

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS



**IMPACTO DE LA LABRANZA DE CONSERVACIÓN SOBRE EL RÉGIMEN
HÍDRICO EN MAÍZ EN ZONAS DE ESCASA PRECIPITACIÓN PLUVIAL**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el título de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

PRESENTA

MARÍA DEL SOCORRO GONZÁLEZ RIVERA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Junio de 2016
Bermejillo, Dgo.



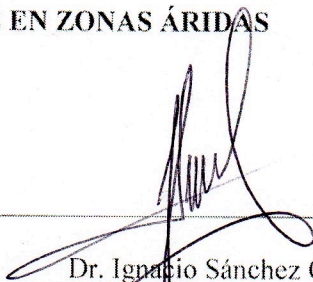
**IMPACTO DE LA LABRANZA DE CONSERVACIÓN SOBRE EL RÉGIMEN
HÍDRICO EN MAÍZ EN ZONAS DE ESCASA PRECIPITACIÓN PLUVIAL**

Tesis realizada por María Del Socorro González Rivera bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO

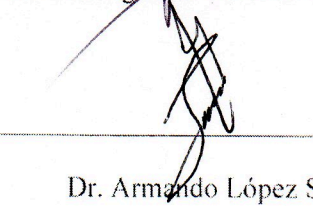
AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

DIRECTOR:



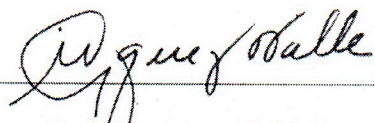
Dr. Ignacio Sánchez Cohen

CO-DIRECTOR:



Dr. Armando López Santos

ASESOR:



Dr. Miguel Agustín Velásquez Valle

ASESOR:



Dr. Gabriel García Herrera

RECONOCIMIENTOS

Mi reconocimiento al apoyo otorgado para el desarrollo y término de la presente investigación y de mis estudios de posgrado:

Al Programa de Becas Nacionales de CONACyT 2014-2015

Al Programa de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas 2014-2015 (UACH-URUZA).

A la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA por las atenciones brindadas durante mi estancia profesional.

A la Fundación Produce del Estado de Durango por el financiamiento del proyecto del cual formo parte este trabajo.

DEDICATORIAS

Primeramente a **Dios** por estar en cada momento de mi vida y permitirme disfrutar las cosas sencillas pero maravillosas de este mundo.

A mis padres **Guillermo y Margarita** por darme la vida. Saberme guiar y alentarme a ser siempre una persona de bien. Por no dejarme caer en los momentos difíciles y apoyarme en todo lo que me proponga.

A mi hija **Bárbara Camila** por ser mi motor y mi luz al final de un día difícil. Por demostrarme su inmenso amor que me inspira a no rendirme y seguir el camino por más difícil que sea. Te Amo hija.

A mi esposo **Joel** por el amor incondicional y acompañarme en cada paso que doy. Por tu apoyo en cada meta propuesta, por tu paciencia y por sentirte orgulloso de la mujer que soy. Dedicarme tu tiempo en donde quiera que andes, nunca importará la hora ni lo cansado que estés.

A mis hermanos **Gloria y Guillermo** por ser los hermanos que me cuidaron y me rodearon de amor. Gracias por sentirse orgullosos de mi.

A mis sobrinos **Elían, Dafne y Wilmer** por estar ahí conmigo aunque los regañe y quererme mucho.

A toda mi familia que de una otra forma siempre me han apoyado y que sería interminable mi agradecimiento.

A mi amiga y comadre **Jael** que siempre está en todo momento, que me enseña que no hay impedimento ni distancia para seguir fortaleciendo una amistad que perdurara por siempre.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la Universidad Autónoma Chapingo

A la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas que me permitió formarme en mi etapa de Licenciatura y de Maestría.

Al Dr. Ignacio Sánchez Cohen por su apoyo en la realización de este trabajo y además de su paciencia como director de tesis.

Al Dr. Miguel Velásquez Valle por sus aportaciones y consejos en la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Armando López Santos y al M.C. Gabriel García Herrera por sus aportes y correcciones en este trabajo.

Al M.C. Gerardo Esquivel Arriaga y a la M.C. Palmira Bueno Hurtado por el apoyo del trabajo en campo de este trabajo.

A los profesores del programa de posgrado de la URUZA-UACH que influyeron en mi formación primero como alumno para enfrentarme a nuevas experiencias profesionales: Dr. Aurelio Pedroza, Dr. Rafael Castro, Dr. Ricardo Trejo y M.C. Rafael Carrillo.

A mis amigos y compañeros de generación, gracias por su amistad y por el apoyo que me brindaron, además de estar conmigo y compartir tantas aventuras y experiencias: Alicia, Nora, Abigail, Denisse, Santos, Ricardo, Raúl, Cayetano, Antonio y Omag.

DATOS BIOGRÁFICOS

La C. María Del Socorro González Rivera, es originario del municipio de Tlahualilo, Durango, México, curso su preparatoria en el Colegio de Bachilleres del Estado de Durango, plantel Bermejillo egresando en el año 2006, es Ingeniero Agrónomo en Sistemas Agrícolas de Zonas Áridas por la Universidad Autónoma Chapingo, en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, egresada en el año 2011. Obtuvo el grado de Ingeniero con la tesis “Productividad física, económica y social del agua de gravedad (*Vitis vinifera*) del sector ejidal, DR-017, Comarca Lagunera” en Mayo de 2013, dirigido por el Dr. José Luis Ríos Flores.

Después de egresar de la UACH formo parte de la planta docente de la preparatoria J. Guadalupe Aguilera incorporada al Colegio de Bachilleres del Estado de Durango, en Mapimí, Durango, por cinco semestres.

Su línea de investigación actual se relaciona directamente al Manejo Integral del Agua “Impacto de la labranza de conservación sobre el régimen hídrico en maíz en zonas de escasa precipitación pluvial” por medio del cual logró terminar la presente tesis bajo la supervisión directa de su tutor y asesor Dr. Ignacio Sánchez Cohen.

Participó en una estancia de investigación en el periodo de agosto- diciembre de 2015 en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA, Principalmente en la línea de Manejo Integral del Agua.

La C. María Del Socorro González Rivera tuvo participaciones en los X y XI Congresos Nacionales sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas en la modalidades de cartel. También ha estado en comités de revisión en tesis de licenciatura de la misma URUZA-UACH.

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
3. HIPÓTESIS.....	3
4. LITERATURA CITADA.....	4
CAPÍTULO II	7
CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE SISTEMAS DE LABRANZA EN AGRICULTURA DE TEMPORAL EN SAN LUIS DEL CORDERO DURANGO	7
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
<i>Descripción de los sistemas de labranza evaluados</i>	12
<i>Medición hidrológica</i>	14
<i>Obtención del hidrograma</i>	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
<i>Comportamiento del contenido de humedad en el suelo</i>	22
CONCLUSIONES	26
LITERATURA CITADA.....	27
CAPÍTULO III.....	31
IMPACTO DE LAS PRÁCTICAS DE LABRANZA EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO MAÍZ.....	31
RESUMEN.....	31
ABSTRACT.....	32
INTRODUCCIÓN	33

MATERIALES Y MÉTODOS	34
<i>Establecimiento del cultivo</i>	35
<i>Descripción de los sistemas de labranza</i>	35
<i>Muestreo</i>	38
<i>Variables medidas</i>	38
<i>Procesamiento de datos</i>	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
<i>Climatología registrada en el periodo de estudio</i>	39
<i>Altura de planta</i>	40
<i>Área foliar</i>	41
<i>Peso seco</i>	43
<i>Análisis económico</i>	49
CONCLUSIONES	50
LITERATURA CITADA.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
CAPÍTULO II	12
Cuadro 1. Cálculo de lámina de riego para los sistemas de labranza evaluados.....	23
 CAPÍTULO III	 31
Cuadro 1. 1 Modelo polinomial de orden 4 para cada sistema de labranza para la variable área foliar.....	42
Cuadro 2. Modelo polinomial de orden 4 para cada componente de planta de sistema de labranza de conservación para la variable peso seco.....	43
Cuadro 3. Modelo polinomial de orden 4 para cada componente de planta de sistema de labranza cero para la variable peso seco.....	44
Cuadro 4. Modelo polinomial de orden 4 para cada componente de planta de sistema de labranza convencional para la variable peso seco	45
Cuadro 5. Valores de las tasas de cambio en acumulación de materia seca de los sistemas de labranza evaluados.....	47
Cuadro 6. Variación de las tasas instantáneas de crecimiento $\left(\frac{dy}{dx}\right)$ en diferentes tiempos (puntos de muestreo) para los sistemas de labranza evaluados.	48
Cuadro 7. Costos de cada una de las variables para la determinación del ingreso neto del productor.....	49
Cuadro 8. Ingreso neto del productor en cada sistema de labranza.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

CUADRO	PÁGINA
CAPÍTULO II	7
Figura 1. Ubicación del municipio de San Luis Del Cordero	11
Figura 2. Climatología del municipio de San Luis Del Cordero.	12
Figura 3. Estación de aforo en el cauce principal del Arroyo Naitcha en el área de agricultura de temporal del municipio de San Luis Del Cordero, Durango.	15
Figura 4. Relación carga gasto de la sección de aforo que señala la Figura 3.	16
Figura 5. Medición de tensión en los sistemas de labranza.	18
Figura 6. Curvas característica de humedad del suelo para las profundidades de 0-30, 30-60 cm.	19
Figura 7. Hidrograma con fecha de aforo de 9/jul/2014 en la cuenca experimental del arroyo Naitcha, municipio de San Luis Del Cordero, Durango.	20
Figura 8. Hidrograma con fecha de aforo de 23/jul/2014 en la cuenca experimental del arroyo Naitcha, municipio de San Luis Del Cordero, Durango.	21
Figura 9. Hidrograma con fecha de aforo de 01/ago/2014 en la cuenca experimental del arroyo Naitcha, municipio de San Luis Del Cordero, Durango.	21
Figura 10. Hidrograma con fecha de aforo de 05/sep/2014 en la cuenca experimental del arroyo Naitcha, municipio de San Luis Del Cordero, Durango.	22
Figura 11. Lámina de riego en los sistemas de labranza evaluados a una profundidad de 0 a 30 cm para el mes de agosto.	24
Figura 12. Lámina de riego en los sistemas de labranza evaluados a una profundidad de 30 a 60 cm para el mes de agosto.	25
Figura 13. Evaporación mensual ocurrida durante el periodo de estudio (San Luis Del Cordero, Dgo. 2014)	26
 CAPÍTULO III.	 31
Figura 1. Ubicación del municipio de San Luis del Cordero.	35
Figura 2. Panorámica de los sistemas de labranza ensayados; arriba: panorámica general del sitio experimental, abajo: sistemas de labranza.	37
Figura 3. Realización de muestreo destructivo en planta de maíz.....	38
Figura 4. Climatología registrada durante el periodo de estudio.....	40
Figura 5. Altura promedio de planta en maíz de cada uno de los sistemas de labranza evaluados.....	41
Figura 6. Área foliar por de cada escenario de práctica de labranza.	42
Figura 7. Desarrollo de componentes de la planta para el sistema de labranza de conservación.	43
Figura 8. Desarrollo de componentes de la planta para el sistema de labranza cero.....	44
Figura 9. Desarrollo de componentes de la planta para el sistema de labranza convencional.	45
Figura 10. Rendimientos promedio obtenidos de los sistemas de labranza evaluados.	46
Figura 11. Tasas de cambio en acumulación de materia seca de los sistemas de labranza evaluados.	47

IMPACTO DE LA LABRANZA DE CONSERVACIÓN SOBRE EL RÉGIMEN HÍDRICO EN MAÍZ EN ZONAS DE ESCASA PRECIPITACIÓN PLUVIAL

González Rivera, M. S¹ y Sánchez Cohen, I.²

RESUMEN

El objetivo del estudio ha sido aplicar recursos teóricos y metodológicos para determinar hidrogramas y la evaluación de escurrimientos y su aprovechamiento en la agricultura de temporal del norte de Durango. Las láminas de riego obtenidas a partir del volumen que arrojaron los hidrogramas para los días 9 y 23 de julio, 01 de agosto y 05 de septiembre fueron 4.09 cm, 3.43 cm, 21.94 cm y 18.93 cm respectivamente. Se calcularon las láminas de riego derivadas de los datos de contenido de humedad del suelo monitoreados con sensores de humedad. Las láminas calculadas fueron del orden de 11.68, 12.80, 12.42 y 10.33 cm para la profundidad de 0 a 30 cm y 18.44, 23.07, 22.30 y 18.32 cm para profundidades de 30 a 60, esto para los días mencionados anteriormente. Aunque la aplicación de láminas de agua producto del escurrimiento potencian el rendimiento del cultivo, para este estudio, el escenario de labranza de conservación con 33% residuos de cosecha sin escurrimiento resultó ser una de las mejores prácticas de manejo para la zona. Sin embargo, como se ha asentado, las cantidades adicionales por concepto de escurrimiento amplían la frontera agrícola del área de estudio al existir potencialidad de ampliar áreas de siembra.

Palabras clave: labranza de conservación, escurrimientos, hidrogramas, maíz.

MINIMUM TILLAGE IMPACT ON SOIL WATER RETENTION IN MAIZE IN LOW RAINFALL REGIME ZONES

González Rivera, M. S¹ & Sánchez Cohen, I.²

ABSTRACT

The objective of the study was to apply methodological and theoretical algorithms to obtain hydrographs and evaluate runoff and its use in rainfed agriculture in an arid zone of northern Durango. Water depths obtained from the volume shown by the hydrographs for the days July 9 and 23, August 1 and September 5 were 4.09, 3.43, 21.94 and 18.93 cm respectively. On the other hand, water depths derived from the soil water sensors were also computed as 11.68, 12.80, 12.42 cm for a soil depth of 0-30 cm and 18.44, 23.07, 22.30 and 18.32 cm for a depth of 30-60 cm for the same days. Even though additional water from runoff enhances crop yield, for this study, the minimum tillage scenario without additional runoff along with 33% crop residues yielded the best option due to the expenses that runoff management implies. Nevertheless, it should be noted that using the additional amount of water from runoff widens the agricultural frontier of the study area.

