

COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE MANEJO DEL CULTIVO DEL CACAO, EN PRESENCIA DE *Moniliophthora roreri*, EN MÉXICO

COMPARISON OF TWO SYSTEMS OF THE CACAO CROP MANAGEMENT, IN PRESENCE OF *Moniliophthora roreri* IN MÉXICO

Carlos F. Ortiz-García¹, Magdiel Torres-de-la-Cruz^{2*} y Silvia-del-C. Hernández-Mateo²

¹Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados. Km. 3.5 Carr. Cárdenas-Huimanguillo. 86500, H. Cárdenas, Tabasco, México. ²División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km. 0.5 Carr. Villahermosa-Cárdenas. 86039, Tabasco, México.

*Autor para correspondencia (biomag75@hotmail.com)

RESUMEN

Tabasco, México es el principal estado productor de cacao (*Theobroma cacao* L.) y concentra 70 % de la producción nacional. *Moniliophthora roreri*, agente causal de la moniliasis del cacao (MC), es la principal limitante parasítica en la entidad, donde ha provocado pérdidas de más de 75 % en la producción, con efectos socioeconómicos y ambientales negativos. Las acciones de manejo integrado de esta enfermedad (MIP) ya han disminuido el efecto del patógeno sobre la producción; sin embargo, es necesario un enfoque más amplio que tenga como finalidad incrementar el rendimiento del cultivo, la solvencia económica del productor y la sostenibilidad, mediante un manejo integrado de cultivo (MIC) que puede evaluarse. El objetivo del presente trabajo fue comparar un sistema de MIC del cacao con un manejo tradicional (MT) en Tabasco, México, a fin de proponer la adopción del sistema más viable. Esta comparación incluyó el efecto del manejo sobre la producción de cacao comercial y la epidemiología de la MC; también se realizó un análisis económico marginal. Hubo diferencias ($P = 0.001$) en el rendimiento entre el MT y el MIC, con rendimientos promedios de 228 a 1082 kg de cacao seco ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Se registró un incremento de producción del 374.4 % en el sistema MIC, con respecto al rendimiento obtenido en el sistema MT. La incidencia final de la moniliasis en el MIC fue 16 % y en el MT fue de 80.7 %, con diferencias significativas ($P = 0.001$). Se redujo la incidencia de la MC en 79.9 % con el sistema MIC respecto a la incidencia obtenida en el MT. El MIC produjo beneficios brutos más altos que el MT, con una tasa de retorno marginal de 177 %, por lo que el MIC es económicamente recomendable.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, *Moniliophthora roreri*, manejo integrado de cultivo.

SUMMARY

Tabasco, México is the main cacao-producing State and concentrates 70 % of the national cacao (*Theobroma cacao* L.) crop. *Moniliophthora roreri*, causal agent of frosty pod rot of cacao (FPR), is the main parasitic infestation that limits cacao production in the state; losses caused by this parasite exceed 75 % of the annual production, thus causing social, economic and environmental negative effects. The efficiency of integrated pest management (IPM) has been reported to decrease the effect of the pathogen on production; however, a broader approach is necessary to increase crop yield, economic solvency of the producer, and crop sustainability by a ready integrated crop management (ICM). This study compared a cacao ICM system against a traditional, regional cacao management (RM) system in Tabasco, México to propose the

adoption of the more viable system. This comparison included the effect of management over commercial cocoa production and epidemiology of FPR; a marginal economic analysis was also performed. There were differences ($P = 0.001$) in the cacao production between RM and the ICM, with average yields of 228 to 1082 kg of cacao dry ha⁻¹ year⁻¹, respectively. A production increase of 374.4 % was registered for ICM, compared to RM. Final incidence of FPR in ICM was 16 %, while in RM it was 80.7 %, with significant differences ($P = 0.001$). The incidence of FPR was reduced to 79.9 % with ICM, compared to RM. ICM produced higher gross benefits than RM, with a rate of marginal return of 177 %, so that ICM is economically advisable.

Index words: *Theobroma cacao*, *Moniliophthora roreri*, integrated crop management.

