



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA

Efecto de la práctica de labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos sobre rendimiento, rentabilidad y calidad de suelo en sistemas de trigo en el Valle del Yaqui

**TITULACIÓN POR TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

INGENIERO BIOTECNÓLOGO

PRESENTA

Jorge Luis Valenzuela Antelo

CD. OBREGÓN, SONORA

AGOSTO 2013

Agradecimientos

Quiero agradecer a la Dra. Nele Verhulst por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis en el programa de AC. Por su constante apoyo para sacar adelante mi tesis, fungiendo como mi una invaluable guía durante todo este tiempo.

Agradezco al Dr. Bram Govaerts por la oportunidad brindada de poder ser parte del programa de AC y de realizar este trabajo de investigación con los recursos de CIMMYT.

A mis asesores la Dr. Estrada y Dr. Gutiérrez por sus consejos, paciencia y tiempo dedicado para la realización de este trabajo.

A Jesús Mendoza, Ruy, Yosra, Kathrin, Mike, Nehemías, Esteban y Paulette; compañeros que me brindaron su apoyo a lo largo de este tiempo que estuve en el CIMMYT. Agradezco también al personal del programa de AC por la asistencia técnica y el compañerismo a Manuel Ruiz, Jesús Gutiérrez, Juan de Dios Sánchez, Álvaro Zermeño, Juan Carlos Gastelum, Beatriz Martínez. Estoy agradecido por la paciencia, capacitación y ayuda en las actividades de campo, que fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

A todos mis amigos que tanto descuidé y que me dieron su apoyo para que yo saliera adelante en este proyecto.

A mi novia que siempre estuvo conmigo apoyándome, animándome siempre para seguir a delante y cumplir todas las metas que me proponía.

Por ultimo agradecer de corazón a toda mi Familia, Luz Ahideé Antelo Villarreal, Jorge Alberto Valenzuela Parada y Andrés Alberto Valenzuela Antelo a quienes dedico este trabajo. Por su apoyo incondicional para lograr todos mis proyectos, todo se los debo a ellos.

Resumen

Este estudio se realizó en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, int.) con la finalidad de seleccionar el manejo agronómico más acorde a las necesidades de los agricultores del Valle del Yaqui, Sonora; contrastando los efectos que tienen la implementación de la agricultura de conservación (AC) o uno de sus principios contra las prácticas agronómicas de labranza (CT) normalmente realizadas por los agricultores de la región, en función del rendimiento de trigo, calidad de suelo y rentabilidad. El experimento se encuentra en la estación de Investigación del Centro Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), Ciudad Obregón, estado de Sonora, México (Lat. 27.29° N, Lon. 109.55° W, 38 m snm). El suelo se encuentra catalogado como arcilla arenosa común, Chromic Haplotorrert (Hyposodic Vertisol (Calcaric, Chromic)), bajo en materia orgánica (<1%) y ligeramente alcalino (pH 7.7).

El ensayo consto de 17 tratamientos, donde se tiene distintos manejos agronómicos con camas permanentes (PB) y camas con labranza (CTB), distintas rotaciones de cultivo empleándose trigo (W), maíz (M), sorgo (So), Cártamo (Sa), Garbanzo (Ch) y Alfalfa (A) y diferentes manejos de residuo: retención total/reincorporación (ALL/Inc), retención parcial (part) y quema (B). Los parámetros analizados de planta corresponden al cultivo de trigo en el ciclo 2012-13 los cuales fueron la Medición del conteo de plantas, cuantificándose la emergencia de plantas en un área conocida. La evaluación del desarrollo del cultivo se realizó con el sensor Greenseeker™ para medir el Índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI). Se evaluó el rendimiento de producción de grano. Los parámetros analizados de suelo fueron la resistencia a la ópenetración (RP) utilizándose el Penetrómetro en el perfil de 0-60 cm, estructura del suelo en función del tamaño de agregados y estabilidad utilizando la técnica de tamizado en seco y húmedo; así como el tiempo de encharcamiento simulando la infiltración del agua en condiciones de lluvia. Se

evaluó la rentabilidad en un plazo de 2 años, para conocer que manejo agronómico tenía mejores ingresos.

