

CANTIDAD, COBERTURA Y DESCOMPOSICION DE RESIDUOS DE MAIZ SOBRE EL SUELO

Quantity, Coverage and Decomposition of Corn Residue on Soil

J. de J. Velázquez G.^{1‡}, J.R. Salinas G.¹, K.N. Potter², M. Gallardo V.³, F. Caballero H.⁴ y P. Díaz M.⁵

RESUMEN

En México, el uso de los residuos de cultivo varía en forma considerable entre y dentro de regiones, y su uso no se limita simplemente como mantillo. Los problemas para la adopción de la labranza de conservación son diversos, pero uno de ellos radica en la falta de información sobre el manejo y la conservación de los residuos de cultivo, frecuentemente utilizados para la alimentación del ganado, y compiten con la labranza de conservación. En experimentos con maíz de temporal de varias localidades del centro-occidente de México, se estudió el comportamiento de las relaciones sobre el manejo de residuos en cuanto a cantidad, cobertura y descomposición. Los resultados proporcionan elementos de decisión y marcan diferencias importantes para el manejo de los residuos y el grado de cobertura de acuerdo con la condición climática. Los modelos de regresión obtenidos permiten estimar el porcentaje de cobertura del suelo a partir de la cantidad de los residuos presentes sobre la superficie del terreno. Con respecto a la cantidad de residuos que quedan sobre el terreno al final del ciclo, su presencia está sujeta a una mayor variación condicionada por el tiempo de exposición de los residuos sobre el terreno y las condiciones de manejo y de clima de cada localidad. Finalmente, el utilizar la

constante térmica para interpretar el efecto de la temperatura sobre la descomposición de residuos resultó mejor que el utilizar el número de días acumulados.

Palabras clave: Labranza de conservación, rastrojo de maíz, maíz de temporal, cobertura del suelo, constante térmica, ecuaciones de regresión.

SUMMARY

In Mexico, the use of crop residues varies considerably among and within regions, and it is not limited to use simply as litter. The problems in adopting conservation tillage are diverse, but one of them lies in the lack of information on management and conservation of crop residues, which are frequently used to feed cattle, a use that competes with conservation tillage. In experiments with rainfed corn in several locations of western Mexico, the relationships involving quantity of residues, soil cover, and decomposition in the management of residues were studied. The results provide elements for decision-making and highlight important differences for residue management and degree of soil cover depending on climatic conditions. The regression models obtained permit the estimation of percentage of soil cover when the amount of residue on an area is known. The amount of residues remaining on the field at the end of a cycle varies greatly depending on the length of time they remain on the field, management practices and local climate. Finally, using a thermal constant to interpret the effect of temperature on the decomposition of residues gave better results than using accumulated number of days residues are left on the field.

Index words: Conservation tillage, maize stover, rainfed maize, soil cover, thermal constant, regression models.

^{1,3} Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENAPROS, Sandía 136, Fraccionamiento La Huerta, 58080 Morelia, Michoacán, México. ‡(cenapros@infosel.net.mx) Tel. (435) 23128 y (435) 23173, Fax (435) 23172

² Agricultural Research Service, GSWRL, 808 East Blackland Road, Temple, TX.

⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Apatzingán, km 17.5 Carretera Apatzingán-Cuatro Caminos, Antúnez, Michoacán.

⁵ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Altos de Jalisco, km 8 Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno, 56, Tepatitlán, Jalisco.

INTRODUCCION

En los últimos años, la labranza de conservación se ha promovido como una alternativa viable para revertir la degradación de los recursos naturales, causada por la erosión de suelo, principalmente. Esta práctica, por sus características de conservación de suelo y agua, tiene amplias posibilidades de ser implementada en gran parte de la superficie agrícola de México. La clave de éxito de esta tecnología consiste en dejar suficientes residuos sobre la superficie del suelo, ya que del grado de cobertura que se tenga dependerá la dimensión del proceso erosivo (Tiscareño-López *et al.*, 1999); además, al descomponerse los residuos de cultivo éstos aumentan el contenido de materia orgánica y aportan nutrimentos al suelo (Moldenhauer *et al.*, 1994).

A pesar de los esfuerzos que se han realizado para difundir la labranza de conservación, en México, la superficie sembrada con este sistema es de alrededor de 2.6% de la superficie agrícola total del país (Ochoa, 1997). Los problemas para la adopción pueden ser diversos, pero uno de ellos radica en la falta de información sobre el manejo y la conservación de los residuos de los cultivos, los cuales tienen un uso casi generalizado como alimento para el ganado y, por ello, compiten con la labranza de conservación que requiere mantener por lo menos 30% de la superficie del suelo cubierta con estos residuos después de la siembra (Unger *et al.*, 1995).

Este hecho presenta una limitación fundamental para llevar a cabo la labranza de conservación. Algunas de las soluciones que pueden ayudar a disminuir la presión sobre los residuos de cultivo son la investigación de fuentes alternativas de producción de forraje que satisfagan las necesidades de los agricultores y la generación de información para el manejo de los residuos de cultivo. Ambas alternativas deben considerar que el agricultor necesita proteger al suelo contra la erosión y disponer de alimento para sus animales.

En México, el aprovechamiento de residuos de maíz no se restringe simplemente a su utilización como mantillo, debido a que su uso puede variar en forma considerable entre e incluso dentro de regiones (Erenstein, 1997). La alimentación del ganado con los residuos de maíz como fuente de forraje es común durante la estación seca y puede ser a través del pastoreo directo, o bien, mediante la extracción total

del rastrojo fuera de la parcela. En algunas regiones, el residuo se deja sobre el terreno y se incorpora mediante el arado, debido a que su valor económico es mínimo, y, en otras regiones, el residuo se quema para "limpiar" la parcela (Mendoza *et al.*, 1993).

La cantidad de residuos que se deja inicialmente sobre la superficie del suelo cambia a través del tiempo y está condicionada por la ocurrencia de varios factores. La velocidad del proceso de descomposición modifica la presencia de residuos y depende, en principio, de las condiciones de temperatura, humedad y actividad biológica. El consumo de los residuos que el ganado aprovecha como alimento modifica su cantidad y depende, en gran parte, de la intensidad, la duración y la existencia de otras fuentes de forraje. Cada región, dada su condición ambiental y socioeconómica, tiene características particulares para el desarrollo de la labranza de conservación (Van Nieuwkoop *et al.*, 1992; Bravo *et al.*, 1993).