Keywords: minimum tillage, runoff, hydrographs, maize.

¹ Tesista

² Director

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las regiones semiáridas y áridas de México tienen una amplia distribución, pues Representan el 54.3% de la superficie del país (casi 2 millones de km²) (Cervantes, 2002). Bajo estas condiciones ambientales se presenta una escasa precipitación, altas tasas de evaporación, la ocurrencia de los escurrimientos superficiales es efímera y existe algún grado de degradación del suelo (más del 47 % del territorio nacional) (CONAZA, 2010; SEMARNAT, 2012). Por estas condiciones ambientales, el desarrollo de las actividades agrícolas es limitado. En México en el año 2010, 30% de la población habitaba en las zonas áridas y semiáridas, lo que equivale a 33.6 millones de personas. De ellas, 18.1% radicaba en localidades rurales y 81.9% en localidades urbanas (INEGI, 2011). De Ahí la importancia, que poco menos de la mitad de la superficie agrícola del país y casi un tercio de los pastizales inducidos o cultivados están en este tipo de zonas (SEMARNAT, 2013).

Parte importante de la agricultura de temporal, es la evaluación de sistemas de labranza para incrementar la capacidad de retención y/o conservación de humedad de agua en el suelo para cultivos así como la prevención de erosión.

Investigaciones indican que la labranza de conservación tiene amplias posibilidades de promover sistemas de producción sostenibles a mediano y largo plazo (Tiscareño, *et al.*, 1999). Técnicamente la sostenibilidad está fundamentada en el mejoramiento de la estructura del suelo ocasionado por la cero labranza y la

incorporación de residuos de cosecha sobre la superficie del suelo (Velásquez *et al.*, 1997). Se ha demostrado que la protección del suelo por coberturas orgánicas o mulching reduce los riesgos de pérdidas de agua y suelo en terrenos de ladera (Richardson y King, 1995; Scopel y Findeling, 2000; Gholami *et al.*, 2013). Por otro lado, la implementación de sistemas de labranza de conservación ha demostrado tener un impacto positivo en la actividad microbiológica del suelo (Reji *et al.*, 2012).

Desde el punto de vista tecnológico, la problemática radica en que se necesita más información sobre los efectos de sistemas de manejo de suelo (sistemas de labranza y manejo de residuos) sobre el rendimiento de los cultivos en zonas áridas. Ya que con las prácticas tradicionales del productor se promueve la erosión del suelo al usarse el arado removiendo la capa superficial del suelo en cada ciclo de cultivo.

El desconocimiento de este tipo de prácticas por parte de los agricultores, favorece el deterioro de los recursos naturales como el suelo a través de procesos como la erosión del suelo. Por esta razón, se proponen tecnologías (manejo del suelo y uso de residuos de cosecha) como estrategia para evadir el déficit hídrico. En contexto, es necesario auxiliar a los cultivos con aportaciones adicionales de agua e implementar prácticas que permitan su conservación y uso por los cultivos.

La degradación de los recursos naturales y específicamente en los países en vías de desarrollo, ha adquirido proporciones seriamente alarmantes. Por ejemplo, la deforestación ha impactado a la diversidad biológica alterando el clima global en un ciclo vicioso (CONAZA y UACH, 2004) la erosión de los suelos reduce la capacidad del suelo de satisfacer las crecientes demandas de alimentos, además, la deposición

de sedimentos en obras de almacenamiento de agua reduce la capacidad de extracción del vital líquido para diversos propósitos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Contribuir a la generación de conocimiento y tecnología mediante prácticas de labranza de conservación en zonas con bajo régimen pluviométrico.

2.2 Objetivos específicos

i) Aplicar recursos teóricos y metodológicos para determinar hidrogramas así como la evaluación de escurrimientos y su aprovechamiento en la agricultura de temporal mediante prácticas de labranza en una zona árida del norte de Durango.

ii) Evaluar el impacto de las prácticas de labranza de conservación en maíz en la zona de temporal de San Luis Cordero, Durango

3. HIPÓTESIS

El sistema de labranza de conservación es la mejor opción para la conservación de humedad en el suelo y potenciar el rendimiento del cultivo de maíz en zonas de temporal deficiente.

4. LITERATURA CITADA

CONAZA (Comisiona Nacional de las Zonas Áridas) 2010. Agricultura de temporal y su relación con la sequía. Boletín divulgativo no 3. Saltillo, Coahuila Disponible en: <http://conaza.gob.mx/boletin3.pdf>

CONAZA y UACH. 2004. Escenarios climatológicos de la república mexicana ante el cambio climático. Tomo I. Comisión Nacional de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo.

Gholami, L.,Sadeghi, S. H. Mehdi. 2013. Straw Mulching Effect on Splash Erosion, Runoff, and Sediment Yield from eroded plots soil Sci. Soc. Am. J. 77:268-278.

INEGI. 2011 Censo de Población y Vivienda 2010. México.

Reji P. Mathew, Yucheng Feng, Leonard Githinji, Ramble Ankumah, and Kipling S. Balkcom. 2012. “impact of No-Tillage and conservational tillage System on Soil Microbial Communities,” Applied an Environmental Soil Science, vol. 2012, Article ID 548620, 10 pages,. doi:10.1155/2012/548620

Richarson, C. W. and K. W. King. 1995. Erosion and nutrient losses from zero tillage on clay soil. J. Agric. Eng. Res. 61: 81-86

SAGARPA. 2014. Labranza de conservación. Ficha técnica. Colegio de Postgraduados. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Lists/Agrocolas/Attachments/3/A-05-1.pdf>

Sánchez C. I. 2005. Fundamentos para el manejo integral del agua. Libro científico. No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias – Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmosfera. Gómez Palacio Durango, México, 272p.

Scopel E., Findeling A. 2001. In: García- Torres Luis (ed), Benites Jose (ed.), Martinez-Vilela Armando (ed.). conservation agriculture, a worldwide challenge: IST world congress on conservation agriculture. Cordoba: XUL, p. 179-184. Congreso Mundial d' Agriculture de conservation. 1, 2001-10-01/2001-10-05, Madrid, Espagne.

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2012. Informe de la situación del medio ambiente en México Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y desempeño ambiental. México, D.F. 380p

Recuperado de http://app1semarnat.gob.mx/dgia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2008. Informe de la situación del medio ambiente en México Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y desempeño ambiental. México, D.F.

Recuperado de http://app1semarnat.gob.mx/dgia/informe_2008/03_suelos/cap3_3.html

SMN-CNA.2014. Normales climatológicas de San Luis del Cordero Durango. Recuperado de

http://smn.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=180&tmpl=component

Tiscareño, L. M., A. D. Báez y M. A. Velásquez V., K. N Potter, J.J. Stone, M. Tapia V., and R. Claverán A. 1999. Agricultural research for watershed restoration in central México. J. Soil & Water Cons. 54: 686 – 692.

Velásquez V., M. Tiscareño L., R. Claverán A. y M. Gallardo V. Erosión y productividad bajo labranza de conservación. Avances de investigación en suelos de estado de Michoacán. Folleto técnico Núm. 1. Diciembre de 1997. CENAPROS-INIFAP.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE SISTEMAS DE LABRANZA EN AGRICULTURA DE TEMPORAL EN SAN LUIS DEL CORDERO DURANGO

RESUMEN

El rendimiento de los cultivos es fuertemente dependiente del contenido de humedad del suelo especialmente en aquellas zonas con temporal errático y escaso por lo que el conocimiento del estado hídrico del suelo es de crucial importancia para la toma de decisiones en la agricultura de temporal. En este contexto, en el presente estudio se evaluó el comportamiento de maíz criollo como cultivo de temporal en un sistema de terrazas de uso común en zonas áridas, bajo los sistemas de labranza de conservación (utilización de residuos con 33% de rastrojo), labranza cero (con cantidades adicionales de agua producto del escurrimiento) y labranza convencional (prácticas tradicionales del productor). Se obtuvo la relación carga (h) gasto (Q) para una estación de aforo a la entrada de las parcelas. Con esta información se interpretaron los hidrogramas obtenidos para diferentes eventos de precipitación. Se instalaron sensores para monitorear la tensión del agua en el suelo de 0–60 cm por capa de 30 cm. Los resultados muestran que la práctica de labranza de conservación es una opción viable bajo condiciones restrictivas de recursos ya que mantiene un régimen de humedad favorable en el suelo. Por otro lado, la incorporación de escurrimiento (en parcelas sin residuos orgánicos) no mostro diferencia atractiva a los productores debido a las altas tasas de evaporación que significaron fuertes abatimientos de la humedad en el suelo. Sin embargo, el almacenamiento del escurrimiento para posterior uso en épocas de alta demanda hídrica del cultivo, resulta en una opción

económicamente atractiva. La incorporación o uso de residuos orgánicos se constituye en la mejor opción en aras de mantener un régimen hídrico en el suelo que favorezca el desarrollo del cultivo.

Palabras clave: hidrogramas, escurrimiento, labranza de conservación, maíz.

**HYDROLOGICAL BEHAVIOR CHARACTERIZATION OF TILLAGE
SYSTEMS IN RAINFED AGRICULTURE IN SAN LUIS DEL CORDERO
DURANGO**

ABSTRACT

Crop yields are highly dependent on soil moisture content especially in places with scarce and erratic pluvial regimes. From here, the knowledge of soil water regime status is of crucial importance for decision taking processes. In this study the behavior of corn as rain feed crop was evaluated under a system of terraces: Conservation Tillage (with 33% of crop residues), cero tillage (with additional water from runoff) and traditional tillage (ordinary producer practices). The relationship Head (h) – flow (Q) was obtained in a gage located in the upper end of the terraces. From here, hydrographs were obtained for the rainfall events. In addition, soil water content it was monitored by means of soil probes installed to both soil depths 30 and 60 cms. Results have shown that conservation tillage it is a viable option under restrictive economic conditions. On the other hand, the use of runoff (in terraces without crop residues) resulted in high evaporative losses showing no attractive results. Nevertheless, capturing runoff for posterior use during the crop high evapotrasnpirative demands may result in an economically attractive option to

producers. Use of crop residues is the best option for maintaining a soil water regime for improving crop yields.

Keywords: hydrographs, runoff, conservation tillage, corn.

INTRODUCCIÓN

El ciclo hidrológico se puede subdividir en los siguientes componentes: evaporación, precipitación y escurrimiento, comprendiendo cada componente el transporte, el almacenamiento y un cambio en el estado físico del agua. Cuando la precipitación es absorbida en el suelo, esta se hace parte de la red de aguas subterráneas, ya sea almacenada como humedad en suelo o bien infiltrarse hasta alcanzar el nivel freático (Abraham *et al.*, 2007).

En este ambiente, en donde la precipitación es baja, uno de los principales problemas desde el punto de vista hidrológico es la erosión y degradación del suelo ocasionados por la conjunción de factores biofísicos (alternancia de largos periodos de sequía con aguaceros torrenciales, relieves jóvenes y abruptos, suelos lábiles, etc.) y antrópicos (uso inadecuado de la tierra). En este caso, el estudio de los procesos hidrológicos, de esorrentía superficial, los factores que controlan son un paso previo para comprender, combatir y solucionar eficazmente los problemas derivados de la perdida y degradación del suelo (Castillo *et al.*, 2000)

En los ecosistemas áridos y semiáridos, donde la cobertura vegetal es escasa, aparecen numerosos claros desprovistos de vegetación, por lo que otros componentes de la superficie del suelo, como la pedregosidad o las costras, adquieren un papel

fundamental en el control de la escorrentía, la distribución del agua, la velocidad de flujo y la erosión (Chamizo *et al.*, 2010).

La erosión hídrica es el proceso de degradación del suelo con mayor influencia en la conservación de los recursos suelo y agua. Los procesos de erosión hídrica son causados por las interacciones del suelo, lluvia, pendiente, cubierta vegetal y manejo, y generalmente provocan o son causados por cambios desfavorables en el balance de agua del suelo y en el régimen de humedad del suelo, y en las posibilidades de desarrollo y actividad radicular (Pla, 2005).

Las limitaciones ambientales y la distribución de los recursos son heterogéneas espacial y temporalmente, y es esta variabilidad la que determina, en parte, la combinación de formas de vida que permite la utilización más eficiente de los recursos en cada región (Villagra *et al.*, 2011). El monitorear el contenido de agua en el suelo es esencial para ayudar a los agricultores a optimizar la producción, conservar agua, reducir los impactos ambientales y ahorrar dinero.

El objetivo del estudio ha sido aplicar recursos teóricos y metodológicos para determinar hidrogramas así como la evaluación de escurrimientos y su aprovechamiento en la agricultura de temporal mediante prácticas de labranza en una zona árida del norte de Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se estableció dentro de una propiedad privada en el municipio de San Luis Del Cordero, Durango en el año 2014. Su ubicación esta entre

los paralelos 25° 15' y 25° 31' de latitud norte; los meridianos 104° 07' y 104° 33' de longitud oeste; una altitud entre 1 300 y 2 200 msnm (Figura 1). Las temperaturas máximas que oscilan en los 40 °C se presentan en los meses de mayo a agosto, mientras que las mínimas de alrededor de 0 °C, comienzan en diciembre y terminan en marzo; el régimen de precipitación se da en los meses de junio a septiembre, con lluvias que van aproximadamente de 2 a 50 mm (IMTA, 2009), ver Figura 2.