En la evaluación del cultivo, los resultados de conteo de plantas fueron superiores en los tratamientos con PB que los con CT; solamente los tratamientos de PB con paja sorgo presentaron valores más bajos de número de plantas. El NDVI se evaluó en base a la fecha de siembra por lo que se crearon grupos para su análisis. Los valores de NDVI fueron muy similares y con el mismo comportamiento entre los grupos analizados, observándose diferencias significativas solamente en los tratamientos con PB-ALL en la etapa de reproducción entre la rotación W/F/Sa/F y la rotación W/M; en la maduración entre la rotación W/F-ALL y las rotaciones W/M-Part y B, así como entre W/F/M/So y W/So. El rendimiento fue positivamente afectado por el uso de PB y rotación de cultivos, factores muy importantes en la rentabilidad por tener mayores ganancias de mejores rendimientos y costos bajos por usarse PB generan rentabilidades más altas. La rentabilidad fue mayor al utilizarse dos cultivos por año que uno, sin embargo el uso de PB obtuvo mejor rentabilidad que CTB inclusive si se establecía solo un cultivo por año, por lo que el uso de AC es una alternativa de ingresos para el productor.

La implementación de AC en el suelo afecta principalmente en el tiempo de encharcamiento, ya que es donde se vio más evidente la diferencia entre esta y la CT. La AC afectó solamente en algunos tratamientos el tamaño de los agregados y la estabilidad de estos. En el análisis con el Penetrometro, se observó que el uso de CTB presentaba valores más bajos de RP en todo el perfil en comparación al uso de PB, sin embargo al observarse los rendimientos se denota que no fueron valores lo suficientemente altos como para afectar el desarrollo del cultivo.

Índice de contenido

I. Introducción	8
1.1 Justificación.....	10
1.2 Planteamiento del problema.....	11
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
1.4 Hipótesis.....	13
II. Marco Teórico.....	15
2.1 Agricultura de Conservación.....	15
2.2 Agricultura de conservación en sistemas de riego.....	18
2.3 Calidad de suelo.....	20
2.4 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	23
2.5 Rentabilidad.....	24
III. Materiales y métodos.....	26
3.1 Caracterización del sitio experimental.....	26
3.2 Descripción del ensayo de sustentabilidad a largo plazo.....	26
3.3 Parámetros de medición del cultivo.....	31
3.3.1 Conteo de plantas.....	31
3.3.2 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	32
3.3.3 Rendimiento y componentes de rendimiento.....	33
3.4 Parámetros de medición del suelo.....	34
3.4.1 Estructura del suelo.....	34
3.4.2 Tiempo de encharcamiento.....	36
3.4.3 Resistencia a la penetración.....	37
3.5 Análisis de rentabilidad.....	38
IV. Resultados	39
4.1 Parámetros de medición del cultivo.....	39
4.1.1 Conteo de plantas.....	39
4.1.2 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	41
4.1.3 Rendimiento.....	45
4.2 Parámetros de medición del suelo.....	46
4.2.1 Tiempo de encharcamiento.....	46
4.2.2 Resistencia a la penetración.....	48
4.2.3 Estructura del suelo.....	50

4.3 Rentabilidad.....	53
V. Discusiones.....	55
5.1 Parámetros de medición del cultivo.....	55
5.1.1 Conteo de plantas.....	55
5.1.2 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	56
5.1.3 Rendimiento.....	58
5.2 Parámetros de medición del suelo.....	59
5.2.1 Tiempo de encharcamiento.....	59
5.2.2 Resistencia a la penetración.....	60
5.2.3 Estructura del Suelo.....	61
5.3 Rentabilidad.....	63
VI. Conclusión.....	65
VII. Literatura citada.....	67

Índice de tablas

Tabla 1. Tratamientos experimentales.....	27
Tabla 2. Arreglo de parcelas.....	28
Tabla 3. Fechas de aplicación de los riegos.....	30
Tabla 4. Fecha de conteo de plantas.....	31
Tabla 5. Fechas de mediciones de NDVI.....	33
Tabla 6. Cosechas de trigo ciclo 2012-2013.....	34
Tabla 7. Muestreo de suelo para medición de parámetros de estructura.....	35
Tabla 8. Fecha de medición del tiempo de encharcamiento (TTP).....	37
Tabla 9. Fecha de medición de resistencia a la penetración.....	37
Tabla 10. Agrupamiento de los tratamientos para el análisis de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) en base a la fecha de siembra.....	41
Tabla 11. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en el Diámetro medio ponderado (MWD) de los agregados en tamizado en seco y húmedo en distintos sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.....	52