En regiones templadas frías, la descomposición del residuo es más lenta que en regiones tropicales, donde existen altas tasas de mineralización. Investigaciones recientes indican que la existencia de residuos en labranza de conservación fomenta el incremento de carbono orgánico cerca de la superficie (Wood *et al.*, 1991; Potter y Chichester, 1993; Franzluebbers *et al.*, 1995), y la conservación del carbono en el suelo está en función de las condiciones climáticas. La extracción de los residuos por parte del agricultor puede ser un componente esencial de su economía, pero también puede ser un substancial aporte para mejorar la calidad del suelo.

En México, la información sobre el manejo de residuos es limitada, aun cuando se requiere promover la labranza de conservación entre los productores. La determinación de la cantidad apropiada y sostenible de residuos depende de muchos factores, entre los que se encuentran limitaciones en la producción, disponibilidad de recursos y necesidad para la utilización alternativa del rastrojo. El dilema surge cuando alguien hace labranza de conservación y requiere saber la cantidad de residuos que debe dejar sobre el terreno, después de extraer una parte para alimento del ganado.

¿Qué cantidad de residuos dejar para cubrir el porcentaje de cobertura del suelo requerido para hacer labranza de conservación?, ¿qué porcentaje de la producción de rastrojo dejar para cubrir ese porcentaje de terreno? Las anteriores son algunas de

las preguntas que frecuentemente surgen entre técnicos y agricultores que se inician en labranza de conservación.

El objetivo del presente trabajo fue generar información para el manejo de residuos de maíz en el sistema labranza de conservación y su relación con la cantidad y el grado de cobertura del suelo en diferentes condiciones agroclimáticas. La información generada proporciona elementos de decisión para el manejo del sistema en uno de sus componentes donde la información al respecto, en México, es escasa.

MATERIALES Y METODOS

Descripción de los Sitios Experimentales

El presente trabajo se llevó a cabo durante 1998 y 1999, en una red de parcelas experimentales de labranza de conservación distribuidas en seis localidades de la zona centro-occidente de México. Estas parcelas se han mantenido durante varios años (entre cuatro y siete años) y se han conducido con el mismo manejo de labranza en maíz de temporal. La ubicación de los sitios experimentales cubre una amplia gama de condiciones agroclimáticas y es representativa de las regiones maiceras. La variación de la temperatura media anual para las diferentes localidades fluctúa entre 14.5 y 27 °C y está estrechamente relacionada con el gradiente de altitud desde 330 hasta 2250 m; la precipitación varía de 650 hasta 1100 mm anuales, la mayor cantidad ocurre en el periodo de mayo a octubre. Los climas dominantes son: templado subhúmedo, tropical y subtropical

semiárido (Medina *et al.*, 1998) (Cuadro 1). Los tipos de suelos dominantes son: Andosoles, Vertisoles, Regosoles y Luvisoles, con una variación en cuanto a contenido de arcilla que varía desde 7 hasta 58%.

Manejo del Residuo y Tratamientos Experimentales

Los tratamientos experimentales de intensidades de labranza comunes a todos los sitios fueron: a) labranza convencional (LCV), b) labranza mínima (LM), c) labranza cero con 0% de residuos (L0/0%), labranza cero con 33% de residuos (L0/33%), labranza cero con 66% de residuos (L0/66%) y labranza cero con 100% de residuos (L0/100%). El diseño experimental fue bloques completos al azar, con tres repeticiones; el tamaño promedio de la parcela experimental fue de 8000 m² y el tamaño promedio de la unidad experimental fue de 440 m².

El manejo que recibieron los tratamientos experimentales, en cuanto a la preparación de suelo y distribución de residuos, se describe de la siguiente manera:

- a) en el tratamiento LCV, la preparación del suelo se realizó de acuerdo con la práctica común que se hace en la región; en general, consistió en un barbecho profundo, el paso de dos rastras y la extracción de rastrojo en las cantidades como lo hace el agricultor;
- b) el tratamiento LM consistió en el paso de dos rastras como preparación de la tierra y la remoción total del rastrojo;
- c) el tratamiento L0 consistió en

Cuadro 1. Ubicación geográfica y descripción climática de los sitios experimentales en la región Centro-Occidente de México.

Localidad	Ubicación geográfica		Altitud	Temperatura media anual	Precipitación media anual	Clima
	Lat.N	Long.O				
Apatzingán, Michoacán	19° 00'	102° 13'	m	°C	mm	Trópico, semiárido, muy cálido
San Gabriel, Jalisco	19° 36'	103° 48'	1200	22	600	Subtrópico, semiárido, semicálido
Ajuno, Michoacán	19° 29'	101° 44'	2250	14.5	1000	Subtrópico, subhúmedo, templado
Casas Blancas, Michoacán	19° 25'	101° 36'	2190	15	1100	Subtrópico, subhúmedo, templado
Alvaro Obregón, Michoacán	19° 48'	101° 03'	1822	17.4	698	Subtrópico, subhúmedo, templado
Tepatitlán, Jalisco	20° 52'	102° 42'	1950	18	830	Subtrópico semiárido, templado

la siembra directa sin movimiento de suelo; la remoción del rastrojo fue manual, dejando en el sitio correspondiente los porcentajes programados (0, 33, 66 y 100%).

En el tratamiento L0, el rastrojo con algún porcentaje de residuo se dejó sin picar sobre la superficie del suelo y la distribución se hizo lo más uniforme posible dentro de la unidad experimental. Cabe señalar que los porcentajes de rastrojo indicados se refieren al porcentaje de la producción de materia seca total de la parcela que se dejó sobre el terreno y no al porcentaje de cobertura del terreno. Con base en ello, y dada la variabilidad agroclimática presentada entre las localidades, la producción de rastrojo de maíz pudo ser mayor en unas localidades que en otras.

Muestreo de los Residuos

La cantidad de residuos de maíz se midió en dos épocas del desarrollo del cultivo (después de siembra y después de cosecha) y en cada muestreo se colectaron los residuos, considerando sus componentes principales: hojas y tallos. El primer muestreo se realizó después de la siembra, para conocer la cantidad inicial de residuos con que inició el ciclo de cultivo en cada tratamiento, y el segundo muestreo después de la cosecha, para conocer la cantidad de residuos que permanecieron sobre el terreno después de que el ciclo terminó. La diferencia entre ambos muestreos cuantifica la cantidad de residuos mineralizados y la comparación entre localidades proporciona información del efecto de la localidad (principalmente temperatura) sobre la velocidad de mineralización. A la relación existente entre la cantidad de residuo después de siembra y después de cosecha se le denominó "porcentaje de residuo descompuesto".