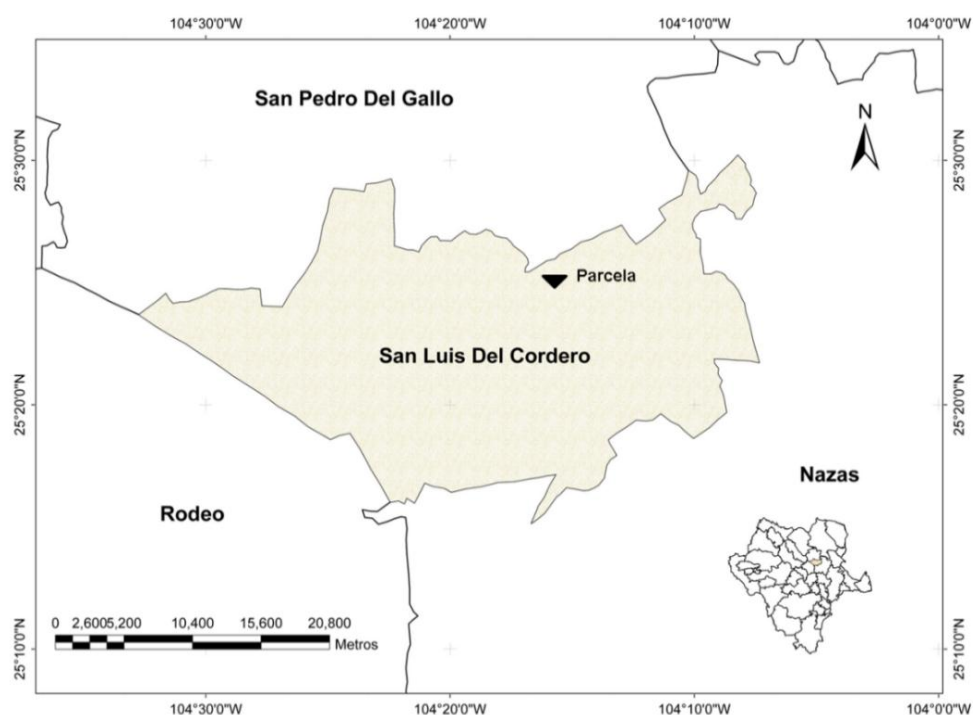


Figura 1. Ubicación del municipio de San Luis Del Cordero

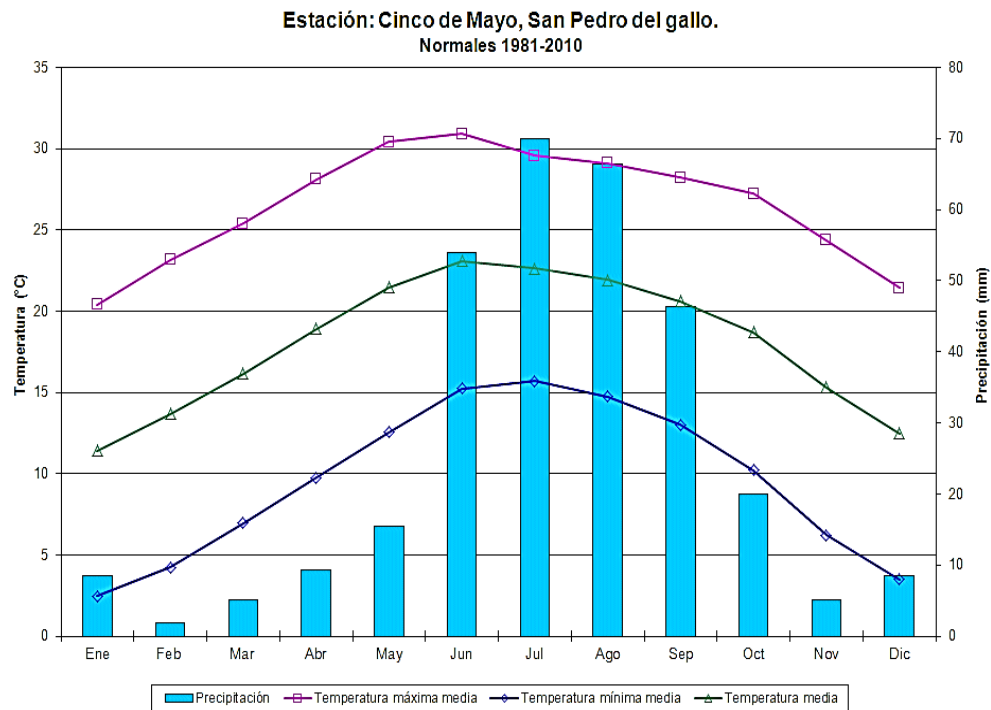


Figura 2. Climatología del municipio de San Luis Del Cordero.

Se estableció maíz criollo el 14 de Julio del 2014 como cultivo de temporal en un sistema de terrazas de uso común en la zona de estudio. La siembra se efectuó a una distancia entre plantas de 30 cm y entre surcos de 40 cm, para dar una densidad de población de 58 000 plantas por hectárea.

Descripción de los sistemas de labranza evaluados

Los sistemas de labranza han sido un factor tecnológico muy importante en la evolución de la agricultura (Ofori, 1993). Se define un sistema de labranza como el manejo físico, químico y biológico para beneficiar la germinación y la posterior

emergencia de plántulas. De manera genérica, una descripción de los diferentes sistemas de labranza es presentada por Velásquez *et al* (1997).

- La labranza de conservación.

Se refiere principalmente a minimizar el uso de maquinaria en las operaciones de labranza o preparación de la cama de siembra y al uso de residuos de cosecha para proteger el suelo contra el proceso de erosión desde el establecimiento del cultivo (Erenstein, 1996; citado por Velásquez *et al.*, 2009; Velásquez *et al.*, 1997). Un aspecto relevante es el beneficio económico al reducir los costos de producción por la eliminación de los gastos por la aplicación del barbecho, rastreo, surcado y las escardas.

Para este tratamiento se utilizó siembra directa con la incorporación de residuos cosecha (rastrojo) al 33%.

- La labranza cero

Es un sistema de siembra en el cual el movimiento de suelo para el establecimiento del cultivo es mínimo y puede llevar (Labranza de conservación) o no residuos sobre la superficie del terreno al momento de la siembra. Los beneficios económicos son similares a los de la labranza de conservación. Bajo este sistema el control de malezas debe realizarse con herbicidas o algún tipo de control biológico (Lal, 1979).

Para este tratamiento se utilizó siembra directa, sin la aplicación de residuos de cosecha. Apoyado con escurrimiento del Arroyo Naitcha que se encuentra en el área de agricultura de temporal del municipio de San Luis del Cordero, Durango

- Labranza tradicional.

Es la manera convencional de cómo los productores agrícolas realizan las actividades de preparación del suelo para la siembra. De manera genérica se realizan labores de barbecho, rastreo, surcado y escardas. Los propósitos de todas estas actividades son adecuar la cama de siembra para una mejor germinación de la semilla, eliminar malezas, tener una mayor capacidad de almacenamiento de humedad e incorporar residuos y fertilizante (Lal, 1979). El número, la forma y el tiempo de realización de las actividades de este tipo de labranza varían de una región agroecológica a otra.

Para este tratamiento se utilizaron las labores de barbecho, rastreo, surcado y dos escardas. Con apoyo de escurrimiento del Arroyo Naitcha que se encuentra en el área de agricultura de temporal del municipio de San Luis del Cordero, Durango.

Medición hidrológica

Para conocer el volumen (m^3) y el gasto ($m^3 \cdot seg^{-1}$) de agua que ingresó al sistema de captación por unidad de tiempo, se caracterizó hidráulicamente el cauce principal y el cauce de acceso a la obra de captación de agua.

La medición fue directa en campo. Como ejemplo, la Figura 3 muestra la escala de aforo del Arroyo Naitcha en el área de agricultura de temporal del municipio de

San Luis del Cordero, Durango de donde se realizaron mediciones directas de tirante hidráulico.

El gasto Q en la sección de aforo se calculó mediante la ecuación de continuidad utilizando los procedimientos estándar que cita la literatura, como: (Sánchez Cohen *et al.*, 2015; Campos, 2007)

$$Q = A \cdot V \quad (1)$$

donde A es el área de la sección hidráulica (m^2) y V ($m \text{ seg}^{-1}$) la velocidad del flujo.



Figura 3. Estación de aforo en el cauce principal del Arroyo Naitcha en el área de agricultura de temporal del municipio de San Luis Del Cordero, Durango.

La velocidad del agua en canales se relaciona a la pendiente del gradiente de energía y a la fricción. Una ecuación que fue utilizada para analizar el flujo en canales abiertos es la de Manning: (Chow *et al.*, 1988)

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) R_3^2 S_2^1 \quad (2)$$

donde V es la velocidad ($\text{m}\cdot\text{seg}^{-1}$), n es un coeficiente de rugosidad (Manning), R es el radio hidráulico que es el cociente del área y el perímetro de mojado de la sección considerada, S es la pendiente del gradiente de energía ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$). Para flujo uniforme, la pendiente del fondo del canal es la misma que la pendiente del gradiente de energía. Para el caso de la cuenca del arroyo Naitcha se consideró el valor de n de la ecuación de Manning de 0.055 que corresponde a una sección hidráulica con fondo de piedra – arena y secciones irregulares con vegetación (Sánchez *et al.*, 2016).

Para el cálculo del área (A) se debe conocer la sección hidráulica del punto de aforo; se asumió una figura rectangular con una sección hidráulica definida y se obtuvo la relación carga (h) gasto Q utilizando las ecuaciones 1 y 2 (Figura 4). El coeficiente de rugosidad de Manning (n) se verificó en campo y el radio hidráulico “ R ” se debe referir a la escala de medición en incrementos sucesivos de tirante (h).

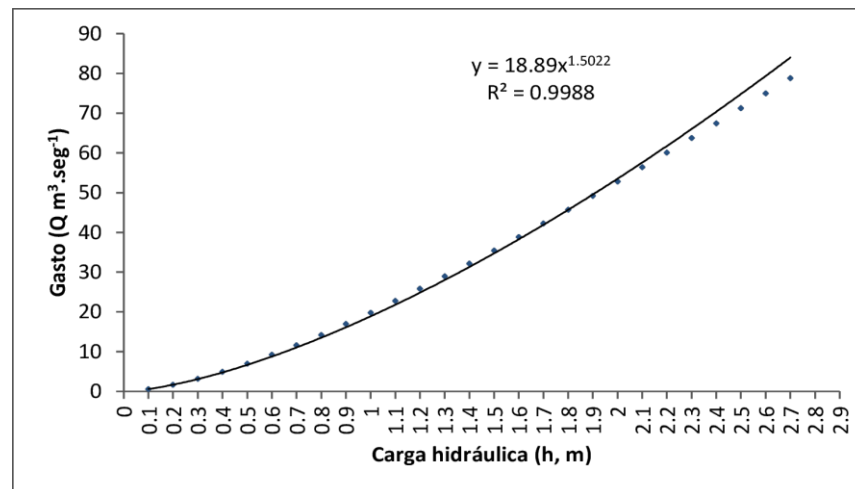


Figura 4. Relación carga gasto de la sección de aforo que señala la Figura 3.

Obtención del hidrograma

Un hidrograma es una gráfica que muestra el cambio del flujo de agua a través del tiempo; por ejemplo el gasto de un cauce en $\text{m}^3.\text{seg}^{-1}$. Las series de datos que se obtienen en el aforo donde se relaciona tiempo contra altura sirven para la formación del hidrograma y posteriormente, mediante la curva de calibración de la escala se obtiene el gasto. El área debajo de la curva que define al hidrograma es el volumen total de aportación del evento de escurrimiento.

Se utilizó la aproximación analítica para conocer el volumen del hidrograma que consiste en la solución exacta que se obtiene al integrar la función matemática que lo describe. Esta función se obtuvo mediante el paquete computacional *Graph 4.4.2* que permitió ajustar datos observados a diferentes funciones polinomiales.

En el modelo polinómico que describe al hidrograma $((x))$, el volumen total sería:

$$V = \int_{x=0}^{x_m} f(x)dx \quad (3)$$

donde V es el volumen total, la integral del tiempo cero a al tiempo máximo y la $f(x)dx$ que describe al hidrograma como una función de ajuste a los datos de flujo observados.

A nivel parcela se instalaron 2 sensores de humedad *Watermark®* (figura5) por cada profundidad de suelo de 0 a 30 cm y 30 a 60 cm, en cada sistema de labranza con tres repeticiones dentro de la misma parcela; es decir, en cada parcela se

instalaron tres sensores para monitorear la tensión de humedad de 0 – 30 cm y tres sensores para la capa de suelo de 30 – 60 cm. De estos datos, se obtuvo un promedio que refleja la tensión en cada capa. Mediante un medidor electrónico de la misma marca, se registraron las lecturas diarias de tensión de humedad del suelo (T) con la finalidad de trasladar posteriormente la tensión a unidades volumétricas de agua (Ps) en el suelo utilizando las funciones obtenidas en el laboratorio.



Figura 5. Medición de tensión en los sistemas de labranza.