Índice de figuras

Figura 1. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en la emergencia de trigo en sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.....	40
Figura 2. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) de todos los tratamientos a lo largo del ciclo (DAS).	42
Figura 3. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) respecto a los días después de siembra en el grupo 1.	43
Figura 4. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) respecto a los días después de siembra en el grupo 2.	44
Figura 5. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) respecto a los días después de siembra en el grupo 3.	44
Figura 6. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en el rendimiento de trigo en sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.....	46
Figura 7. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en el tiempo de encharcamiento en sistemas experimentales de trigo con distintas rotaciones, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.	47
Figura 8. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en la resistencia a la penetración en sistemas experimentales de trigo en el ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.	50
Figura 9. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en los costos de producción en sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.....	53
Figura 10. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en los ingresos en sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.....	54
Figura 11. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en la rentabilidad de trigo en sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.....	54

I. Introducción

La agricultura tradicional en el Valle del Yaqui consiste en labrar el suelo antes de la siembra, provocando su deterioro el cual se refleja como la pérdida de productividad o de potencial de la tierra. Este proceso se inicia con la erosión y el abatimiento de materia orgánica por uso continuo y el nulo ejercicio de prácticas sustentables. Los principales factores que afectan la erosión del suelo son: el impacto de las gotas de lluvia al caer, falta de cubierta vegetal, desintegración de agregados del suelo, abrasión y transporte de partículas por escurrimiento del agua (Galeana, 1999).

Según la FAO la Agricultura de Conservación (AC) es un concepto para el manejo de agro-ecosistemas para una productividad mejorada y sostenible, mayor rentabilidad económica y seguridad alimentaria, conservando y reforzando al mismo tiempo los recursos naturales del medio ambiente (FAO, 2012). La AC cuenta con 3 principios fundamentales los cuales son perturbación mínima del suelo (sin labranza), cobertura del suelo con los residuos del cultivo anterior y la rotación de cultivos. Promoviendo así la agricultura sustentable, entendiendo a ésta como la que optimiza el uso y conservación de los recursos del sistema de producción y mejora la economía de los agricultores (CIMMYT, 2012).

En la región del Valle del Yaqui el cultivo de mayor importancia es el trigo (*Triticum durum L.*) con 123,541 hectáreas de las 164,197 hectáreas que se sembraron en el ciclo otoño-Invierno 2012-2013 (DDR 148, 2012). Distintas especies han sido adaptadas a las condiciones de suelo y clima del valle pero ninguna ha prevalecido y manteniendo una superficie de cosecha constante como el trigo, por lo que su producción ha sido por mucho tiempo un eje de la economía regional. La preferencia del trigo duro o cristalino sobre el harinero

en la región se debe al alto potencial de rendimiento, aceptación por el mercado de exportación, tolerancia a carbón parcial y roya de la hoja.

En la producción de este cereal el costo más significativo es generado por el uso de maquinaria y manejo de suelo, SAGARPA en el ciclo 2009-2010 estimo que la labranza representa un 14% de los costos totales (SAGARPA, 2009). Además de los costos ocasionados por el uso de maquinaria, el impacto producido por las emisiones de gases derivadas del consumo de combustibles fósiles principalmente el dióxido de carbono contribuyen a el efecto invernadero (Maqueda *et al.*, 2005). La guía técnica para los cultivos del área de influencia del Campo Experimental Valle del Yaqui (CEVY, 2001), así como la guía para producir trigo (Camacho *et al.*, 2002), establecieron que la labranza (subsuelo, barbecho, rastreo o nivelación) tiene como propósito dar las condiciones óptimas para la siembra y producción del cultivo, lógicamente cada actividad tiene un costo económico y ambiental, siendo una opción viable la utilización de camas permanentes para eliminar esas actividades y sus efectos (Sayre y Hobbs, 2004).

La paja de trigo que queda después de la cosecha es usualmente un problema para los agricultores debido a las pocas alternativas que existen para su manejo. Los agricultores a menudo realizan malas prácticas como la quema, la cual provoca una gran cantidad de efectos negativos por ser una fuente de contaminación e intoxicación. Sin embargo la Agricultura de Conservación nos ofrece una alternativa para el manejo de paja utilizándola como cobertura en la superficie del suelo.

La rotación de cultivos es otro factor importante en la producción; la utilización de un monocultivo afecta la fertilidad de los suelos, aparición de plagas y enfermedades (Díaz *et al.*, 2004). Las rotaciones pueden causar cambios en las poblaciones de malezas las cuales pueden suprimirse con la competencia de cultivos o con el uso de herbicidas selectivos (Morales y Martínez, 2012).