Los muestreos se realizaron por tratamiento de intensidad de labranza y por repetición en cada una de las localidades. La medición se hizo en la parte central de cada unidad experimental y se utilizaron estructuras metálicas de 1 m² que sirvieron para delimitar el área de recolección. De esta forma, se colectaron 18 m² en cada localidad. Los residuos de maíz de cada muestreo se depositaron en bolsas de plástico y se llevaron al laboratorio para su secado, a una temperatura de 60 °C hasta llegar a peso constante y obtener la cantidad de materia seca,

misma que se transformó a kg ha⁻¹. La segunda cuantificación de residuos de maíz se realizó después de cosecha, mediante el procedimiento antes descrito, sólo que, en este muestreo, el residuo nuevo de la cosecha que cayó al suelo no se contabilizó. En ambos casos, el criterio para la recolección del residuo fue aquel visible y manipulable para su recolección manual. En el caso de las fracciones pequeñas, se utilizó un tamiz de malla de 2 mm. Para este trabajo, no se realizó una diferenciación de la edad del residuo.

En el primer muestreo de residuos después de siembra, simultáneamente se realizó la determinación del porcentaje de cobertura del suelo, para lo cual se utilizó el método de la línea transecta (Steiner *et al.*, 1994). Este método consiste en utilizar dos hilos de 5 m cada uno, marcados cada 10 cm; estos hilos se colocan en ángulo de 45°, con respecto a la orientación de las hileras de siembra de maíz. La cuantificación del porcentaje se obtuvo directamente con base en el número de puntos que coincidían con residuos de maíz presentes en el suelo.

Análisis de la Información

Con la información colectada en el campo, se construyeron modelos lineales relacionando la cantidad de residuos y el porcentaje de cobertura, así como también la relación existente entre el tiempo de exposición (número de días transcurrido entre el primer y segundo muestreo), la descomposición de los residuos y el clima, principalmente temperatura expresada como constante térmica (CT), según lo propuesto por Ortiz (1992).

A partir de la serie climatológica de temperatura para cada sitio, se calculó la temperatura diaria promedio del periodo correspondiente; la suma de ellas, durante el tiempo transcurrido entre el primer y segundo muestreo, constituyó el total de la CT para ese periodo. La constante térmica del sitio se calculó mediante la expresión propuesta por Villalpando (1984):

$$CT = \sum [(T_{max} + T_{min})/2] \quad (1)$$

Donde: CT = constante térmica para el periodo entre primer y segundo muestreo

T_{max} = temperatura máxima (°C)

T_{min} = temperatura mínima (°C)

En otros trabajos sobre residuos, con los cuales se desea generar modelos de regresión similares a los que aquí se proponen, pueden usarse tratamientos de residuos diferentes de los utilizados en este trabajo, considerando para ello tomar un buen número de repeticiones, cantidades de residuos contrastantes y cuidar que la distribución sobre el terreno sea lo más homogénea posible.

Para construir los modelos de regresión, se utilizó el procedimiento REG del programa SAS (SAS Institute, 1990); la selección del modelo se hizo mediante el coeficiente de determinación (R^2) ajustado por el número de observaciones y el valor de la prueba de F (Steel y Torrie, 1980).

La información se analizó estratificando las localidades con la clasificación propuesta por Medina *et al.* (1998). Para las localidades templadas se hizo una separación de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar y resultaron en total tres grupos de condiciones climáticas. El primer grupo se ubicó en la región del trópico y subtropical seco, formado por las localidades de Apatzingán y San Gabriel, con temperatura media anual ≥ 22 °C y altitudes de 300 hasta 1200 m; el segundo grupo se ubicó en regiones templadas del Bajío (intermedias entre el trópico y regiones altas), formado por las localidades de Alvaro Obregón y Tepatitlán, con temperatura media anual entre 17 y 18 °C y con altitudes entre 1800 y 1900 m; un tercer grupo de regiones templadas de altura se formó por las localidades de Casas Blancas y Ajuno, con temperaturas entre 14 y 16 °C y altitudes entre 2200 y 2600 m.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variabilidad de los Residuos y Sistema de Labranza

En condiciones de campo, los residuos de cosecha de maíz siempre estuvieron presentes sobre el terreno, aun en los tratamientos LCV y LM en los que el agricultor realiza la extracción manual o introduce el ganado al pastoreo. La cantidad de residuos presente en los tratamientos LCV y LM nunca fue de cero por ciento. Los valores promedio, cuando se realizó el muestreo después de siembra, fluctuaron entre 300 y 800 kg ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 2). En LCV, la cantidad de residuos que permanecieron sobre el terreno fue menor, debido a que se incorporaron con el arado, a diferencia de LM donde el residuo se semincorporó con el paso de la rastra. En los

tratamientos de labranza cero, con diferentes porcentajes (0, 33, 66 y 100%) de residuos, la presencia de los mismos sobre el terreno estuvo en función de la producción de materia seca de la variedad de maíz utilizada y la condición específica de cada localidad. En ese sentido, los valores de la desviación estándar fueron más altos para aquellos tratamientos en los que se dejaron los mayores porcentajes de residuos. En promedio, las cantidades variaron desde 900 hasta 6000 kg ha⁻¹ para los tratamientos extremos de L0/0% y L0/100%, respectivamente. En el tratamiento L0/0%, hubo presencia de residuo, lo que pudo ocurrir por arrastre de viento de un tratamiento a otro. En el segundo muestreo realizado, la presencia del rastrojo del maíz sobre la superficie del suelo fue menor que la cantidad inicial, pero su disminución conservó cierta tendencia en función de la cantidad de residuos dejada al inicio.

Los residuos presentes sobre el suelo después de la siembra estuvieron constituidos, principalmente, por restos de hojas, tallos y coronas de raíces de maíz y al final del ciclo la composición fue, principalmente, de restos de tallos semidescompuestos. En las localidades templadas, tanto al inicio del ciclo como al final, se apreciaron cantidades más altas de residuo sobre el terreno que en las localidades tropicales y subtropicales, sobre todo en los tratamientos que incluyeron los mayores porcentajes de residuos.

Los resultados muestran que, a pesar de distribuir uniformemente los residuos sobre el terreno después de la cosecha, éstos tuvieron gran variabilidad en el momento de los muestreos, lo cual pudo suceder por arrastre del viento entre y dentro de las unidades experimentales durante el tiempo transcurrido después

Cuadro 2. Cantidad de residuos de maíz y desviación estándar, presentes sobre el terreno después de siembra y después de cosecha en relación con la intensidad de labranza.