Las curvas de retención de humedad del suelo siguen una función potencial como:

$$T = k \ Ps^{-n} \quad (4)$$

Donde Ps es el porcentaje de humedad en el suelo, k y n , son constantes de regresión. Esta ecuación se puede manipular para que partiendo de una tensión de humedad en el suelo arroje el contenido de humedad de éste a esa tensión. De esta

manera tenemos que para la profundidad de 0 a 30 cm se utilizó el siguiente modelo:
Ver Figura 6.

$$P_s = 63.702 * T^{-0.187} \quad (5)$$

Para la profundidad de suelo de 30 a 60 cm. el modelo quedo de la siguiente forma:

$$P_s = 56.312 * T^{-0.198} \quad (6)$$

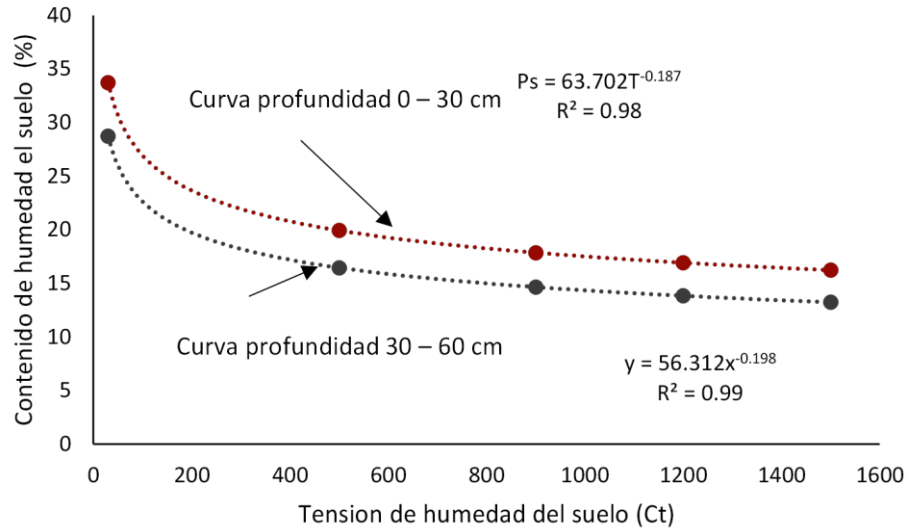


Figura 6. Curvas característica de humedad del suelo para las profundidades de 0-30, 30-60 cm.

Para transformar los valores registrados de Tensión de Humedad del Suelo a valores de contenido de humedad, se hizo uso de la siguiente expresión matemática:

$$Lr = P_s * Da * Pr \quad (7)$$

donde Lr es lámina de riego expresada en cm, P_s es porcentaje de humedad, Da es densidad aparente del suelo (se utilizó $1.3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) y Pr es profundidad de suelo en cm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la solución analítica para la obtención del volumen de los hidrogramas (ecuación 3), se obtuvo el volumen producto de cada evento de escurrimiento. Así, para los días 9 y 23 del mes de julio se registraron dos eventos arrojando un volumen de 218.17 m^3 y 162.54 m^3 respectivamente (ver hidrogramas en figuras 7 y 8).

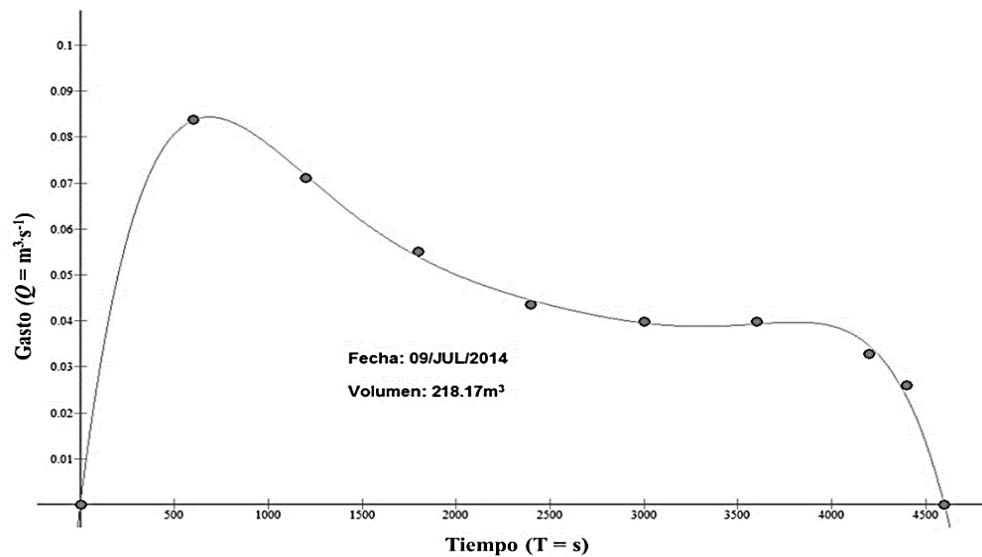


Figura 7. Hidrograma con fecha de aforo de 9/jul/2014 en la cuenca experimental del arroyo Naitcha, municipio de San Luis Del Cordero, Durango.

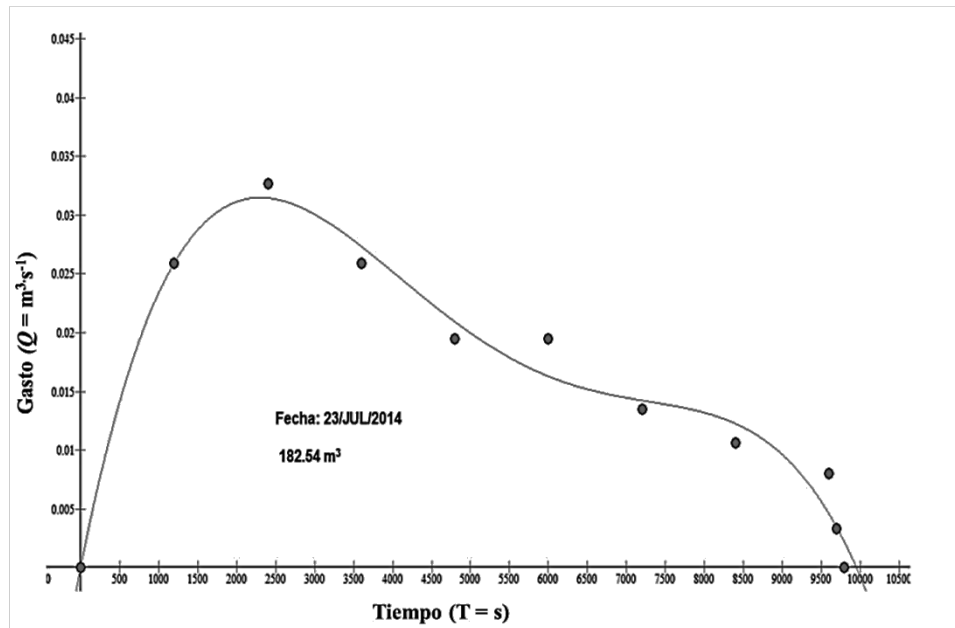


Figura 8. Hidrograma con fecha de aforo de 23/jul/2014 en la cuenca experimental del arroyo Naitcha, municipio de San Luis Del Cordero, Durango.

Para el 01 del mes de agosto se registró un evento con un volumen de 1180.34 m^3 . Posteriormente el último evento que se registro fue el 05 de septiembre, con un volumen de 1008.37 m^3 , esto se representa en las figuras 9 y 10.

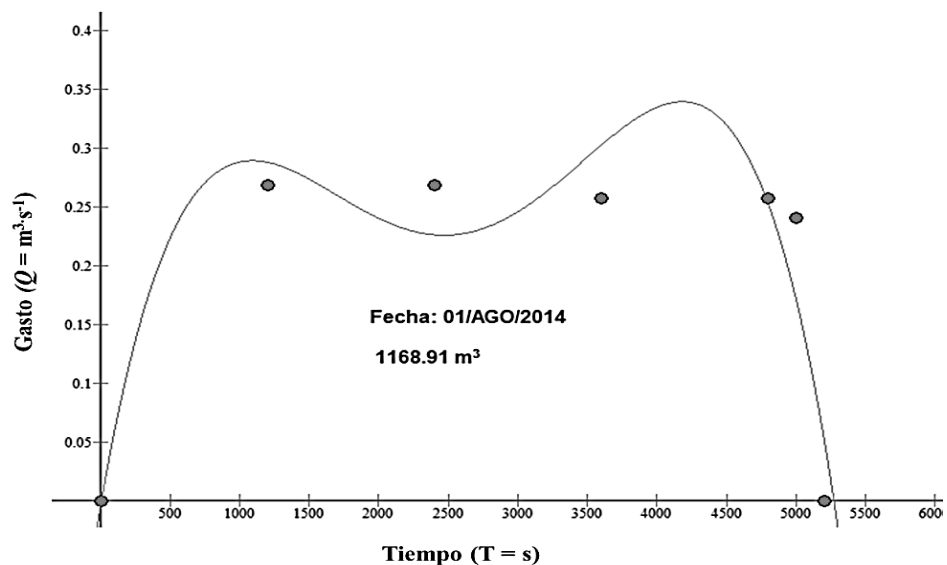


Figura 9. Hidrograma con fecha de aforo de 01/ago/2014 en la cuenca experimental del arroyo Naitcha, municipio de San Luis Del Cordero, Durango.

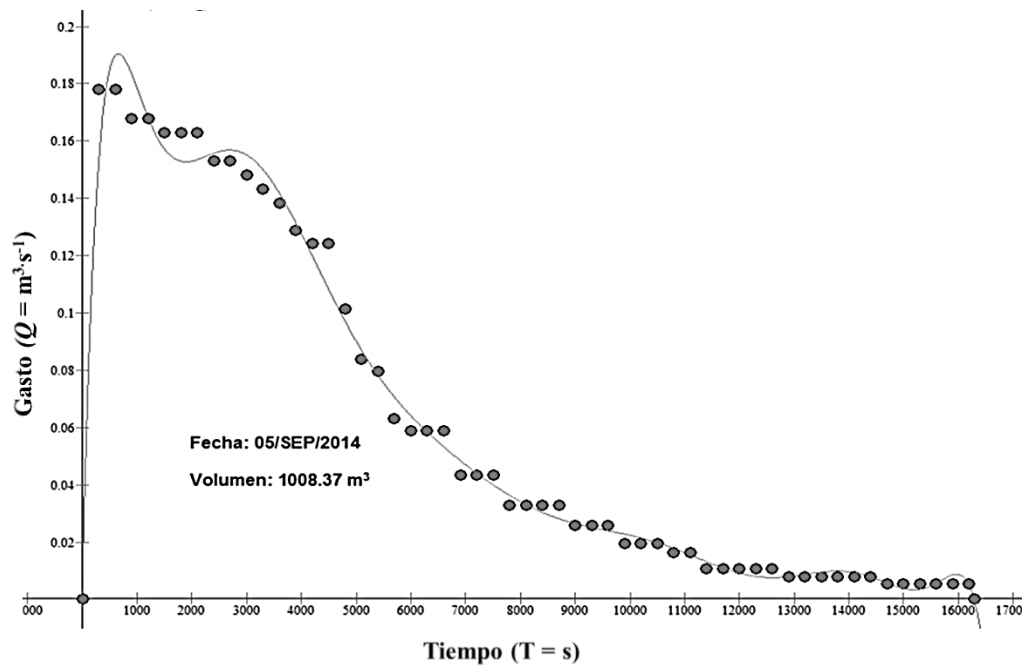


Figura 10. Hidrograma con fecha de aforo de 05/sep/2014 en la cuenca experimental del arroyo Naitcha, municipio de San Luis Del Cordero, Durango.

Comportamiento del contenido de humedad en el suelo

El Cuadro 1 muestra los resultados de transformar los datos de tensión de humedad del suelo registrados a lámina de riego aplicando la ecuación 7 antes señalada.

Cuadro 1. Calculo de lámina de riego para los sistemas de labranza evaluados

Labranza de Conservación						
Fecha	Tensiómetro	Lectura de Tensión (Centibares)	Ps	Da (gr. cm3)	Profundidad Pr (cm)	LR (cm)
09/07/2014	1	199	19.74	1.3	0.3	7.7
	2	104	22.45	1.3	0.6	17.5
	3	72	24.15	1.3	0.3	9.4
	4	58	25.20	1.3	0.6	19.7
	5	0	0.00	1.3	0.3	0.0
	6	76	23.89	1.3	0.6	18.6
						12.2
Labranza de Cero						
Fecha	Tensiómetro	Lectura de Tensión (Centibares)	Ps	Da (gr. cm3)	Profundidad Pr (cm)	LR (cm)
09/07/2014	1	22	30.54	1.3	0.3	11.9
	2	48	26.16	1.3	0.6	20.4
	3	74	24.02	1.3	0.3	9.4
	4	60	25.03	1.3	0.6	19.5
	5	130	21.48	1.3	0.3	8.4
	6	199	19.74	1.3	0.6	15.4
						14.2
Labranza de Convencional						
Fecha	Tensiómetro	Lectura de Tensión (Centibares)	Ps	Da (gr. cm3)	Profundidad Pr (cm)	LR (cm)
09/07/2014	1	79	23.71	1.3	0.3	9.2
	2	48	26.16	1.3	0.6	20.4
	3	59	25.12	1.3	0.3	9.8
	4	45	26.50	1.3	0.6	20.7
	5	54	0.00	1.3	0.3	0.0
	6	44	26.62	1.3	0.6	20.8
						13.5

La Figura 11 es un ejemplo de la variación del régimen hídrico del suelo para cada tratamiento. El ejemplo ilustra la situación del mes de agosto para las profundidades de suelo 0 – 30 y 30 – 60 cm.

Mediante el procedimiento descrito, se obtuvieron las láminas de riego diarias por cada sistema de labranza lo cual constituye el conocimiento básico para la toma de decisiones por parte del productor. Numerosa literatura menciona la importancia, no solo de la cantidad sino de la oportunidad del riego en los cultivos, (Barrios *et al.*, 2005, Sánchez–Cohen *et al.*, 2013; Sánchez–Cohen 1983, Sánchez–Cohen 2005). En zonas de temporal, la disponibilidad de agua para los cultivos es una variable aleatoria sujeto a la incertidumbre climática. De aquí, que la conservación de la humedad en el suelo, sea el paradigma de las prácticas agronómicas en zonas áridas.