Para encontrar la solución a estos problemas mencionados en la agricultura actual de la localidad, se realizarán diversos experimentos a fin de evaluar los sistemas de labranza convencional y de labranza de conservación. En el Campo Experimental de CIMMYT ubicado en Ciudad Obregón, Sonora, México. Donde se trabajará en distintos tratamientos de labranza, rotación de cultivos y manejo de paja. Con la finalidad de evaluar los efectos que tienen en rendimiento de trigo, rentabilidad y calidad de suelo.

1.1 Justificación.

El enfoque de este proyecto es investigar el efecto que tienen los principios de la agricultura de conservación sobre el rendimiento, rentabilidad y calidad de suelo en sistemas de trigo en el Valle del Yaqui, comparándolo con la agricultura convencional.

Los resultados que se obtengan en esta investigación serán una valiosa herramienta para entender la importancia de la agricultura de conservación en la producción de trigo a fin de obtener mayores rendimientos de grano, minimizar la labranza, reducir costos operacionales y a su vez disminuir el impacto de los contaminantes emitidos al medio ambiente producidos por el uso excesivo de maquinaria, destacando los 3 principios fundamentales de agricultura de conservación.

1.2 Planteamiento del problema.

Hoy en día la sociedad debe entender que la agricultura no solo debe ser producción con altos rendimientos, sino que además se debe buscar la sustentabilidad manteniendo los suelos saludables evitando la degradación por el uso de agricultura intensiva (Reynolds y Borlaug, 2006), por lo que los agricultores deben entender la importancia de las practicas que se realizan en el campo.

La utilización de maquinaria representa una gran parte de los costos de producción, derivado de la cantidad de actividades que se realizan para labrar el suelo, además del costo de inversión para adquirir maquinaria para cada trabajo específico. En la labranza mínima las camas permanentes son reformadas al inicio del ciclo solo en caso de ser necesario, eliminando así gran parte de los costos por laboreo. De esta manera se ahorra en uso de maquinaria, combustible y tiempo (Sayre y Hobbs, 2004).

Con las practicas convencionales que comúnmente se realizan en la localidad se promueve la erosión del suelo al usarse el arado removiendo la capa superficial del suelo en cada ciclo de cultivo, provocando el desprendimiento de las partículas de suelo; dejando al suelo expuesto al efecto directo del viento y del agua, promoviendo así la erosión (Betancourt, 2004).

La labranza afecta negativamente la materia orgánica y la estructura del suelo provocado por el movimiento y pulverización, acelerando la descomposición de la materia orgánica afectando así las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Arshad, 1999). Por lo que la adopción de la agricultura de

conservación no solo nos beneficia en la producción sino que además en el aspecto ambiental, beneficiando al suelo a largo plazo.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General

Determinar el efecto y rentabilidad de las diferentes prácticas de labranza, manejo de residuos de paja y rotación de cultivos sobre el rendimiento de producción en trigo y el impacto que tienen en el suelo, con el fin de identificar la práctica de manejo más rentable con menor impacto en el medio ambiente.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Determinar los efectos de manejo de rastrojo, rotación de cultivos y la utilización de camas permanentes en la calidad de suelo (infiltración, agregación, resistencia a la penetración).

- Evaluar el efecto de los diferentes sistemas de producción sobre el desarrollo del cultivo con el uso del sensor NDVI (GreenSeeker).
- Evaluar el efecto de los distintos sistemas agronómicos sobre la producción de grano.
- Evaluar el efecto de los distintos sistemas de producción sobre la rentabilidad para el productor.
- Hacer una recomendación para los productores del Valle del Yaqui.

1.4 Hipótesis.

- El uso de camas permanentes, rotación de cultivos y retención de rastrojo, favorecerá a una mejor calidad de suelo en los aspectos de infiltración, agregación y resistencia a la penetración.
- La utilización de paja como cobertura del suelo en las camas permanentes retardará el crecimiento de la planta al inicio del ciclo respecto a las camas convencionales.
- El rendimiento será mayor en los sistemas con camas permanentes que los que cuentan con camas convencionales.
- Los sistemas con camas permanentes, retención de rastrojo, rotación de cultivos ofrecerán una mayor rentabilidad a los productores.

- El sistema de rotación trigo en invierno – Maíz de verano, utilizando camas permanentes y retención parcial de paja será la mejor opción para la adaptación en el Valle del Yaqui.