Tratamientos	Residuos después de siembra		Residuos después de cosecha	
	Media	s [†]	Media	s
	----- kg ha ⁻¹ -----			
L. convencional	298	208	83	81
L. mínima	866	657	423	101
L0/100% [‡]	6015	2588	2634	1264
L0/66%	3934	2376	1941	651
L0/33%	2900	1794	1058	317
L0/0%	916	654	180	120

[†] desviación estándar; L0 = labranza cero; [‡] = porcentaje de residuos.

de la cosecha y en el momento del primer muestreo (aproximadamente cinco meses); esto sucedió con mayor intensidad en unas localidades que en otras. Para reducir esa variabilidad y mejorar el dato del muestreo en la construcción de los modelos de regresión, se promediaron las repeticiones tomadas dentro de cada unidad experimental y se descartaron algunos muestreos dada su baja confiabilidad. Según Steiner *et al.* (1994), la variación de los residuos puede atribuirse a las prácticas de manejo y a las condiciones de clima específicas de la localidad, mientras que las prácticas de manejo, las condiciones climáticas y el tipo de suelo son indicadores de cómo responde un cultivo a los residuos superficiales (Tolk *et al.*, 1999).

Relación entre la Cantidad de Residuos y el Porcentaje de Cobertura

Las relaciones entre la cantidad de residuos de maíz presentes sobre el terreno después de la siembra y su porcentaje de cobertura del suelo se presentan en la Figura 1a, 1b y 1c (región templada de altura,

región templada Bajío y región tropical y subtropical, respectivamente). Estas relaciones tuvieron una correlación lineal positiva altamente significativa ($P < 0.01$), aunque el valor de r para la región tropical y subtropical, 0.94^{**} , fue ligeramente mayor que para las regiones templada de altura y de Bajío 0.91^{**} y 0.90^{**} , respectivamente; la variabilidad de los residuos en la región templada de altura y la tropical y subtropical fue prácticamente similar, c.v. 28 y 27%, respectivamente, mientras que para la región templada Bajío, el c.v. fue de 40%. Mediante este comportamiento se espera que si el valor de la cantidad inicial de residuos es alto, el porcentaje de cobertura del suelo por los residuos también será alto, ajustándose mejor esta relación para las regiones con menor variabilidad. Las relaciones descritas marcan la importancia que tiene la cantidad inicial de residuos en labranza de conservación y la contribución que éstos hacen para obtener en mayor medida los beneficios de esta práctica sobre la conservación del agua en regiones de temporal y la reducción de la erosión en terrenos con pendiente (Tiscareño-López *et al.*, 1999).

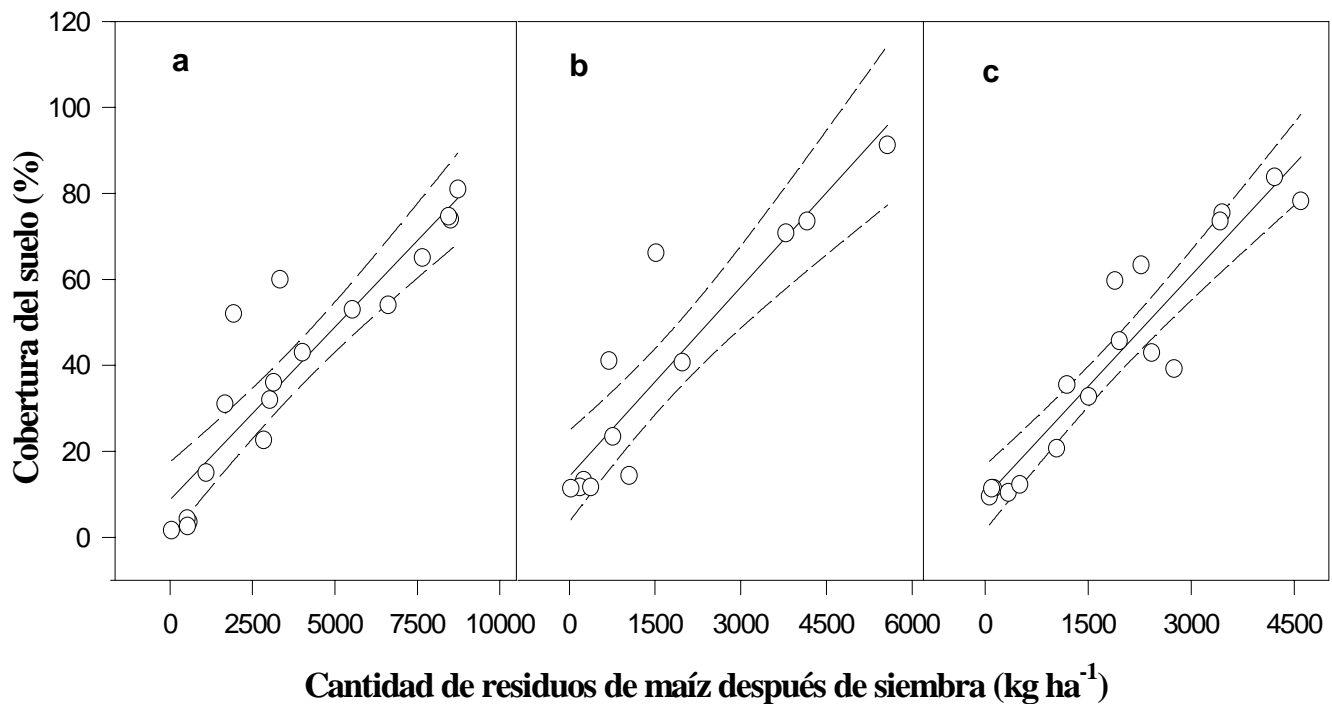


Figura 1. Porcentaje de cobertura del suelo en función de la cantidad de residuos de maíz para tres regiones agroclimáticas: a) región templada de altura, b) región templada Bajío y c) región del trópico y subtrópico.