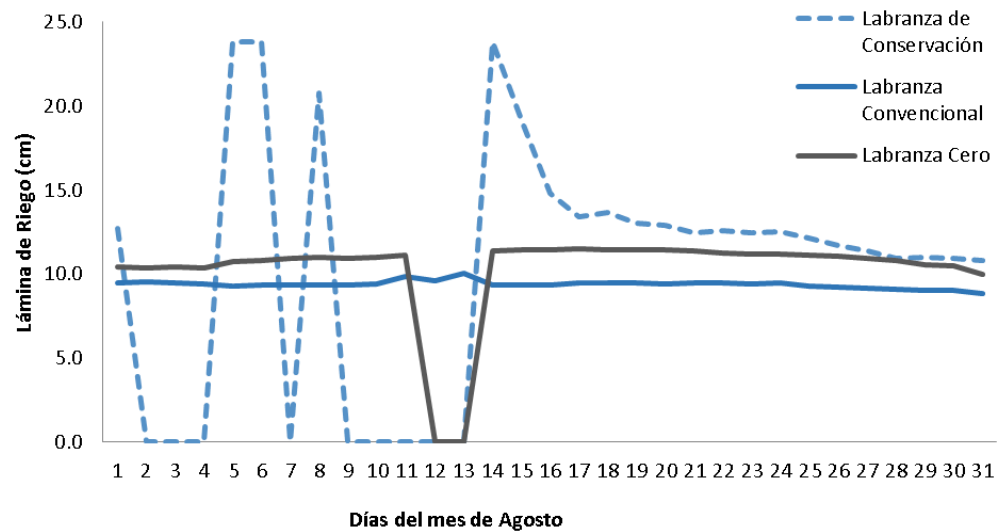


Figura 11. Lámina de riego en los sistemas de labranza evaluados a una profundidad de 0 a 30 cm para el mes de agosto.

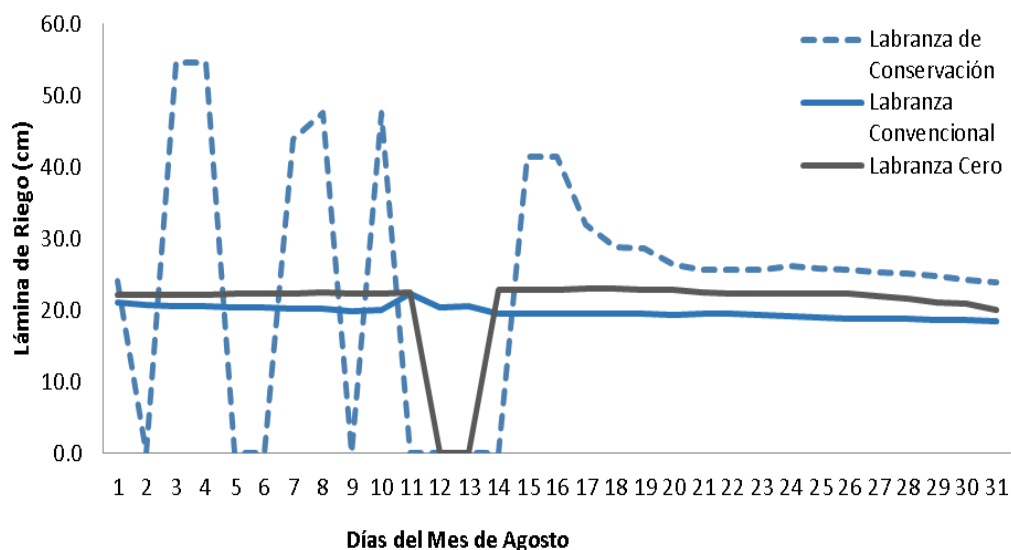


Figura 12. Lámina de riego en los sistemas de labranza evaluados a una profundidad de 30 a 60 cm para el mes de agosto.

De las figuras 11 y 12 se puede observar que el régimen hídrico en el suelo es más favorable para el sistema de labranza de conservación seguido por el sistema de labranza cero y convencional. Aunque el sistema de labranza cero, como se definió en el apartado de materiales y métodos, consideró la inclusión de escurrimiento pero no residuos orgánicos, la carencia de una barrera física para evitar la evaporación directa del suelo, impactó en el mayor abatimiento de la humedad de éste. (Figura 13). Este constituye un punto decisivo en el proceso de toma de decisiones.

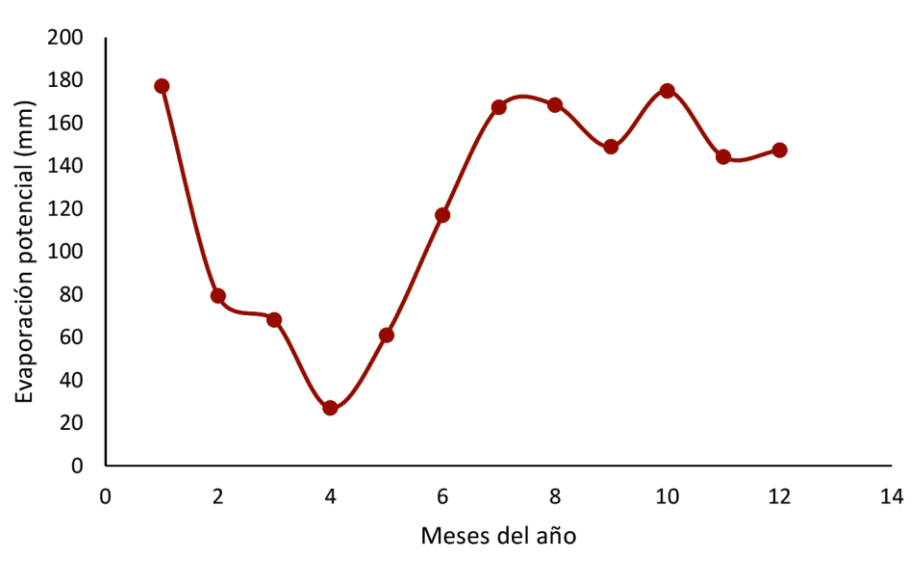


Figura 13. Evaporación mensual ocurrida durante el periodo de estudio (San Luis Del Cordero, Dgo. 2014)

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se pudo constatar el impacto de las prácticas de labranza en el régimen de humedad del suelo. Se destaca la importancia que tiene este estudio en zonas donde se practica la agricultura de temporal y más aún, cuando no se tiene la suficiente precipitación pluvial para que los cultivos prosperen. Las prácticas de conservación son una opción viable ya que pueden ser la diferencia entre obtener un rendimiento económicamente atractivo a los productores de zonas marginales con escaso y errático régimen pluvial. La incorporación o uso de residuos orgánicos se constituye en la mejor opción en aras de mantener un régimen hídrico en el suelo que favorezca el desarrollo del cultivo.

Se recomienda monitorear los escurrimientos superficiales para estar en posibilidades de realizar planeación en términos de superficie a sembrar o de distribución del agua en el sistema productivo. El trazo de escalas y su calibración en

campo es de crucial importancia para la planeación adecuada en el uso de los recursos hidráulicos (escurrimiento).

LITERATURA CITADA

Abraham, E., Abad, J., Lora-Borrero, B., Salomón, M., Sánchez, C., & Soria, D. 2007. Caracterización y valoración hidrológica de la cuenca del río Mendoza mediante elaboración de modelo conceptual de evaluación. In Actos del Congreso Argentino del Agua.

Barrios-Díaz, J. M., Larios-García, M. C., Castellanos, J. Z., Alcántar-González, G., Tijerina-Chávez, L., & de las Nieves Rodríguez-Mendoza, M. 2006. Efecto del sistema de riego y tensión de humedad del suelo en rendimiento y calidad del ajo. *Terra Latinoamericana*, 24(1), 75-81.

Campos Aranda, F. 2007. Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. San Luis Potosí, México. 440 pp.

Castillo, V. M., Gómez-Plaza, A., Martínez-Mena, M., & Albaladejo, J. 2000. Respuesta hidrológica en medios semiáridos: las cuencas experimentales de la Sierra del Picarcho, Murcia (España). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 26, 81-94.

Chamizo, S., Rodríguez-Caballero, E., Miralles-Mellado, I., Afana, A., Lázaro, R., Domingo, F., & Cantón, Y. 2010. Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Pirineos*, 165, 69-96.

Chow Ven, T., David R. Mitdmen, Larry W. Mays. 1988. Applied hydrology. McGraw Hill Co. 557 pp.

Cotler, H., Garrido, A., Bunge, V., & Cuevas, M. L. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: Priorización y toma de decisiones. *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*, 210-215.

IMTA. 2009. Estación San Luis del Cordero. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. ERIC III, 2.0.

Lal, R. 1979. Importance of tillage systems in soil and water management in the tropics. Pp. 25 – 31. In: R. Lal (ed.) Soil tillage and crop production. Proceedings Series N° 2. IITA. Ibadan, Nigeria.

Ofori, C. S. 1993. The challenge of tillage development in African agriculture. In: Chapter 7. Soil tillage in Africa: needs and challenges. FAO SOILS BULLETIN 69. M-51. ISBN 92-5-103442-7. Rome, Italy.

Pla Sentís, I. 2005. Física de suelos e hidrología en América Latina. In PHI-VI Documentos técnicos en hidrología (Vol. 71, pp. 1-5). UNESCO.

Sánchez-Cohen, I. 2005. Fundamentos para el manejo integral del agua. Libro científico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmosfera. Gómez Palacio Durango, México. 272 p.

Sánchez-Cohen, I. 1983. Programa de riego y fechas de siembra en el cultivo del girasol (*Heliantus annus* L.), considerando la opción del distrito de riego No. 017 Región Laguna. Tesis. Sonora, México.

Sánchez-Cohen, I., Velásquez-Valle, M. A., Esquivel-Arriaga, G., Bueno-Hurtado, P., & Pedroza-Sandoval, A. 2015. Minimum hydrologic characterization for research in experimental watersheds with limited availability of information in arid lands. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 14(2), 185-208.

Sánchez C. I., Velásquez V. M. A. Bueno H. P., Esquivel A. G., Gutiérrez L. R. y Martínez B. O. U. 2016. Monitoreo de procesos físicos en cuencas hidrológicas. Memoria de curso. Mayo, Saltillo, Coahuila, México. p. 46

Sánchez Cohen, I., Velásquez Valle, M. A., Catalán Valencia, E., Inzunza Ibarra, M. A., Esquivel Arriaga, G., Bueno Hurtado, P., & Díaz Padilla, G. 2013. Modelo de balance hídrico como apoyo a toma de decisiones en zonas agrícolas bajo incertidumbre climática. Folleto técnico No. 28.

Velásquez V. M. A., M. Tiscareño L., R. Claverán A. y M. Gallardo V. Erosión y Productividad Bajo Labranza de Conservación. Avances de Investigación en suelos de ando de Michoacán. Folleto Técnico Núm.1. Diciembre de 1997.CENAPROS-INIFAP. 34 p.

Velásquez Valle, M. A., J. A. Muñoz V., H. Macías R. y L. M. Valenzuela N. 2009. Eficiencia de prácticas agronómicas y mecánicas para reducir el escurrimiento superficial. *AGROFAZ*. 9(2): 37 – 45.

Villagra, P. E., Giordano, C., Álvarez, J. A., Bruno Cavagnaro, J., Guevara, A., Sartor, C., & Greco, S. 2011. Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecología austral*, 21(1), 29-42.

CAPÍTULO III

IMPACTO DE LAS PRÁCTICAS DE LABRANZA EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO MAÍZ

RESUMEN

El sistema de labranza de conservación ha cobrado importancia durante los últimos años en México, debido a la necesidad de aplicar alternativas tecnológicas que favorezcan la rentabilidad y la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola. En este trabajo se evaluó el impacto de las prácticas de labranza sobre los componentes del rendimiento del cultivo maíz en la zona de temporal en San Luis Del Cordero, Durango. Se estableció maíz criollo como cultivo de temporal en un sistema de terrazas de uso común en la zona, bajo los sistemas de labranza de conservación (utilización de residuos con 33% de rastrojo), labranza cero (con apoyo de escurrimiento) y labranza convencional (prácticas tradicionales del productor). Se midieron los componentes del crecimiento del cultivo altura de planta, área foliar, materia seca (raíz, tallo, hojas, panoja y mazorca) y rendimiento. Para altura, área foliar y peso seco el sistema de labranza de conservación presentó los mayores valores en todos los parámetros, sin embargo, el mejor rendimiento se obtuvo en el sistema de labranza cero. El sistema de labranza de conservación con 33% residuos de cosecha, resultó ser una de las mejores prácticas, ya que aunque no se adicionó escurrimiento, el régimen de humedad del suelo por concepto de los residuos orgánicos, se manifestó en mayores parámetros de crecimiento del cultivo y mayor materia seca. Sin embargo, el utilizar el sistema de labranza cero con apoyo de escurrimiento, las cantidades adicionales por concepto de este, pudieran ampliar la

frontera agrícola del área de estudio al existir potencialidad de incrementar áreas de siembra.

Palabras clave: Labranza, humedad suelo, temporal, maíz

IMPACT OF TILLAGE PRACTICES ON THE ANALYSIS OF THE YIELD COMPONENTS OF CORN

ABSTRACT

Conservation tillage has acquired importance in the past few years in Mexico due to the need to apply technical alternatives to enhance the sustainability of agricultural systems. In this study the impact of tillage systems was evaluated over the components of yield of corn in San Luis del Cordero, in the state of Durango. Criollo corn was planted within a terrace system under tillage treatments: conservation tillage (with 33% of crop residues), cero tillage (with runoff) and conventional tillage (traditional practices of farmers). Crop growth components were measured periodically: crop height, foliar area, dry matter (roots, leaves, stem, and corn cob) and crop yield. For height, foliar area and dry matter, the conservation tillage system showed the highest values in all measured variables; nevertheless, the highest crop yield it was obtained in the cero tillage system. Conservation tillage system resulted to be the best practice given that, although no additional runoff was used, the soil water content was higher than the other systems due to the crop residues yielding more dry matter. Utilizing the cero tillage system with runoff may widen the agricultural frontier given the potential increase in planted area.