INTRODUCCIÓN

Tabasco, México, es el principal estado productor de cacao (*Theobroma cacao* L.) y concentra 70 % de la producción nacional. En esta entidad el cacao se cultiva en 41,086 ha distribuidas en diez municipios y 29,505 familias dependen económicamente de este cultivo (OEIDRUS, 2009). Entre las limitantes parasíticas de la producción de cacao en Tabasco destaca *Moniliophthora roreri* [(Cif. y Par.) Evans *et al.*], agente causal de la moniliasis del cacao (MC). Este patógeno se reportó por primera vez en México en abril de 2005 (Phillips-Mora *et al.*, 2006) y actualmente se encuentra disperso en todas las plantaciones de la entidad (Torres-de-la-Cruz *et al.*, 2011).

La MC está considerada como la enfermedad más destructiva del cacao en América latina. Ésta enfermedad sólo ataca los frutos (llamados mazorcas), a los que les provoca necrosis interna y externa, y finaliza con la pérdida de la mazorca. Su inóculo puede sobrevivir más de siete meses en frutos momificados que permanecen en el árbol de cacao después de la cosecha, los cuales aportan niveles elevados de esporas durante todo el periodo de fructificación (Phillips-Mora *et al.*, 2005).

En Tabasco, la MC ha provocado pérdidas de producción

de más de 75 % y alcanzan hasta 100 % en plantaciones sin manejo. Actualmente, las pérdidas en producción de cacao son debidas al efecto directo de la enfermedad (Torres-de-la-Cruz *et al.*, 2011) y a la reducción de superficie cultivada, ya sea por abandono de plantaciones o por el cambio definitivo del uso del suelo debido al reducido ingreso familiar por unidad de producción, por lo que la sustentabilidad del cultivo del cacao en México está en riesgo.

En la búsqueda de estrategias de control sobre la MC en Tabasco, Torres-de-la-Cruz *et al.* (2013) evaluaron el efecto del fungicida azoxistrobin (ingrediente activo) como agente curativo de la MC; antes, Torres-de-la-Cruz *et al.* (2011) evaluaron el efecto de la sombra sobre la epidemia de MC y la eficiencia de acciones culturales y químicas. Sin embargo, debido a la existencia de otros factores fitosanitarios y edafoclimáticos que actúan de manera simultánea en los ciclos productivos del cacao, es necesario evaluar estrategias de manejo integrado de cultivo (MIC) (Téliz, 2000).

El MIC toma en cuenta prácticas agrícolas complementarias, como fertilización foliar o edáfica, riego, manejo social y ambiental. El MIC tiene como objetivos fundamentales elevar el rendimiento de los cultivos, la solvencia económica del productor y la sostenibilidad (Téliz, 2000). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue comparar un sistema de MIC del cacao con un manejo tradicional (MT) en Tabasco, México, a fin seleccionar y proponer la adopción del sistema mas viable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

En el municipio de Jalpa de Méndez, Tabasco, México (18° 10' 33.5" N y 93° 08' 45" O), se seleccionó una plantación de 20 años de edad, constituida por una mezcla de híbridos susceptibles de tipo trinitario, dispuestos en marco real de 3.5 x 3.5 m, con una densidad de siembra de 784 plantas ha⁻¹.

Comparación del MIC contra un manejo tradicional

Se comparó un MIC contra el MT. Los tratamientos iniciaron en el mes de mayo de 2011 y las evaluaciones se desarrollaron durante el ciclo de producción junio 2011 a mayo de 2012. Cada sistema de manejo se evaluó por triplicado; las seis parcelas de manejo se establecieron bajo un diseño completamente al azar. Cada parcela experimental consistió de 180 árboles en un rectángulo de 10 x 18 árboles (2214 m²), y la parcela útil fue 4 x 12 = 48 árboles centrales como propusieron Torres-de-la-Cruz *et al.* (2011).

El manejo tradicional (MT) consistió en las siguientes acciones: control mecánico de maleza, eliminación mecánica de renuevos, control químico de *Phytophthora capsici* con sulfato de cobre (2 kg ha⁻¹) en época de lluvias, y eliminación quincenal de frutos enfermos solamente en el periodo de cosecha.