Generalmente, cuando se quiere hacer labranza de conservación, existe falta de información acerca de cuál sería la cantidad necesaria de residuos de maíz que debería dejar el agricultor para cubrir 30% de la superficie del suelo. Esta cantidad de residuos factible de dejarse sobre el suelo todavía estará influida por las condiciones de clima, lo que dificulta aún más su definición. De acuerdo con las Figuras 1a, 1b y 1c, en la región templada de altura, la cantidad de residuos necesaria para cubrir 30% de la superficie del suelo fue alrededor de 2700 kg ha⁻¹, mientras que para las otras regiones de Bajío, tropical y subtropical se requerirá alrededor de 1700 kg ha⁻¹, aunque en la región de Bajío el coeficiente de variación fue mayor que para las otras dos regiones. Probablemente, esta diferencia entre las regiones para alcanzar 30% de cobertura con diferente cantidad de residuo se deba al efecto de una menor velocidad de descomposición en regiones donde existen bajas temperaturas. En el caso de las regiones templadas de altura, en el momento de los muestreos se observaron los residuos más completos y con menor grado de descomposición y su peso resultó superior al colectado en las localidades de la región Bajío y tropical y subtropical. Al respecto, Erenstein (1997) mencionó que 30% de cobertura del suelo puede alcanzarse con aproximadamente 2 t de rastrojo de maíz por hectárea.

En condiciones de campo, la predicción de la cobertura del suelo puede realizarse a partir de los modelos de regresión lineal, obtenidos en función de la cantidad de residuos (Cuadro 3). Los modelos presentan valores de F altamente significativos y coeficientes de determinación (R²) que varían desde 0.81 hasta 0.89. La validez de estos modelos en la predicción será mejor dentro de las condiciones establecidas para maíz de temporal y no en condiciones diferentes, por ejemplo, trópico húmedo y regiones áridas y semiáridas, además de considerar que la distribución del residuo sobre el terreno sea lo más

uniforme posible. Al agrupar las localidades, el modelo general resultó altamente significativo, aunque aumentó la variabilidad y disminuyó el coeficiente de R², lo cual indica que el ajuste de los datos es mejor cuando se utilizan los modelos individuales para cada región; cabe señalar que al aplicar el modelo para las regiones Bajío, tropical y subtropical subestimó en alrededor de 5% el porcentaje de cobertura de residuos. La Figura 2 muestra la cobertura del suelo con porcentajes de 30, 60 y 90, calculados para la localidad de Alvaro Obregón a partir del modelo de regresión, obtenido para la región templada de Bajío.

Cantidad de Residuos de Maíz al Final del Ciclo

Las relaciones entre la cantidad de residuos de maíz presentes sobre la superficie del suelo después de siembra y aquellos que permanecieron después de la cosecha, se presentan en la Figura 3a, 3b y 3c (región templada de altura, región templada Bajío y región tropical y subtropical, respectivamente). La correlación para estas asociaciones fue positiva y altamente significativa (P < 0.01) 0.79**, 0.78** y 0.88**, respectivamente, aunque menor que la encontrada para la relación entre la cantidad de residuos inicial y el porcentaje de cobertura. En este caso, los valores de la correlación obtenida individualmente para cada región fueron cercanos al valor de la correlación cuando se agruparon todas las localidades (r = 0.80**). Los coeficientes de variación para este caso fueron mayores, debido a que fluctuaron desde 48 a 67% con respecto a lo encontrado para las relaciones entre la cantidad de residuos y el porcentaje de cobertura. La tendencia de las relaciones expuestas sugiere que la cantidad del residuo sobre la superficie del suelo al final del ciclo guarda relación con la cantidad que inicialmente se dejó sobre el terreno, pero la homogeneidad o variación de su presencia sobre el terreno al final del ciclo dependerá de otros factores

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión lineal para predecir la relación entre la cantidad inicial de residuos (rs; en kg ha⁻¹) y la cobertura del suelo (cob, en %).

Región	gl	CM	F	R ²	Ecuación de regresión
Templado de altura	17	123.90	81.873**	0.8365	cob = 8.7587+0.0080(rs)
Templado Bajío	11	180.26	50.80**	0.8191	cob = 6.1043+0.0157(rs)
Tropical y subtropical	16	95.87	122.37**	0.8908	cob = 0.6885+0.0185(rs)
General	46	267.39	91.724**	0.6709	cob = 11.9207+0.0094(rs)

gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio del error, F = significancia del valor de F ** (P < 0.01).