Keywords: Tillage, soil humidity, rain feed corn.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de conservación consiste en una serie de prácticas agronómicas que permiten un manejo del suelo que altera lo menos posible su composición, estructura y biodiversidad, defendiéndolo de la erosión y degradación (De las Cuevas *et al.*, 2005).

La labranza de conservación incluye variantes como la cero labranza, labranza mínima, labranza reducida o siembra directa, cada una de ellas representa técnicas de las cuales los resultados, dependerá del tipo de clima y suelo en el sitio donde se establezca el cultivo.

Esta práctica, ha cobrado importancia durante los últimos años en México, debido a la necesidad de aplicar alternativas tecnológicas que favorezcan la rentabilidad y la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola (Bolaños *et al.*, 2001). Ya que las bondades que ofrece esta práctica hacen que los productores se interesen en aplicarla en las distintas zonas del país. Además se pueden añadir la importancia de que países de América, como es el caso de Estados Unidos, Brasil, Argentina y Canadá que representan los primeros lugares en superficie de cosecha de los 100 millones de hectáreas agrícolas (FAO, 2006).

En México se practica la labranza de conservación en 3.2 % de la superficie agrícola total Salinas *et al.*, 2002; Roldán *et al.*, 2006; Díaz *et al.*, 2008). La mayor superficie bajo labranza de conservación está concentrada en el centro occidente del país 79.9%, en la región sur 8.9%, en el sureste 10%, en el norte 1% y solamente 0.2% en el noreste (Claveran-Alonso, 2000).

Los beneficios de la labranza de conservación sobre la conservación de los recursos agua y suelo han sido atribuidos a varios factores entre los que se pueden señalar: protección al suelo por la cobertura de los residuos, mejoramiento de la estructura del suelo (Tiscareño *et al.*, 1999), incremento de la rugosidad superficial, aumento en la capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo (Chichester y Richardson, 1992; Richardson, 1993; Richardson y King, 1995; citados por Velásquez *et al.*, 2009). Además, de la mejora del suelo para que las plantas tengan un adecuado crecimiento, aunado esto a la reserva de mayor cantidad de nutrientes.

El objetivo del presente trabajo fue el evaluar el impacto de las prácticas de labranza en los componentes del rendimiento del maíz en la zona de temporal de San Luis Cordero, Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se estableció dentro de una propiedad privada en el municipio de San Luis Del Cordero, Durango en el año 2014. Su ubicación esta entre los paralelos 25° 15' y 25° 31' de latitud norte; los meridianos 104° 07' y 104° 33' de longitud oeste; una altitud entre 1 300 y 2 200 msnm (Figura 1). Las temperaturas máximas que oscilan en los 40 °C se presentan en los meses de mayo a agosto, mientras que las mínimas de alrededor de 0 °C, comienzan en diciembre y terminan en marzo; el régimen de precipitación se da en los meses de junio a septiembre, con lluvias que van aproximadamente de 2 a 50 mm (IMTA, 2009).

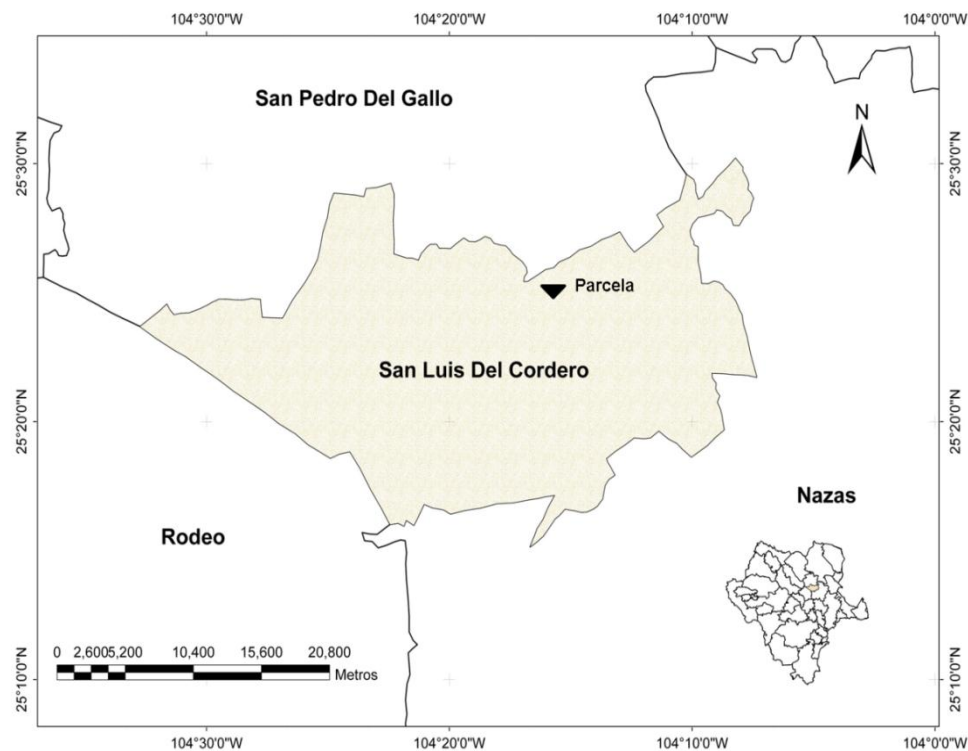


Figura 1. Ubicación del municipio de San Luis del Cordero.

Establecimiento del cultivo

Se estableció maíz criollo el 14 de Julio del 2014 como cultivo de temporal en un sistema de terrazas una distancia entre plantas de 30 cm y entre surcos de 40 cm, para dar una densidad de población de 58 000 plantas por hectárea.

Descripción de los sistemas de labranza

Los sistemas de labranza han sido un factor tecnológico muy importante en la evolución de la agricultura (Ofori, 1993). Se define un sistema de labranza como el manejo físico, químico y biológico para beneficiar la germinación y la posterior emergencia de plántulas. De manera genérica, una descripción de los diferentes sistemas de labranza es presentada por Velásquez *et al* (1997).

- La labranza de conservación.

Se refiere principalmente a minimizar el uso de maquinaria en las operaciones de labranza o preparación de la cama de siembra y al uso de residuos de cosecha para proteger el suelo contra el proceso de erosión desde el establecimiento del cultivo (Erenstein, 1996; citado por Velásquez *et al.*, 2009; Velásquez *et al.*, 1997). Un aspecto relevante es el beneficio económico al reducir los costos de producción por la eliminación de los gastos por la aplicación del barbecho, rastreo, surcado y las escardas.

Para este tratamiento se utilizó siembra directa con la incorporación de residuos cosecha (rastrojo) al 33%.

- La labranza cero

Es un sistema de siembra en el cual el movimiento de suelo para el establecimiento del cultivo es mínimo y puede llevar (Labranza de conservación) o no residuos sobre la superficie del terreno al momento de la siembra. Los beneficios económicos son similares a los de la labranza de conservación. Bajo este sistema el control de malezas debe realizarse con herbicidas o algún tipo de control biológico (Lal, 1979).

Para este tratamiento se utilizó siembra directa, sin la aplicación de residuos de cosecha. Apoyado con escurrimiento del Arroyo Naitcha que se encuentra en el área de agricultura de temporal del municipio de San Luis del Cordero, Durango

- Labranza tradicional.

Es la manera convencional de cómo los productores agrícolas realizan las actividades de preparación del suelo para la siembra. De manera genérica se realizan labores de barbecho, rastreo, surcado y escardas. Los propósitos de todas estas actividades son adecuar la cama de siembra para una mejor germinación de la semilla, eliminar malezas, tener una mayor capacidad de almacenamiento de humedad e incorporar residuos y fertilizante (Lal, 1979). El número, la forma y el tiempo de realización de las actividades de este tipo de labranza varían de una región agroecológica a otra.



Figura 2. Panorámica de los sistemas de labranza ensayados; arriba: panorámica general del sitio experimental, abajo: sistemas de labranza.

Para este tratamiento se utilizaron las labores de barbecho, rastreo, surcado y dos escardas. Con apoyo de escurrimiento del Arroyo Naitcha que se encuentra en el

área de agricultura de temporal del municipio de San Luis del Cordero, Durango.
(Figura 2)

Muestreo

Se realizaron muestreos destructivos (Figura 3) de planta cada dos semanas. Para ello se tomaron tres plantas al azar por cada sistema de labranza.



Figura 3. Realización de muestreo destructivo en planta de maíz.

Variables medidas

Las variables registradas fueron: altura de planta, área foliar, materia seca (raíz, tallo, hojas, panoja y mazorca) y rendimiento. Para la altura de planta se utilizó cinta métrica y para el área foliar fue utilizado un medidor de área foliar marca LICOR 3100C. (LICOR, 2004). Posteriormente se obtuvieron los pesos secos utilizando una estufa de secado a una temperatura de 60 °C por 24 h Para el cálculo del

rendimiento se delimitó en campo un cuadrante de 2 m por 2 m, se cosecho y posteriormente se ponderó por el contenido de humedad.

Procesamiento de datos

La base de datos de los muestreos se procesó en una hoja de cálculo. Los datos secuenciales se ajustaron a polinomios de orden 4 para obtener una relación funcional entre el tiempo y las variables de crecimiento registradas, incluyendo el rendimiento. El polinomio tiene la forma de:

$$y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Climatología registrada en el periodo de estudio

La Figura 4 muestra la pluviometría así como las temperaturas máximas y mínimas registradas en el periodo de estudio.

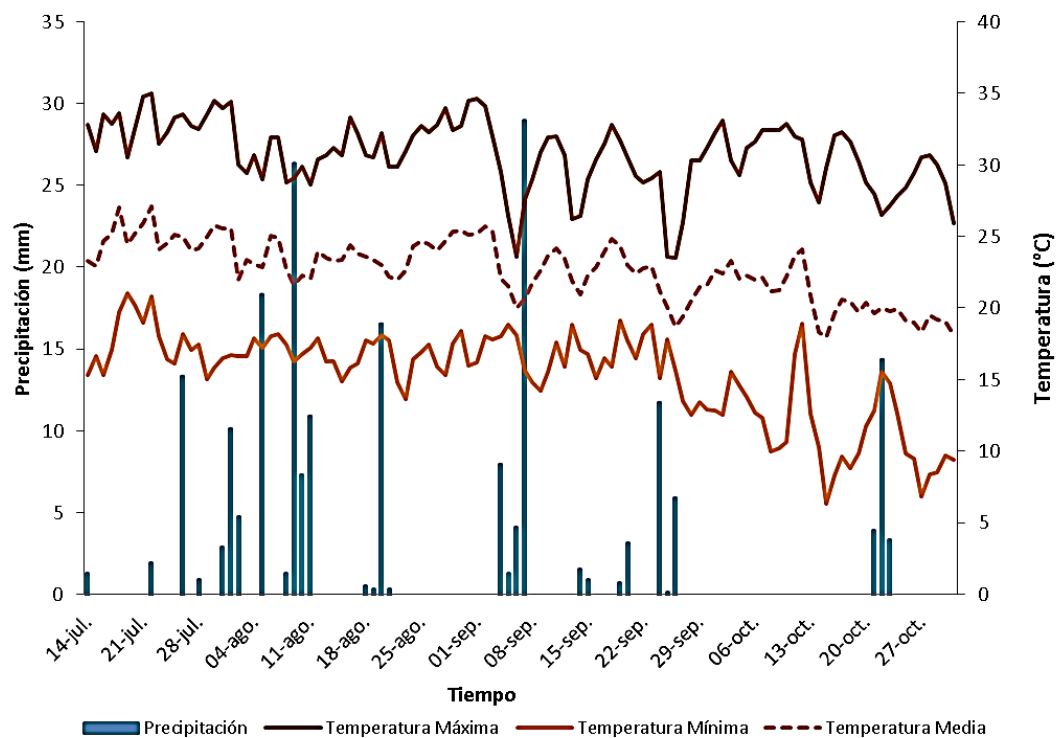


Figura 4. Climatología registrada durante el periodo de estudio.

Altura de planta

Partiendo de la medición se obtuvieron las alturas de las plantas de cada sistema de labranza evaluado. Los resultados mostraron que el sistema de labranza de conservación tuvo un promedio de 1.93 m de altura, mientras que para los sistemas de labranza cero y convencional tuvieron un promedio de 1.87 m. (Figura 5).

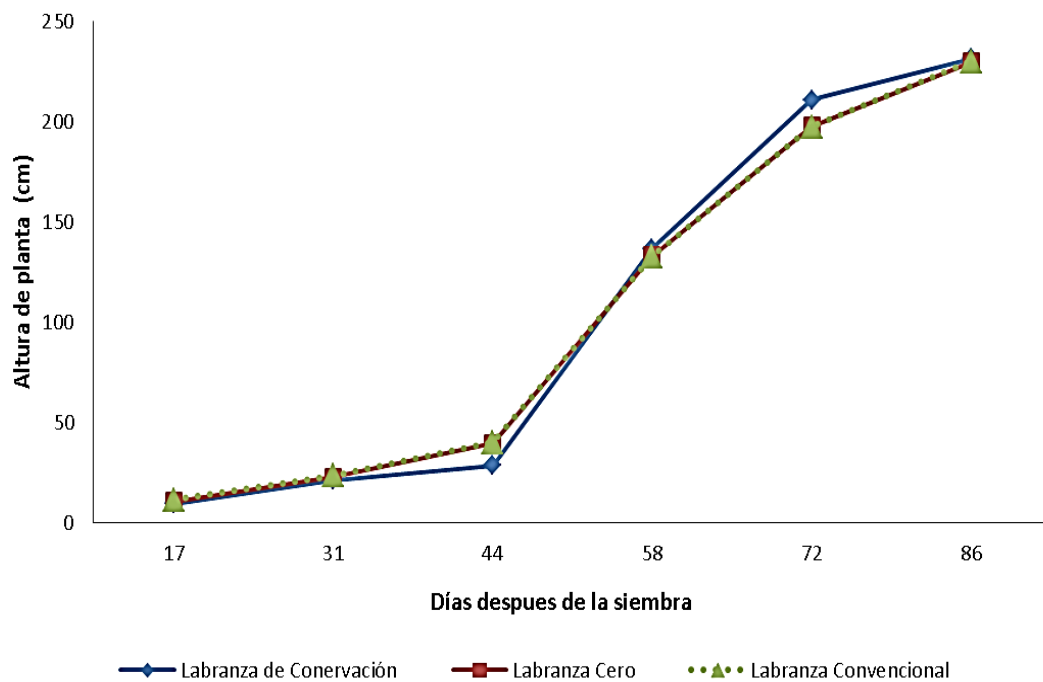


Figura 5. Altura promedio de planta en maíz de cada uno de los sistemas de labranza evaluados.