II. Marco Teórico

2.1 Agricultura de Conservación.

El término Agricultura de Conservación fue definida por primera vez en el 2001 en Madrid España, esta cuenta con tres principios fundamentales: Utilización de camas permanentes, retención de paja como cobertura de suelo y rotación de cultivos; mismas que son principales diferencias con los sistemas de producción agrícola convencionales (FAO, 2002). En México se siembran aproximadamente 650 mil hectáreas empleando agricultura de conservación representando un 3.25% de la superficie cosechada (Claveran-Alonso *et al.*, 2001).

Su principal objetivo es mantener y mejorar los rendimientos de los cultivos, favorecer la reacción del suelo contra la sequía y otros riesgos, así como estimular y proteger su funcionamiento biológico (FAO, 2002); esto último promovido por la lenta descomposición que sufre la materia orgánica dejada como cobertura que se convierte en un humus, provocando que el suelo se convierta en un sistema vivo y dinámico (Landers, 2007). A menudo los agricultores siembran cultivos denominados de cubierta para proteger el suelo, estos proporcionan diversos beneficios un ejemplo de ello son las leguminosas que aportan elementos nutritivos al suelo, mientras que otros que cuentan con raíces fuertes y profundas aflojan los suelos compactos (FAO, 2000).

La agricultura de conservación ha tenido gran aceptación en países como Brasil y Paraguay en donde se ha estado trabajando en los últimos 30 años; la adopción de este sistema fue propiciado debido a que en el verano sufren de lluvias con gran poder erosivo y de muy alta intensidad, las cuales causan

serios daños (Shaxson y Barber, 2005) y que con agricultura de conservación estos efectos se ven reducidos con la cubierta de residuos que actúa como barrera que frena el flujo de agua, dando más tiempo a la infiltración evitando así la erosión (Verhulst *et al.*, 2011a).

La utilización de agricultura de conservación afecta significativamente el contenido de materia orgánica en el suelo, obteniéndose valores superiores a la labranza convencional. Salinas *et al.* (2005) reportaron un mayor contenido de materia orgánica en un sistema de producción de frijol donde se implementaba labranza cero, esto a causa de que no hubo reincorporación de los residuos en el suelo, así evitándose una descomposición acelerada, promoviendo un ambiente menos oxidativo.

Los trabajos de maquinaria afectan de diversas maneras la producción de un cultivo, enfocado desde el punto de vista económico, las actividades realizadas en el campo se ven expresadas en costos de producción; además los implementos tradicionales (arado de discos o de vertederas) tiene un efecto negativo en el suelo debido a que los han demostrado ser una posible causa de erosión, compactación y pérdida de humedad (Navarro *et al.*, 2000).

A continuación se muestran las ventajas y desventajas de la agricultura de conservación

Ventajas de la agricultura de conservación.

Desde el punto de vista ecológico al minimizar la utilización de maquinaria se deja de emitir gran cantidad de gases de efecto invernadero derivado del uso de combustibles fósiles en tractores. La reducción de labranza es propiciada por la utilización de camas permanentes y el uso de siembra directa. Karlen *et*

al. (1994) mostro que el uso de labranza cero en combinación con los rastros mejoran la agregación de la superficie del suelo.

La utilización de rastrojo como cobertura del suelo tiene una gran cantidad de bondades en las que destaca la disminución de la erosión provocado por disminución de la velocidad de desplazamiento del agua formando pozas superficiales permitiendo que el agua permanezca sin moverse y por consiguiente tenga mayor tiempo para infiltrarse en el perfil de suelo (Bustamante, 2005); a su vez se evita que las gotas de lluvia impacten directamente al suelo desnudo, esto conlleva al aumento de la infiltración al verse contrarrestada la erosión por gotas de lluvias mismas que disgregan partículas de tierra provocando taponamientos en el suelo (Morgan, 1997).

Los rastros que cubren el suelo evitan el impacto de los rayos del sol con la superficie, provocando que se tenga una menor temperatura en el suelo cubierto a diferencia de la superficie desnuda, lo que favorece prolongación de la humedad por más tiempo (Novelo, 2000). El rastrojo sirve como fuente de energía proveyendo alimento y nutrientes a los organismos como lombrices, artrópodos y microorganismos presentes en el suelo, los cuales participan en la labranza biológica del suelo. El uso de cultivos de raíces profundas y agentes biológicos (lombrices de tierra, etc.) también puede ayudar a aliviar la compactación bajo sistemas de labranza cero (Hobbs *et al.* 2008).

