chile habanero	2106,9	16.402,5	14.295,6	7,8
Piña sola	1864,3	5820,0	3955,7	3,1
Testigo				
Piña- maíz (sólo)	1628,4	2871,2 ^b	1242,8	1,7
Piña- maíz-frijol	1645,2	2871,2 ^b	1266,0	1,7
Piña-chile habanero	1866,0	2871,2 ^b	1005,2	1,50
Piña sola	1623,5	2871,2 ^b	1247,7	1,7
Monocultivo comercial ^c	4672,2	5820,0	1163,6	1,2

^a El valor de la producción se estimó con base en rendimientos de piña de 75 ton/ha, y rendimiento de cultivos intercalados según el valor estimado de cada cultivo; ^b no hubo rendimiento de intercalados y el rendimiento de piña es la mitad de lo esperado en las rotaciones y el monocultivo regional; ^c Información proporcionada por el Ing. Víctor Vásquez Pichardo (2001, Agrícola San Pablo SPR de R.L, Huimanguillo, Tabasco, comunicación personal).

total de producción por hectárea de \$40.000, el costo se recupera con 53 toneladas. Por fortuna, la producción que se alcanza mediante el empleo de un sistema tecnológico mecanizado es de 70 toneladas, por lo que queda un margen de ganancia de 17 t ha⁻¹.

Los costos de producción de piña en la región son muy elevados, ya que de acuerdo con la información proporcionada por el Sr. Víctor Vásquez Pichardo, productor colaborador en esta investigación (uno de los mayores productores de piña en la región), el costo de producción por hectárea para el año 2000 fue de alrededor de \$46.722 por ciclo productivo (comunicación personal).

Frente a estos costos, los agroecosistemas ensayados prometen arribar a un sistema de cultivo de piña estable (sustentable) y convertirse en una alternativa muy rentable para los agricultores, con rendimientos de piña estimados en 75 t ha⁻¹, con excepción del testigo experimental, donde se espera una producción máxima de 37,5 t ha⁻¹, debido principalmente a la invasión masiva de malezas (gramíneas). Considerando que el valor comercial normal del cultivo de piña para las cosechas de enero en la región es de \$58.200 (Rebolledo et ál. 1998), la estimación de las ganancias y de la relación beneficio/costo (Cuadro 3) fue obtenida con base en la estimación de precios de los diferentes cultivos intercalados (ASERCA 2002). Para el caso del maíz, fue de \$2000 por tonelada; para frijol negro de \$10.000 por

tonelada; y para chile habanero de \$15.000 por tonelada.

En el agroecosistema sin rotación, la relación beneficio-costo fue muy cercana a la que muestra la producción comercial; es decir, cuesta menos, pero produce menos, también. Por otro lado, contamina menos, al eliminar el uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos. En cambio, las rotaciones con cultivos intercalados pueden elevar la relación beneficio-costo hasta 8,5, como es el caso del sistema *M. deeringiana*-piña-chile habanero. La rentabilidad y la sustentabilidad de los sistemas que emplean rotaciones con leguminosas, particularmente *M. deeringiana*, es evidente y crea una estrategia viable y económicamente rentable para los productores de piña del trópico húmedo.

La rotación con la leguminosa *M. Deeringiana*, aunque breve, tuvo un efecto notable en los parámetros de vigor de la piña, con un atractivo fenómeno de adhesión de partículas de suelo al sistema de raíces que amerita ser investigado.

La siembra de los cultivos intercalados no pareció afectar los parámetros de vigor de la piña, sobre todo en la rotación con *M. deeringiana*, por lo que el uso de esta leguminosa en rotación acrecienta el potencial de productividad del agroecosistema.

Cuando en el agroecosistema se incluyen rotaciones con leguminosas, particularmente *M. deeringiana*, emerge una aparente estabilidad en el agroecosistema que resulta



Figura 3. Efecto benéfico del cultivo previo de *Mucuna deeringiana* sobre el cultivo intercalado de maíz; (a) parcela de maíz después de *M. deeringiana*; (b) maíz sin rotación previa.

en su productividad sostenida. Esta propiedad desde luego está ausente cuando la piña se siembra en monocultivo, y esta propiedad emergente permite lo que normalmente en la región parece imposible en este agroecosistema: obtener cosechas de otros cultivos además de la piña, lo que genera una alternativa apreciable para el ingreso familiar.

Literatura citada

- ASERCA. 2001. Apoyos y Servicios a la Comercialización de Productos Agrícolas (en línea). Organismo dependiente de la SAGARPA. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/aserca>
- García E, R; Quiroga M, R; Granados A, N. 1994. Agroecosistemas de productividad sostenida de maíz, en las regiones cálidas húmedas de México. In Thurston, Smith, Abawi, Kearl. eds. Tapado: los sistemas de siembra con cobertura. CATIE y CIIFAD. p. 97-108.
- Gittinger, JP. 1983. Análisis económico de proyectos agrícolas. 2 ed. Madrid, ES, Tecnos. 532 p.
- Maciel I, D; García E, R. 1986. Efecto de la siembra previa de tres leguminosas tropicales sobre el cultivo del maíz y sus fitopatógenos del suelo. Revista Mexicana de Fitopatología 4:98-108.
- Quiroga M, RR; García E, R; Zavaleta M, E; Rodríguez G, P. 1992. Impacto reducido del patosistema edáfico del maíz (*Zea mays* L.) en el sistema de rotación maíz-calabaza-frijol terciopelo (*Stizolobium deeringianum* Bort.) en Tabasco, México. Revista Mexicana de Fitopatología 10:103-115.
- Rebolledo M, A; Uriza E, D; Rebolledo M, L. 1998. Tecnología para la producción de piña en México. México, INIFAP. 159 p. (Folleto Técnico no. 20).
- Stewart, BA, Robinson, CA. 1996. Are agroecosystems sustainable in semiarid regions? Training workshop on sustainable agroecosystems and environmental issues. Canyon, TX, US, West Texas and W. University. s.p.
- Summer, DR; Douppnik, B Jr, Boosalis, MG. 1981. Effects of Reduced Tillage and Multiple Cropping on Plant Diseases. Annual Review of Phytopathology 19:167-187.
- Trenbath, BR. 1970. Biomass productivity of mixture. Agricultural Research. University of Adelaide. Adelaide South Australia. ADV, Agron. 26:177-210.
- Vandermeer, J. 1989. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press. 273 p.