Área foliar

Un componente importante en el análisis del desarrollo y crecimiento del maíz, es el área foliar. En la Figura 6 se puede observar que, el despunte de crecimiento fue a partir de los 44 días después de la siembra para los tres sistemas de labranza, sin embargo el sistema de labranza de conservación muestra un área foliar mayor. En el cuadro 1 se señalan los parámetros del modelo polinómico orden “4” para cada uno de los sistemas de labranza.

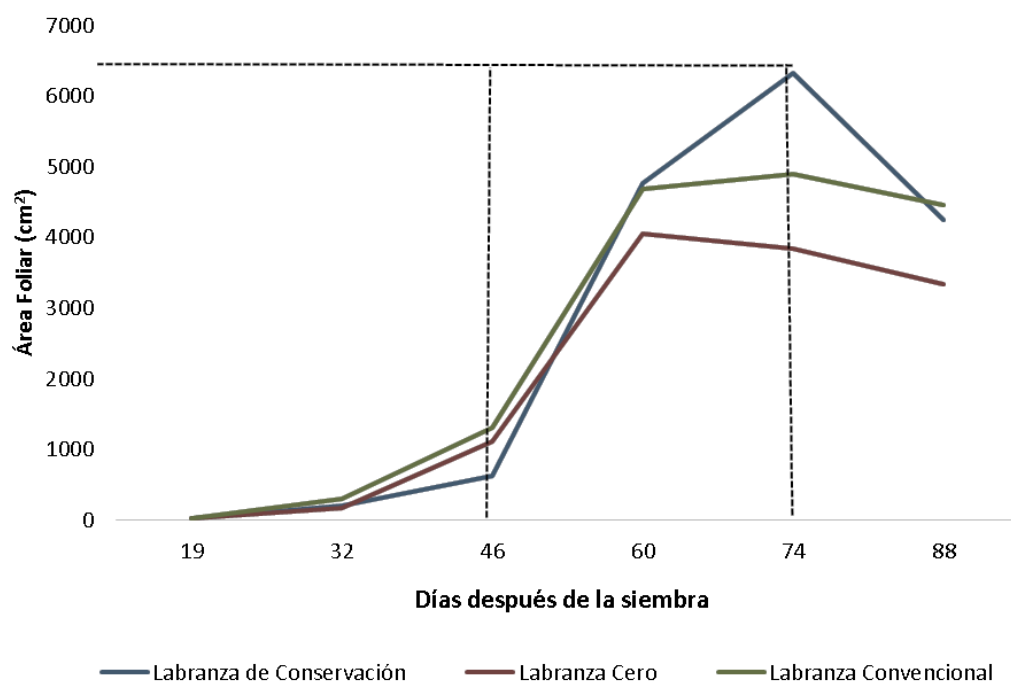


Figura 6. Área foliar por de cada escenario de práctica de labranza.

Cuadro 1. 1 Modelo polinomial de orden 4 para cada sistema de labranza para la variable área foliar.

Sistema	ax4 +	bx3 +	cx2 +	dx +	e	R ²
Labranza de Conservación	-2.400E-03	0.3773	-1.71E+01	2.72E+02	-1.19E+03	0.976
Labranza Cero	0.001	-0.291	26.9798	2.70E+01	-8.85E+02	0.955
Labranza Convencional	0.0006	-0.2052	2.15E+01	-7.37E+02	7.68E+03	0.966

Peso seco

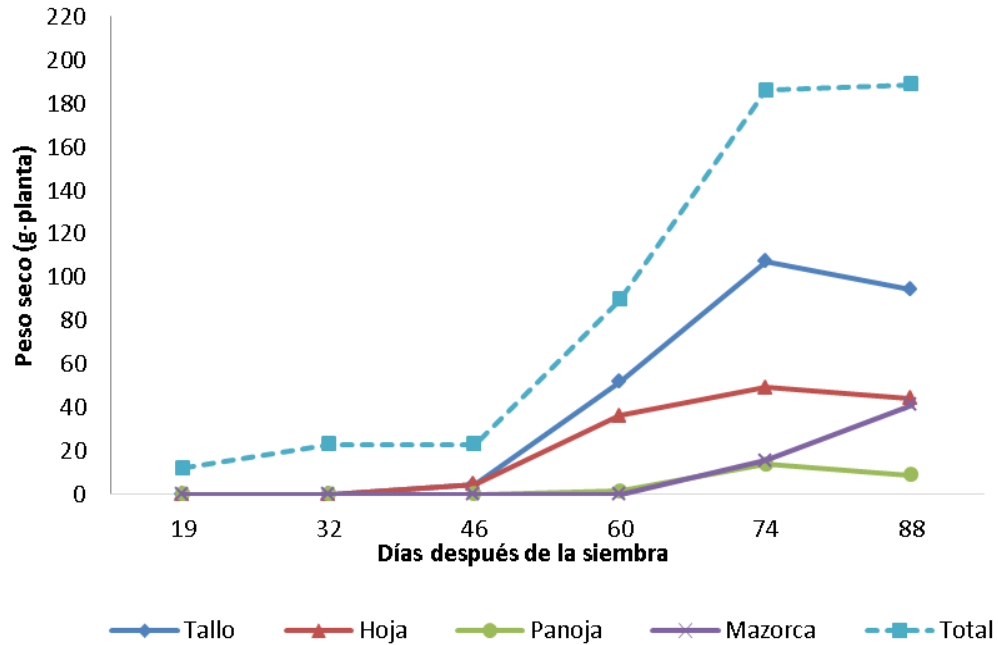


Figura 7. Desarrollo de componentes de la planta para el sistema de labranza de conservación.

Cuadro 2. Modelo polinomial de orden 4 para cada componente de planta de sistema de labranza de conservación para la variable peso seco

Componente de la planta	ax4 +	bx3 +	cx2 +	dx +	e	R2
Tallo	-6.3053E-05	0.0118	-0.7189	17.5238	-146.0681	0.9997
Hoja	-1.1138E-05	0.0015	-0.0352	-0.6299	16.3239	0.9815
Panoja	-1.6665E-05	0.0034	-0.2279	6.2086	-56.7045	0.9547
Mazorca	-3.28E-06	0.001	-0.0873	2.6973	-26.5445	0.9963
Total	-0.0001	0.022	-1.4346	38.0239	-328.4784	0.9999

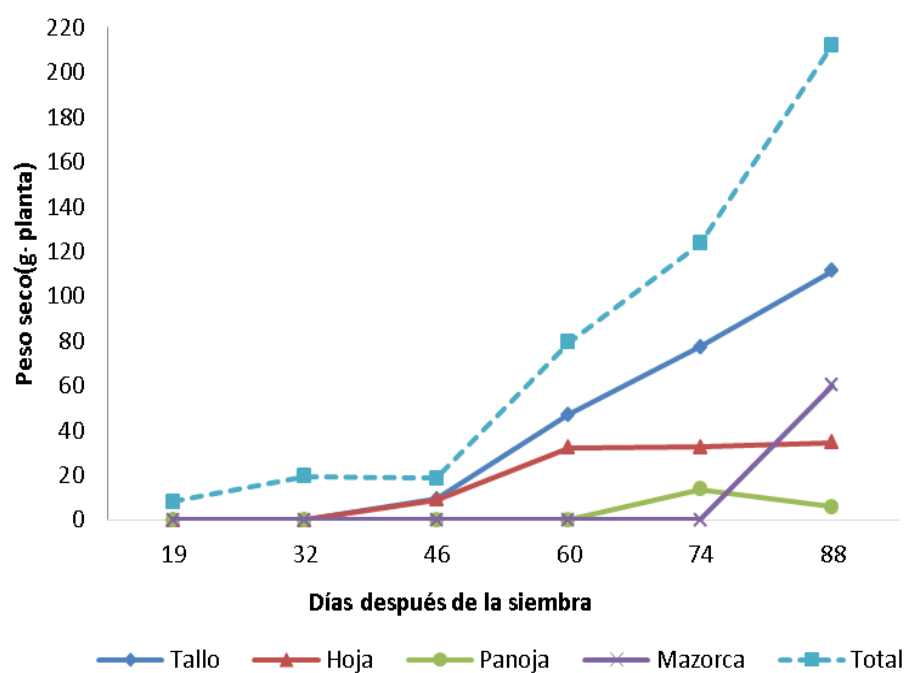


Figura 8. Desarrollo de componentes de la planta para el sistema de labranza cero.

Cuadro 3. Modelo polinomial de orden 4 para cada componente de planta de sistema de labranza cero para la variable peso seco

Componente de la planta	ax4 +	bx3 +	cx2 +	dx +	e	R2
Tallo	-3.5499E-06	0.0003	0.0443	-2.7632	35.543	0.9959
Hoja	1.2505E-05	-0.0032	0.2731	-8.7243	87.6469	0.9699
Panoja	-2.0243E-05	0.0041	0.2797	7.6862	-70.6856	0.9047
Mazorca	3.334E-06	-0.0061	0.3879	-10.1398	90.2317	0.9954
Total	-8.0927	0.0019	-0.1021	2.3826	-11.0421	0.9899

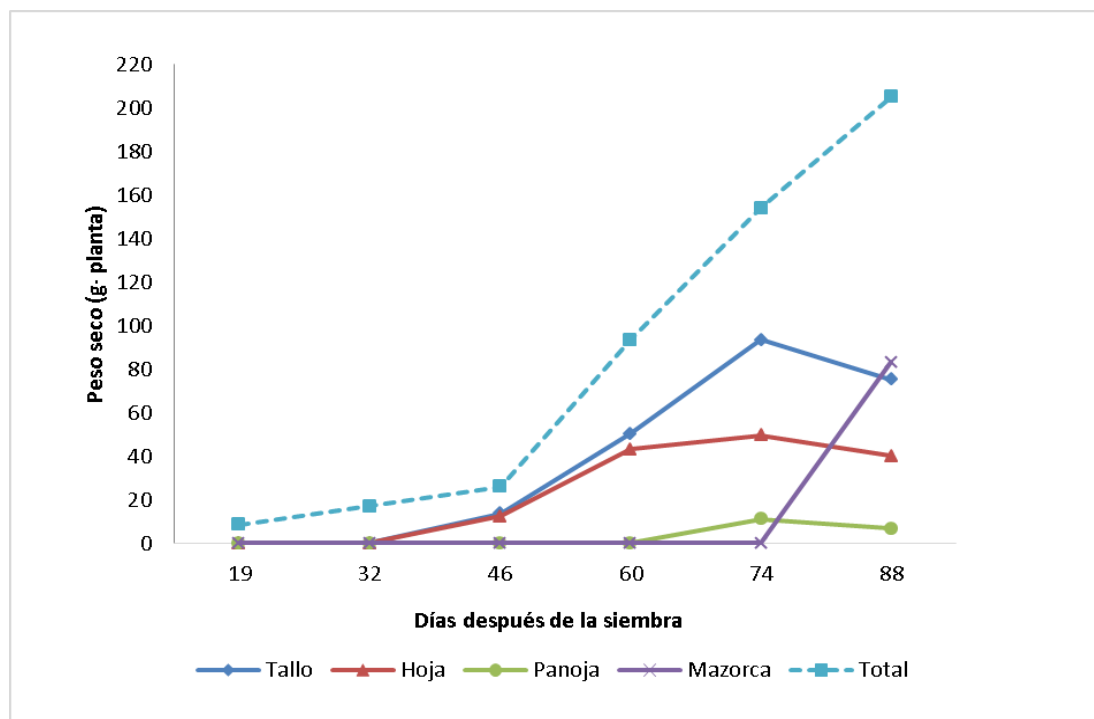


Figura 9. Desarrollo de componentes de la planta para el sistema de labranza convencional.

Cuadro 4. Modelo polinomial de orden 4 para cada componente de planta de sistema de labranza convencional para la variable peso seco

Componente de la planta	ax4	+	bx3	+	cx2	+	dx	+	e	R2
Tallo	-4.2241E-05		0.0075		-0.4279		9.8342		-78.6704	0.9997
Hoja	2.0118E-05		-0.0014		0.1749		-6.5318		70.5256	0.9847
Panoja	-1.4858E-05		0.003		-0.2076		5.7205		-52.7028	0.9202
Mazorca	4.6176E-05		-0.0084		0.5372		-14.0437		124.9709	0.9952
Total	-3.3197E-05		0.0062		-0.3466		7.9401		-54.7735	0.9957

De acuerdo la información de rendimiento en grano, el sistema de labranza cero (Figura 10) es el que muestra mayor rendimiento con 3 ton/ha⁻¹. La incorporación de residuos implica mayor disponibilidad de agua para el cultivo; para

el sistema de labranza de conservación nótese que el rendimiento fue de $1.8 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ sin cantidades adicionales de agua por concepto de escurrimiento, es muy superior al sistema de labranza convencional que obtuvo un rendimiento de $0.5 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$. De igual manera, el tratamiento con residuos implica conservación de suelo y disponibilidad de humedad residual para siembras posteriores así como una reducción sustancial en los costos de producción del cultivo.