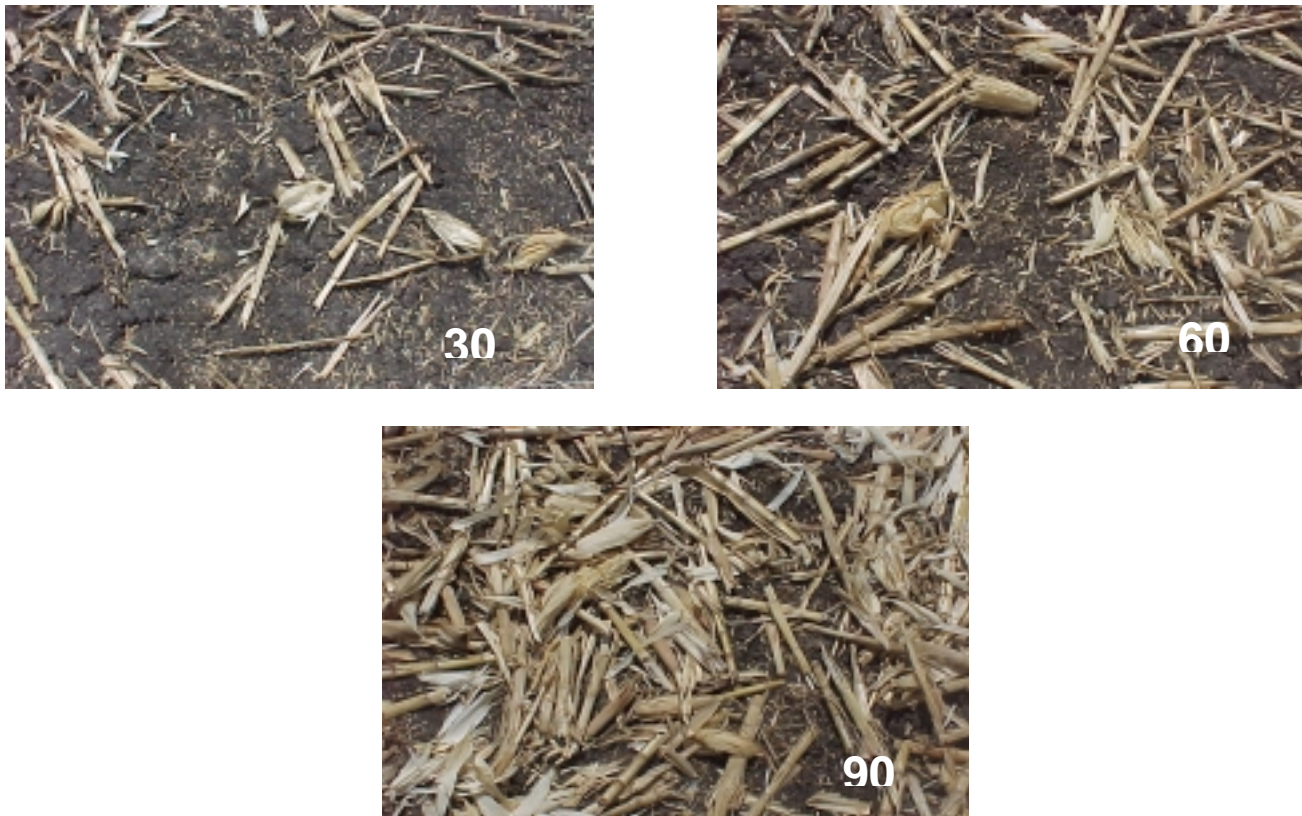


Figura 2. Porcentajes de suelo cubierto (30, 60 y 90%) con residuos de maíz, calculados a partir del modelo de regresión obtenido para la región Bajío.

locales, como: el tiempo de exposición del residuo sobre el terreno, el manejo local y las condiciones específicas del clima de cada lugar.

La mejor relación entre las variables asociadas se encontró en la región tropical y subtropical; en este caso también se registraron las menores cantidades de residuos al final del ciclo en comparación con las regiones templada de altura y Bajío. Lo anterior sugiere que en regiones tropicales se requerirá dejar mayores cantidades de residuos para lograr una mejor cobertura del suelo durante el ciclo de cultivo y aspirar a tener los beneficios de la labranza de conservación por mayor tiempo. Para el manejo del rastrojo del maíz en labranza de conservación en las regiones del trópico seco, debe considerarse que las temperaturas del lugar son mayores y la producción de biomasa del cultivo es menor que en las regiones templadas.

La cantidad de residuos al final del cultivo puede predecirse a partir de la cantidad de residuos inicial sobre la parcela. Los modelos obtenidos presentan

valores de F altamente significativos, con valores de R^2 de 0.63, 0.62 y 0.69 para la región templada de altura, de Bajío y tropical y subtropical, respectivamente (Cuadro 4). También se presenta el modelo general que se construyó combinando todas las localidades, el cual resultó altamente significativo, con una R^2 de 0.64, ligeramente superior a lo obtenido para las localidades templada de altura y Bajío, pero no para la región tropical y subtropical. La tasa de cambio obtenida en los modelos indica que por cada 100 kg de residuos dejados al inicio sobre el terreno, la cantidad de residuos finales será de 42.5, 28.11 y 28.83 kg para la región templada de altura, templada Bajío y tropical y subtropical, respectivamente. Es obvio, que en la región templada de altura, la presencia de residuos al final del ciclo es mayor y que sólo 60% de los residuos iniciales se descomponen durante el ciclo de cultivo; para las otras localidades de Bajío, trópico y subtropical, aproximadamente 72% de los residuos iniciales se descomponen; sin embargo, de manera

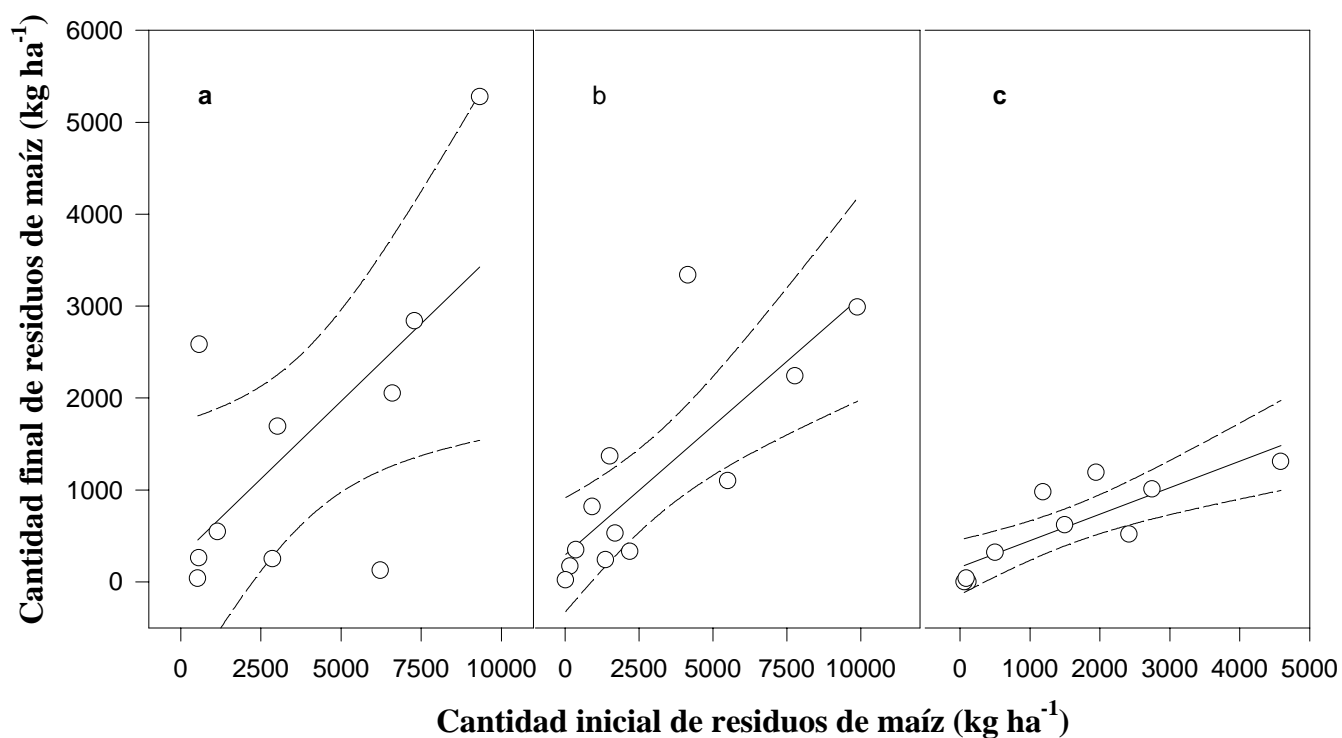


Figura 3. Relación entre los residuos de maíz presentes al inicio y al final del ciclo de cultivo para tres regiones: a) templada de altura, b) templada Bajío y c) tropical y subtropical.

Cuadro 4. Ecuaciones de regresión lineal para predecir la relación entre la cantidad inicial de residuos (r_i , en kg ha^{-1}) y la cantidad final de residuos (r_f , en kg ha^{-1}).