El sistema MIC consistió de las prácticas agrícolas establecidas en el MT más fertilización foliar con Grogreen® (2 kg/200 L), control de trips (*Selenotrips rubrocinctus*) con monocrotopos (0.6 g i.a. L⁻¹) (López-Mendoza, 1987), y las acciones del manejo integrado de enfermedades establecidas por Torres-de-la-Cruz *et al.* (2011): 1. Remoción semanal de frutos enfermos; 2. Mantenimiento del drenaje; 3. Control de arvenses dos veces al año; 4. Poda de ramas laterales e internas y reducción de la altura de los árboles de cacao a 4 m; 5. Eliminación total de frutos en periodo de baja producción, como indican Sánchez y González (1989); 6. Saneamiento de frutos eliminados y residuos de cosecha con solución de urea a 15 %, para acelerar su descomposición; 7. Control químico de la MC con azoxystrobin (160 g i.a. ha⁻¹) con aspersiones dirigidas a frutos menores de dos meses de edad por cada flujo reproductivo, y posteriores aspersiones mensuales con hidróxido de cobre (1500 g i.a. ha⁻¹). La Figura 1 ilustra el aspecto sano de los frutos cuando el huerto se manejó con el sistema MIC.

La eficiencia de los manejos se determinó con tres variables: epidemiológica, productiva y económica. La variable epidemiológica consideró el efecto del sistema de manejo sobre el progreso temporal de la MC.

Progreso temporal de la moniliasis del cacao

Dado que la producción de frutos de cacao en Tabasco, se efectúa mediante flujos reproductivos consecutivos durante 10 meses (Torres-de-la-Cruz *et al.*, 2011), se identificó cada flujo de cuajado de frutos sanos y jóvenes (80 a 100 mm). Frutos muertos menores de 80 mm se atribuyeron a *Cherelle wilt*, un desorden fisiológico que causa marchitez y necrosis a frutos en etapa juvenil e impide definir con certeza la causa de la muerte (Bateman *et al.*, 2005). Se etiquetaron los frutos de cada población, y se cuantificó semanalmente el número de frutos que manifestaron *mancha chocolate* y esporulación como síntomas externos de MC (Sánchez y González, 1989). Se graficó la curva del progreso acumulado de la enfermedad, con los datos de la incidencia de frutos enfermos en cada flujo de producción (Phillips-Mora *et al.*, 2005).

Las curvas del progreso temporal de la enfermedad (curva de la epidemia) de cada sistema de manejo (MT y MIC), se caracterizaron mediante el modelo de distribución Weibull



Figura 1. Huerto de cacao bajo un sistema de manejo integrado de cultivo (MIC). Jalpa de Méndez, Tabasco. Ciclo productivo 2011-2012. A) Árboles con frutos sanos; B) Cosecha de frutos.

(Pennypacker *et al.*, 1980) simplificada a dos parámetros (b y c). Se estimó la tasa de infección aparente por el inverso del parámetro b (b^{-1}) y la forma de la curva por el parámetro c . Se estimó la intensidad de cada epidemia mediante el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) por el método de integración trapezoidal (Campbell y Madden, 1990), y se obtuvieron los valores de la incidencia inicial (Y_0) y acumulada final (Y_f) de cada epidemia.

Producción de granos de cacao comercial

Con la producción de cacao en kg de granos de cacao en “fresco” se estimó el rendimiento en kg de cacao seco por parcela, considerando 40 % de rendimiento al pasar de peso fresco a peso seco. Se transformaron los rendimientos por parcela a kg de cacao seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, para la densidad de siembra de 784 plantas ha^{-1} . Para el ajuste a condiciones de rendimientos comerciales, se usó el valor de 90 % del rendimiento experimental (Evans, 2005).

Análisis estadístico

Los datos de producción de cacao seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, del ABCPE, del parámetro b^{-1} e incidencia acumulada final (Y_f), se sometieron a análisis de varianza bajo un diseño experimental completamente al azar, con el procedimiento PROC GLM de SAS® (SAS Institute, 1998). Se aplicó la prueba de separación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$ %) cuando la prueba de F resultó significativa para tratamientos.