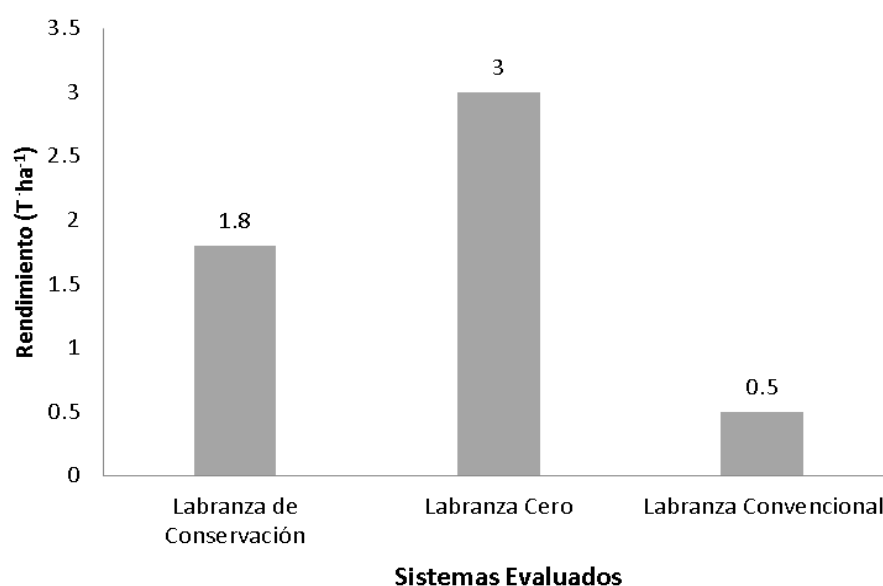


Figura 10. Rendimientos promedio obtenidos de los sistemas de labranza evaluados.

El análisis de tasas de cambio en acumulación de materia seca (pendiente de la curva secante entre los puntos de máximo desarrollo) para los sistemas de labranza ensayados, indican que el tratamiento de labranza de conservación mostró mayor rapidez en la acumulación materia seca que el resto de los sistemas evaluados (Figura 11). Acorde a:

$$Ms2 - Ms1 = m(T2 - T1)$$

donde M_s se refiere a la acumulación de materia seca entre los tiempos T_2 y T_1 ; m es la pendiente de la *secante* entre esos dos puntos (tasa de variación). Véase cuadro 5.

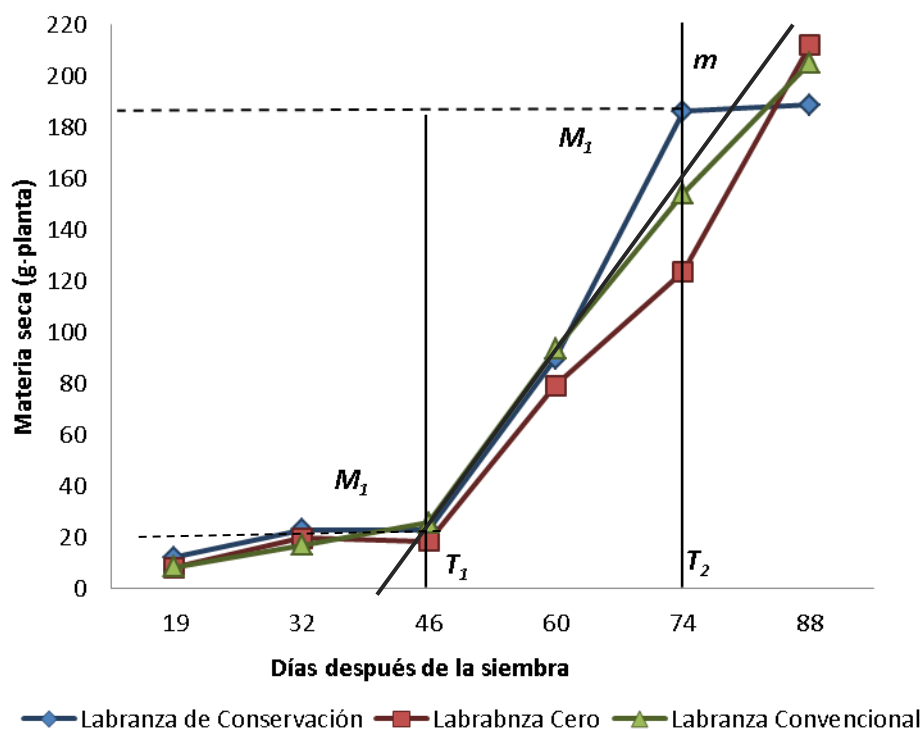


Figura 11. Tasas de cambio en acumulación de materia seca de los sistemas de labranza evaluados.

Cuadro 5. Valores de las tasas de cambio en acumulación de materia seca de los sistemas de labranza evaluados.

Sistema	$M_{s_2}-M_{s_1}$	T_2-T_1	m (g·día)
Labranza de Conservación	163.15	28	5.83
Labranza Cero	105.01	28	3.75
Labranza Convencional	128.19	28	4.58

Debe entenderse que las tasas de crecimiento mostradas en el anterior cuadro son la pendiente de la **secante** entre los puntos de la curva de crecimiento elegidos (46 y 74 días después de la siembra). Sin embargo, en el punto de máximo acumulación de materia seca (60 días después de la siembra), la primera derivada de la función en ese punto (pendiente de la **tangente** en el punto), indica la máxima tasa de acumulación de materia seca que fue mayor en el sistema de labranza de conservación.

$$\frac{dMs}{dt} = f(x)dx$$

Donde f(x) es la función polinómica que describe el rendimiento de materia seca de los sistemas de labranza evaluados.

Cuadro 6. Variación de las tasas instantáneas de crecimiento $\left(\frac{dy}{dx}\right)$ en diferentes tiempos (puntos de muestreo) para los sistemas de labranza evaluados.

Tiempo	Labranza de Conservación $\left(\frac{dy}{dx}\right)$	Labranza Cero $\left(\frac{dy}{dx}\right)$	Labranza Convencional $\left(\frac{dy}{dx}\right)$
19	0.2419	0.0016	0.033
32	-0.0536	0.035	0.0288
46	0.1221	0.1109	0.1486
60	0.3932	0.2065	0.2758
74	0.3326	0.2997	0.2862
88	-0.4867	0.3684	0.0552

Del cuadro 6 se observa que la máxima tasa de acumulación de materia seca $\left(\frac{dy}{dx}\right)$ lo obtuvo el sistema de labranza de conservación a los 60 días seguido del sistema de labranza convencional y labranza cero. El tratamiento de labranza cero supero a labranza convencional a los 74 y 88 días; de hecho, el sistema de labranza cero tiene una tendencia lineal hacia el final del ciclo.

Análisis económico

El cuadro 7 muestra las variables involucradas en el análisis de costos del estudio.

Cuadro 7. Costos de cada una de las variables para la determinación del ingreso neto del productor.

Concepto	Costo
Precio medio rural del maíz forrajero	\$500.00
Precio medio rural de maíz grano	\$2,700.00
Semilla (1 ha)	\$2,000.00
Jornal (1)	\$200.00

En el cuadro 8 se muestra las variables para la determinación del ingreso neto del productor acorde a los sistemas de labranza acorde a:

$$IN = IB - C$$

donde IN es el ingreso neto del productor, IB es el ingreso bruto el cual es el producto del rendimiento por el precio medio rural del forraje y C son los costos de producción los cuales se subdividen en costos fijos (CF) y costos variables (CV).

Cuadro 8. Ingreso neto del productor en cada sistema de labranza

Sistema	Costos Fijos		Costos Variables		IB	CF + CV	IN (IB - COSTOS)
	Semilla	Labores	Residuos (Rastrojo)	Jornales			
Labranza de Conservación	\$2,000.00	\$400.00	\$1,000.00	\$400.00	\$4,860.00	\$3,800.00	\$1,060.00
Labranza Cero	\$2,000.00	\$200.00	---	\$3,000.00	\$8,100.00	\$5,200.00	\$2,900.00
Labranza Convencional	\$2,000.00	\$1,200.00	---	\$600.00	\$1,350.00	\$3,800.00	-\$2,450.00

CONCLUSIONES

Las prácticas de labranza de conservación pueden proporcionar una tecnología alternativa que contribuye a la agricultura sostenible en la zona de temporal de San Luis Cordero, Durango y en general en cualquier zona de temporal deficiente en zonas áridas.

Para el presente estudio el sistema de labranza de conservación con 33% residuos de cosecha, resultó ser una de las mejores prácticas, ya que la adición de escurrimiento implica el manejo del agua con el costo añadido en la operación. Sin embargo, el utilizar el sistema de labranza cero con apoyo de escurrimiento, las cantidades adicionales por concepto de este, amplían la frontera agrícola del área de estudio al existir potencialidad de ampliar áreas de siembra.

La adición de residuos orgánicos (rastros) en el suelo puede implicar una reducción aparente de ingreso a los productores pero los beneficios en términos de conservación de agua y suelo y el incremento en los rendimientos superan esa aparente pérdida de

ingreso al dejar rastrojo en el suelo que de otra manera hubieran sido alimento del ganado.

También, en el mediano y largo plazo, el rastrojo en el suelo modifica las propiedades de éste para almacenar y retener agua en su perfil al mejorar la densidad aparente y evitar pérdida de suelo por erosión.

El análisis económico muestra que el sistema de labranza cero con adición de escurrimiento obtiene los mayores ingresos debiendo ponderar la decisión en su uso por la disponibilidad de mano de obra ya que es ahí donde existe la principal diferencia en costos de producción con respecto a los otros sistemas de labranza.

Cualquiera de los dos sistemas de labranza obtuvo mejores resultados que la labranza tradicional.

LITERATURA CITADA

Bolaños-Espinoza, A., Bravo-Mojica, H., Equihua-Martínez, A., Trinidad-Santos, A., Ramírez-Valverde, G., & Domínguez-Valenzuela, J. A. 2001. Densidad y daños de plagas del maíz, bajo labranza convencional y de conservación. Acta Sol. Mex, 83, 127-141.

Claveran-Alonso, R. 2000. Panorámica de la Labranza de Conservación en México y en América Latina. International Symposium on Conservation Tillage. Mazatlán, México.

De las Cuevas M. H., Rodríguez H. T. & Paneque R. P. 2005. Costos de explotación de la labranza conservacionista. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 14, núm. 3, 2005, pp. 49-54

Díaz F. A., Salinas G. J. R., Garza C. I. & Mayek P. N. 2008. Impacto de labranza e inoculación micorrízica arbuscular sobre la pudrición carbonosa y rendimiento de maíz en condiciones semiáridas. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 31 (3): 257 – 263.

FAO. 2006. Agricultura de conservación. Enfoques, Agricultura 21. www.fao.org/ag/esp/revista/0110sp.htm. (Consultado Mayo del 2016).

IMTA. 2009. Estación San Luis del Cordero. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. ERIC III, 2.0

Lal, R. 1979. Importance of tillage systems in soil and water management in the tropics. Pp. 25 – 31. In: R. Lal (ed.) Soil tillage and crop production. Proceedings Series N° 2. IITA. Ibadan, Nigeria.

LICOR, 2004. LI-3100C Area Meter Instruction manual. Lincoln, NE. USA

Ofori, C. S. 1993. The challenge of tillage development in African agriculture. In: Chapter 7. Soil tillage in Africa: needs and challenges. FAO SOILS BULLETIN 69. M-51. ISBN 92-5-103442-7. Rome, Italy.

Richarson, C. W. and K. W. King. 1995. Erosion and nutrient losses from zero tillage on clay soil. J. Agric. Eng. Res. 61: 81-86

Roldán A, J. R., Salinas G, M. M., Alguacil, F. Caravaca 2006. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. *Soil Tillage Res.* 93:273-282.

Salinas-García, J. R., Díaz-Franco, A., Garza-Cano, E., & Garza-Cano, I. 2005. Efectos de labranza y biofertilización en propiedades del suelo que afectan a la sostenibilidad de la producción de frijol. *CYTA-Journal of Food*, 5(1), 30-34.

Salinas G J R, J J Velázquez G, M Gallardo V, P Díaz M, F Caballero H, L M Tapia V, E Rosales R 2002. Tillage effects on microbial biomass and nutrient distribution in soils under rain-fed corn production in central-western Mexico. *Soil Tillage Res.* 66:143-152.

Velásquez V. M. A., M. Tiscareño L., R. Claverán A. y M. Gallardo V. Erosión y Productividad Bajo Labranza de Conservación. Avances de Investigación en suelos de ando de Michoacán. Folleto Técnico Núm.1. Diciembre de 1997.CENAPROS-INIFAP. 34 p.

Velásquez Valle, M. A., J. A. Muñoz V., H. Macías R. y L. M. Valenzuela N. 2009. Eficiencia de prácticas agronómicas y mecánicas para reducir el escurrimiento superficial. *AGROFAZ*. 9(2): 37 – 45.

Velázquez García, J. D. J., Bahena Juárez, F., Báez Pérez, A., & Fregoso Tirado, L. E. 2011. La labranza de conservación y los indicadores de calidad de suelo en el Valle Morelia-Queréndaro, Michoacán.

Tiscareño, L. M., A. D. Báez y M. A. Velásquez V., K. N Potter, J.J. Stone, M. Tapia V., and R. Claverán A. 1999. Agricultural research ford watershed restoration in central México. J. Soil & Water Cons. 54: 686 – 692.