Región	gl	CM	F	R ²	Ecuación de regresión
Templado de altura	9	1.144	13.81**	0.6332	$r_f = 0.4252(r_i) - 0.2585$
Templado Bajío	10	0.5340	16.74**	0.6262	$r_f = 0.2811(r_i) + 0.2901$
Tropical y subtropical	9	0.0856	18.66**	0.6999	$r_f = 0.2883(r_i) + 0.1615$
General	31	0.5421	55.62**	0.6496	$r_f = 0.3407(r_i) + 0.1018$

gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio del error, F = significancia del valor de F ** ($P < 0.01$).

particular en la localidad de Apatzingán, cuya temperatura es en extremo caliente, esta descomposición de residuos alcance hasta 85%. La mayor cantidad de residuos en cada localidad al final del ciclo se obtuvo con el tratamiento L0/100%, lo cual es importante considerar para la operación del sistema labranza de conservación, sobre todo en las regiones tropicales donde la descomposición del residuo es mayor que en la región de Bajío o en la región templada de altura.

Descomposición del Residuo y Constante Térmica

La temperatura de la localidad es un factor fundamental para la descomposición de los residuos (Douglas y Rickman, 1992). La temperatura del sitio expresada como constante térmica tuvo una relación lineal altamente significativa ($P < 0.01$) con el porcentaje de los residuos descompuestos en el periodo comprendido entre el primer y segundo muestreo (Figura 4a). Por el contrario, la relación entre el

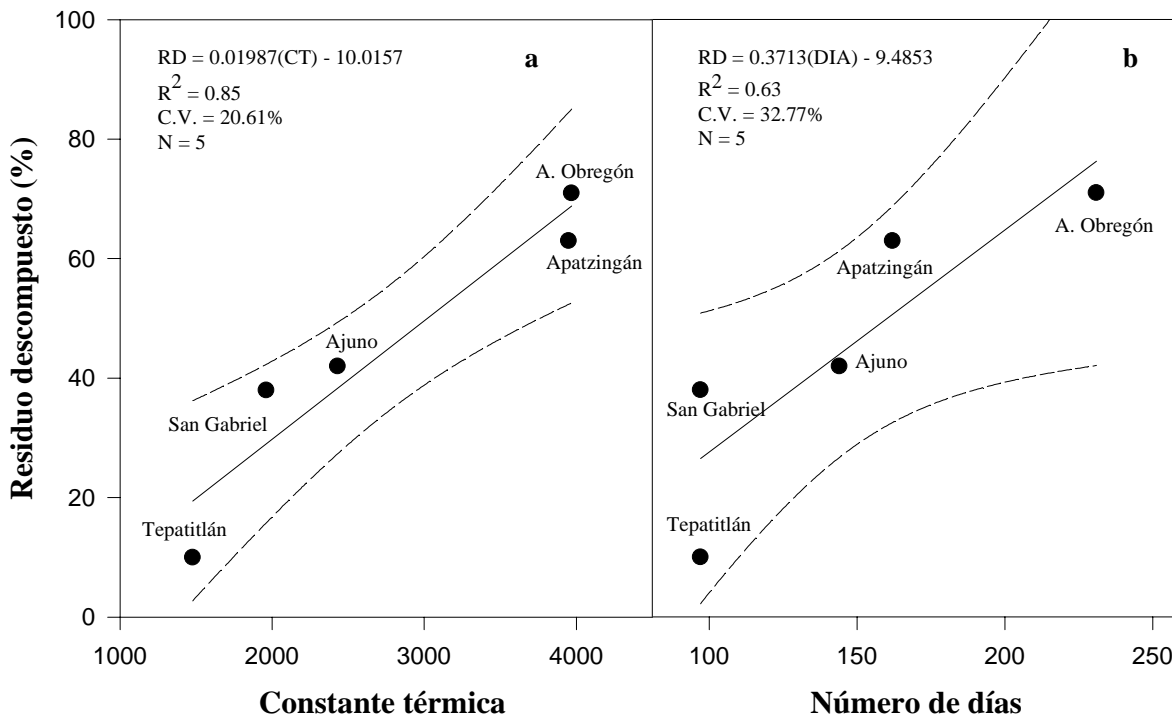


Figura 4. a) Relación entre el porcentaje de residuo descompuesto (RD) y la constante térmica (CT) del sitio y b) Relación entre el porcentaje de residuo descompuesto (RD) y el número de días (DIA) de exposición del residuo.

porcentaje de residuos descompuestos y el número de días entre el primer y segundo muestreo no fue significativa; esta última relación presentó menor R^2 y mayor coeficiente de variación (Figura 4b). En cada localidad, la descomposición de los residuos ocurrió en el periodo húmedo de la estación de crecimiento; durante este lapso, la temperatura acumulada tuvo un efecto primordial bajo el supuesto de que el abasto de humedad fue el adecuado.

La temperatura acumulada, expresada como constante térmica, permitió interpretar mejor la relación con el porcentaje de residuo descompuesto, que cuando se utiliza la cantidad de días acumulados durante el periodo de exposición. El porcentaje de residuo descompuesto entre la localidad de Apatzingán (región tropical) y la localidad de Alvaro Obregón (región templada Bajío) fue muy cercano a 70%. Para llegar a ese porcentaje, fue necesario que en la localidad de Alvaro Obregón transcurrieran 69 días más de exposición del residuo sobre el terreno que en la localidad de Apatzingán (Figura 4b), mientras que, cuando se utilizó la constante térmica, ese porcentaje de residuo descompuesto se alcanzó cuando se acumularon alrededor de 4000 unidades

térmicas en ambas localidades (Figura 4a). Por el contrario, las localidades de San Gabriel y Tepatitlán tuvieron aproximadamente la misma cantidad de días de exposición de los residuos sobre el terreno y alcanzaron diferente porcentaje de residuos descompuestos (Figura 4b); al utilizar la constante térmica esa diferencia en porcentaje se explicó mejor debido a que en San Gabriel se acumularon alrededor de 1000 unidades térmicas más que en la localidad de Tepatitlán (Figura 4a). En este caso, al establecer las comparaciones entre localidades contrastantes, la temperatura acumulada tuvo mayor explicación sobre la descomposición de residuos que los días acumulados.

De acuerdo con el modelo de regresión obtenido cuando se utiliza la temperatura acumulada, se asume que por cada 100 unidades térmicas, en promedio, existe alrededor de 2% de descomposición del residuo.