Análisis económico

Se realizó con las diferencias originadas por el MT y el MIC, según la metodología de análisis marginal (CIMMYT, 1988). Se tomaron en cuenta los costos originados por las acciones en cada manejo, y como beneficio bruto el producto de la venta de cacao seco a precios regionales. El MT se consideró como la tecnología base para comparar el MIC. Una vez determinados los costos del MT y del MIC, y el beneficio neto de ambas tecnologías, se calculó la tasa marginal de retorno (TMR), se aplicó un análisis de dominancia y se identificó el tipo de manejo dominado. El criterio para definir recomendaciones sobre el tipo de manejo fue la comparación con la tasa de retorno mínima aceptable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Progreso temporal de la MC. Las epidemias en el sistema MT iniciaron el 27 julio de 2011 y concluyeron el 2 de mayo de 2012, con una duración promedio de 280 d (9.3 meses). Las epidemias en el MIC iniciaron el tres de agosto de 2011 y concluyeron el 25 de abril de 2012, con una duración promedio de 266 d (8.8 meses). Lo anterior confirma los resultados de Torres-de-la-Cruz *et al.* (2011), que en Tabasco las condiciones favorables para la infección de frutos de cacao por la MC son continuas durante todo el ciclo productivo del cacao.

La incidencia final promedio de la MC en el sistema MT fue de 80.7 %, lo que confirma la capacidad patogénica y

devastadora de *M. roreri* en la entidad. Al respecto, Torres-de-la-Cruz *et al.* (2011) reportaron incidencia de 75 % de dicha enfermedad en Tabasco. Incidencias de MC superiores a 70 % y bajo condiciones de manejos tradicionales se reportaron en Costa Rica (Hidalgo *et al.*, 2003; Phillips-Mora *et al.*, 2005) y en Panamá (Somarriba y Beer, 1999), que coinciden con la incidencia ocurrida en el presente trabajo. En contraste con el MT, la incidencia final promedio registrada en el sistema MIC fue de 16 %.

Efecto del manejo sobre la moniliasis del cacao. Se encontraron diferencias significativas en la Y_f ($P < 0.0001$), ABCPE ($P < 0.0001$) y b^{-1} ($P = 0.0003$) entre el MIC y el MT. El sistema MT registró los valores más altos de la enfermedad en los tres parámetros epidemiológicos evaluados (ABCPE, b^{-1} , y Y_f) (Cuadro 1, Figura 2).

En el sistema de MIC se redujo la incidencia de la enfermedad en 79.9 % con respecto a la incidencia total observada en el sistema MT. En el MIC también disminuyó la intensidad de la enfermedad y la tasa de infección aparente, en 84.6 y 82.7 %, respectivamente. Lo anterior demuestra el efecto positivo del sistema MIC en abatir el progreso de

la MC.

Rendimiento por manejo. Hubo diferencias significativas ($P = 0.001$) en el rendimiento de ambos sistemas de manejo, cuyos promedios ajustados variaron entre 228 kg de cacao seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ en el sistema de MT y 1082 kg de cacao seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ en el sistema MIC, con una diferencia de 854 kg de cacao seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, equivalente a una ganancia en rendimiento de 374.4 % con el sistema MIC, en relación al sistema de MT.

La producción obtenida en el sistema de MT es similar a la que se reporta como producción anual promedio por hectárea para Venezuela (240 kg) para el año 2012 (CORPOANDES, 2013). La producción promedio para Tabasco en el año 2005 fue de 590 kg ha^{-1} , antes del primer reporte de la MC (SISPPRO, 2013). Por lo anterior, una producción promedio de 1082 kg de cacao seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, muestran el efecto positivo del sistema MIC evaluado, en la producción final, a pesar de la acción devastadora de la moniliasis del cacao en Tabasco manifestada en el sistema de MT (Figuras 2 y 3).