CONCLUSIONES

La información obtenida sobre los residuos de maíz y su situación alrededor del sistema de labranza

de conservación es un marco de referencia importante para un manejo adecuado del sistema, de acuerdo con las condiciones de la región donde se lleve a cabo. La cantidad de residuos que se deje sobre la superficie determinará la cobertura del suelo que se obtenga; es decir, entre mayor sea la cantidad de residuos, mayor será la cobertura del suelo. Lo anterior es significativo en regiones tropicales y subtropicales, ya que una mayor cantidad del residuo asegurará una mayor presencia del mismo sobre el terreno a través del ciclo de cultivo.

La cantidad de residuos que queda sobre el terreno al final del ciclo está en función de la temperatura del lugar y de la cantidad inicial de residuo que se haya dejado. En regiones templadas con temperaturas bajas, la conservación del residuo es mayor que en las regiones tropicales y subtropicales. En ese sentido, la cantidad de residuos que se requerirá para lograr la cobertura en el próximo ciclo pudiera ser menor que la que se requerirá para las regiones tropicales.

Los modelos de regresión obtenidos permiten estimar el porcentaje de cobertura del suelo a partir de la cantidad de residuos presentes sobre la superficie del terreno. En el caso de la región Bajío y la tropical y subtropical, el modelo subestimó en alrededor de 5% el porcentaje de cobertura del suelo, esto quizá se debe a un mayor coeficiente de variación de los residuos. De acuerdo con los modelos obtenidos, la cantidad necesaria de rastrojo de maíz para alcanzar 30% de cobertura del suelo después de siembra son: 2700 kg para la región templada de altura, 1550 kg para la región templada Bajío y 1600 kg para la región tropical y subtropical. Con respecto a la cantidad final de residuos, su presencia está sujeta a una mayor variación condicionada por el tiempo de exposición de los residuos sobre el terreno y las condiciones de manejo y clima de cada localidad.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haber otorgado el financiamiento al proyecto K192-A9702 "Labranza de Conservación Bajo Enfoque Sostenible: Materia orgánica, Nutrientes y Calidad del suelo" bajo la convocatoria SAGAR-INIFAP-CONACYT del cual este trabajo forma parte.

A la Fundación Produce Michoacán por haber otorgado el financiamiento al Proyecto "Labranza de

Conservación Bajo Enfoque de Producción Sostenible (2da Fase), del cual este trabajo forma parte.

LITERATURA CITADA

- Bravo E., M., M. van Nieuwkoop, J.R. Contreras, J.L. Jiménez y M. Morales Guerra. 1993. El potencial de la labranza de conservación en la Mixteca Oaxaqueña. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, DF.
- Douglas, C.L. y R.W. Rickman. 1992. Estimating crop residue decomposition from air temperature initial nitrogen content, and residue placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 272-278.
- Erenstein, O. 1997. ¿Labranza de conservación o conservación de residuos? Una evaluación del manejo de los residuos en México. Natural Resources Group Reprint Series 97-02. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, DF.
- Franzluebbers, A.J., F.M. Hons y D.A. Zuberer. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass, and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 460-466.
- Medina G., G., J.A. Ruiz C., R. y A. Martínez P. 1998. Los climas de México: Una estratificación ambiental basada en el componente climático. Libro técnico 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigaciones del Pacífico Centro. Guadalajara, Jalisco, México.
- Mendoza M., S., M. van Nieuwkoop, R. Tripp, J. Velázquez G. 1993. Síntesis de los estudios de diagnóstico realizados dentro del proyecto: "El sistema de labranza de conservación en maíz de temporal" durante el ciclo PV-92. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, DF.
- Moldenhauer, W.C., W.D. Kemper y B.A. Stewart. 1994. Long-term effects of tillage and crop residue management. pp. 55-60. *In*: B.A. Stewart y W.C. Moldenhauer (eds.). Crop residue management to reduce erosion and improve soil quality. Conservation Research Report 37. United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service. Beltsville, MD.
- Ochoa N., M.G. 1997. Perspectivas de la labranza de conservación en México. pp. 241-248. *In*: A.R Claverán y F.O. Rulfo V. (eds.). Memoria de la IV Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Agricultura Conservacionista: Estudios de caso en América Latina. Centro Nacional de Investigación para Agricultura Sostenible-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Morelia, Michoacán, México.
- Ortiz T., C. 1992. Evaluación de un modelo de simulación para la estimación de rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) en Valles Altos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Potter, K.N. y F.W. Chichester. 1993. Physical and chemical properties of a Vertisol with continuous controlled-traffic, no-till management. *Trans. ASAE* 36: 95-99.
- SAS Institute. 1990. SAS user guide: Statistics version 6th ed. Statistical Analysis System Institute. Cary, NC.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2nd ed. McGraw-Hill. New York.

- Steiner, J.L., H.H. Schomberg y J.E. Morrison Jr. 1994. Residue decomposition and redistribution. pp. 21-29. *In: Crop residue management in the Southern Great Plains*. Conservation Research Report 34. United States Department of Agriculture. Beltsville, MD.
- Tiscareño-López M., A.D. Báez-González, M. Velásquez-Valle, K.N. Potter, J.J. Stone, M. Tapia-Vargas y R. Claverán-Alonso. 1999. Agricultural research for watershed restoration in central Mexico. *J. Soil Water Conserv. Fourth Quarter* 54-6: 686-692.
- Tolk, J.A., T.A. Howell y S.R. Evett. 1999. Effect of mulch, irrigation, and soil type on water use and yield of maize. *Soil Tillage Res.* 50: 137-147.
- Unger, P.W., O.R. Jones y K.B. Laryea. 1995. Sistemas de labranza y prácticas de manejo de suelos en diferentes condiciones de tierras y climas. pp. 82-117. *In: S.I. Pla y F. Ovalles (eds.). Memorias de la Segunda Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista*. Guanare, Aricagua, Venezuela.
- Van Nieuwkoop, M., W. López Báez, A. Zamarripa Morán, P. Cadena Iñiguez, B. Villar Sánchez y R. de la Piedra Constantino. 1992. Uso y conservación de los recursos naturales en la Fraylesca, Chiapas: Un diagnóstico. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, DF.
- Villalpando I., J.F. 1994. Metodología de investigación en agroclimatología. Curso de orientación para aspirantes a investigadores del INIFAP (tronco común). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México, DF.
- Wood, C.W., J.H. Edwards y C.G. Cummins 1991. Tillage and crop rotation effects on soil organic matter in a Typic Hapludult of northern Alabama. *J. Sustainable Agric.* 2: 31-41.