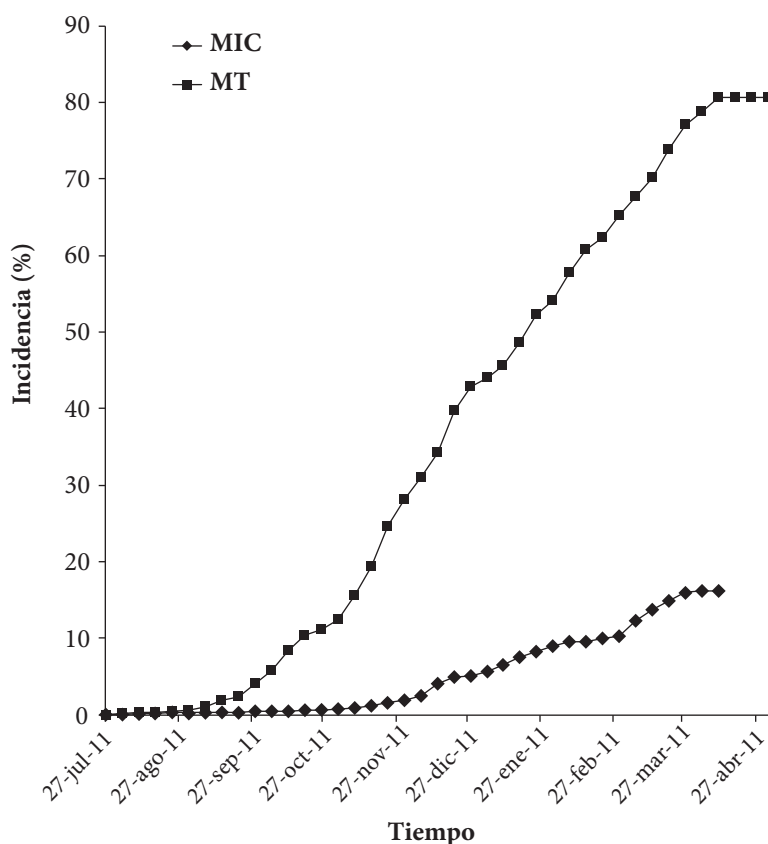


Figura 2. Curvas del progreso temporal promedio de epidemias de moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao, en Tabasco, México. (2011-2012). MT = Parcela con sistema de manejo tradicional; MIC = Parcela con sistema de manejo integrado de cultivo.

Cuadro 1. Efecto de sistemas de manejo sobre los parámetros del progreso temporal de epidemias de moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao, en dos sistemas de manejo del cacao, manejo tradicional (MT) y manejo integrado (MIC), en Tabasco, México.

Sistema de manejo	Y_f	ABCPE	b^{-1}
MT	80.69 a	8868.0 a	0.0052 a
MIC	16.20 b	1366.2 b	0.0043 b

Y_f = incidencia acumulada final. ABCPE = área bajo la curva del progreso de la enfermedad. b^{-1} = tasa de infección aparente de la enfermedad. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Análisis económico. El análisis marginal, derivado de los manejos evaluados (Cuadro 2), mostró que las acciones del MIC aumentaron los costos totales pero también aumentaron los beneficios netos (análisis de dominancia), en comparación con el MT. El valor del costo adicional por cambiar de manejo mostró que al pasar de MT a MIC, fue de \$11,784.17, con una diferencia de beneficios entre MT y MIC de \$20,961.79.

El MIC produjo mayores rendimientos y beneficios brutos más altos que el MT, con una TRM de 177.8 %, suficientemente alta para garantizar la viabilidad económica del MIC. Con la tasa de retorno mínima aceptable (TRMA), se ganaría 177.8 % de cada peso invertido. De acuerdo con CIMMYT (1998), 100 % es el nivel de TRMA que debe escogerse para ajustes a prácticas donde los productores requieren del aprendizaje de nuevas habilidades. Al respecto, Evans (2005) mencionó que mientras la tasa de retorno marginal sea mayor que la tasa de retorno mínima aceptable, existe más posibilidad de que el productor desee cambiar de una tecnología a otra.

CONCLUSIONES

El manejo integrado de cultivo de cacao aquí evaluado es efectivo, al tener una eficiencia de 79.9 % sobre la incidencia de la moniliasis del cacao y al elevar su capacidad productiva a 1082 kg de cacao seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y también es viable económicamente por su alta tasa de retorno marginal de 177.8 %. Por lo anterior, se recomienda que los

productores de cacao de Tabasco migren del sistema de manejo tradicional (MT) al sistema de manejo integrado del cultivo (MIC), en especial cuando hay presencia de una enfermedad devastadora como la moniliasis del cacao.

BIBLIOGRAFÍA

- Bateman R. P., E. Hidalgo, J. Garcia, C. Arroyo, G. M. ten Hoopen, V. Adonijah and U. Krauss (2005) Application of chemical and biological agents for the management of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in Costa Rican cocoa (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology* 147:129-138.
- Campbell C. L. and L. V. Madden (1990) Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley and Sons Inc. New York. 532 p.
- CORPOANDES, La Corporación de Los Andes (2013) Cacao Venezolano. Vicepresidencia de la República Bolivariana de Venezuela. <http://www.corpoandes.gov.ve> (Agosto 2013).
- CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (1988) La Formulación de Recomendaciones a Partir de Datos Agronómicos: Un Manual Metodológico de Evaluación Económica. Edición completamente revisada. México. 79 p.
- Evans E. A. (2005) Análisis marginal: un procedimiento económico para seleccionar tecnologías o prácticas alternativas. Instituto de Alimento y Ciencias Agrícolas de la Universidad de la Florida, USA. <http://edis.ifas.ufl.edu/fe573> (Octubre 2014).
- Hidalgo E., R. Bateman, U. Kraus, M. ten Hoopen and A. Martinez (2003) A field investigation into delivery systems for agents to control *Moniliophthora roreri*. *European Journal of Plant Pathology* 109:953-961.
- López-Mendoza R. (1987) El Cacao en Tabasco. Universidad Autónoma Chapingo. México. 287 p.
- OEIDRUS, Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable en el Estado de Tabasco (2009) Gobierno del Estado de Tabasco. <http://www.oeidrustab.gob.mx> (Agosto 2013).
- Pennypacker S. P., H. D. Noble, C. D. Antle and L. V. Madden (1980) A flexible model for studying plant disease progression. *Phytopathology* 70:232-235.
- Phillips-Mora W., J. Castillo, U. Krauss, E. Rodríguez and J. Wilkinson (2005) Evaluation of cacao (*Theobroma cacao*) clones against seven Colombian isolates of *Moniliophthora roreri* from four pathogen genetic groups. *Plant Pathology* 54:483-490.
- Phillips-Mora W., A. Coutiño, C. F. Ortiz, A. P. López, J. Hernández and M. C. Aime (2006) First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (moniliasis disease) of cocoa in Mexico. *Plant Pathology* 55:584.
- Sánchez J. A. y L. C. González (1989) Metodología para evaluar la susceptibilidad a moniliasis en cultivares de cacao (*Theobroma cacao*). *Turrialba* 39:461-468.
- SAS Institute (1998) SAS/STAT User's Guide: Statistics. Release 6.03 Ed. SAS Institute INC. Cary, NC. USA. 441 p.
- SISPPRO, Sistema Producto (Cacao) (2013) Secretaría de Desarrollo del Gobierno del Estado de Tabasco. <http://www.campotabasco.gob.mx> (Agosto 2013).
- Somarriva E. y J. Beer (1999) Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica y Panamá. *Agroforestería en las Américas* 6:7-11.
- Téliz O. D. (2000) El manejo integrado del aguacate. In: El Aguacate y

Cuadro 2. Análisis marginal de los sistemas de manejo de cultivos del cacao, manejo tradicional (MT) y manejo integrado del cacao (MIC), en Tabasco, México.

Manejo	Rendimiento ajustado (kg ha^{-1})	Beneficio bruto ($\$ \text{ha}^{-1}$)	Costos ($\$ \text{ha}^{-1}$)	Costos totales que varían ($\$ \text{ha}^{-1}$)	Beneficio neto ($\$ \text{ha}^{-1}$)	TRM (%)
MT	228.06	8744.60	1980.66	0	8744.60	
MIC	1082.07	41,490.56	13,764.83	11,784.17	29,706.39	177.8

TRM = tasa de retorno marginal.

su Manejo Integrado. D. Téliz (ed). Ed. Mundi Prensa, México. pp:185-198.

Torres-de-la-Cruz M., C. F. Ortiz-García, D. Téliz-Ortiz, A. Mora-Aguilera and C. Nava-Díaz (2011) Temporal progress and integrated management of frosty pod rot [*Moniliophthora roreri* (Cif y Par.) Evans *et al.*] of cocoa (*Theobroma cacao*) in Tabasco,

Mexico. *Journal of Plant Pathology* 93:31-36.

Torres-de-la-Cruz M., C. F. Ortiz-García, D. Téliz-Ortiz, A. Mora-Aguilera y C. Nava-Díaz (2013) Efecto del azoxystrobin sobre *Moniliophthora roreri*, agente causal de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao*). *Revista Mexicana de Fitopatología* 31:65-69.