La utilización de rotación de cultivos es una opción viable para un buen control de malezas, plagas y enfermedades interrumpiendo sus ciclos (Govaerts y Chocobar, 2012); a su vez ayuda una distribución más adecuada de los nutrientes en el perfil del suelo mejorando sus características físicas y químicas. Al aumentar la diversidad de la producción, se limita el proceso de degradación y se mantiene la calidad del suelo (Morales y Martínez, 2012). Se tiene un sistema de raíces producidos por las distintas plantas, los cuales funcionan como agentes aglutinantes de los agregados (Six *et al.* 2004,

Thomas *et al.* 1993). La sucesión de cultivos debe ser de tal manera que se deje en promedio 6 t/ha de materia seca de residuos para poder tener una cobertura de paja uniforme en el suelo (Landers, 2007).

Desventajas de la agricultura de conservación.

Los principales inconvenientes al momento de realizar la transición de agricultura convencional a de conservación es la carencia de conocimientos, adaptar/cambiar la maquinaria para labranza mínima, dependencia parcial del uso de herbicidas en los primeros ciclos de adaptación ocasionando un aumento en el consumo de productos agroquímicos para control de malezas provocando una contaminación en el ambiente y aumento de costos, sin embargo con el paso del tiempo la proliferación de maleza se ve reducida por efecto de la cobertura de paja en suelo disminuyendo el uso de herbicidas (FAO, 2013a).

2.2 Agricultura de conservación en sistemas de riego.

En el Valle del Yaqui a principios de 1978 se comenzó el esfuerzo de inducir a los agricultores de sembrar en camas y el uso de riego en surcos; con la finalidad de cambiar el método de riego por inundación. En el año de 1981 solo el 6% de los agricultores habían optado por cambiar de tecnología, sin embargo esta cifra cambio 15 años después pasando a un 90% (Aquino *et al.*, 2008), actualmente el Valle del Yaqui cuenta con 255,000ha de irrigación (Sayre y Hobbs, 2004).

La utilización de sistemas de riego combinado con el uso de camas tiene las siguientes ventajas: reducción de costo, disminuye consumo de agua de riego,

se facilita el acceso al predio pudiéndose utilizar maquinaria para el control de maleza, plagas y fertilización (Aquino *et al.*, 2008).

Los rendimientos en cultivos donde se hace uso de sistemas de riego con camas convencionales se ven afectados positivamente teniendo un aumento del 8%, con la ventaja de que se ve disminuido el uso de agua y los costos de operación en aproximadamente un 25%, comparado con suelos planos donde se utiliza riego por inundación (Sayre y Hobbs, 2004).

Una vez mejorados los sistemas de siembra el paso obligado es lograr su sustentabilidad siendo la agricultura de conservación una gran alternativa para preservar los suelos. Por lo que en el año de 1992 el Dr. Ken D. Sayre del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) comenzó un experimento de larga duración donde se empleaba la tecnología de agricultura de conservación comparada con la agricultura convencional. Este contaba con distintos tratamientos para los residuos de cultivos, con camas permanentes eran solamente reformadas al inicio del ciclo para ser reutilizadas a diferencia de la labranza convencional donde se forman cada ciclo; además contaba con rotación de cultivos teniendo trigo por el invierno acompañado con maíz o soya en verano (Sayre y Hobbs, 2004).

La aplicación de agricultura de conservación en sistemas de riego beneficia de distintas maneras las propiedades del suelo. Verhulst *et al.* (2011b) reportó que el tiempo de encharcamiento se ve favorecido, propiciando una mejor infiltración ocasionado por los residuos de paja que son dejados suelo los cuales sirven como barreras para el agua, reduciendo la velocidad de escorrentía provocando un mayor tiempo de infiltración.

La combinación de labranza cero, siembra en surco y buena nivelación en cultivos de arroz en Pakistán provoca que las plantas tengan un mejor soporte,

tengan un crecimiento uniforme y mayor rendimiento. El uso de labranza cero al disminuir la perturbación del suelo, reduce la necesidad de realizar una nivelación futura; además agricultores Pakistanís que usaron estas prácticas reportaron un ahorro de agua del 25-30% gracias a que cosechando el arroz es posible realizar la siembra de trigo y que este germine con la humedad residual, evitando el riego de presembrado para la germinación, reduciendo el consumo de agua alrededor de 1000m³/ha de agua (Bouman *et al.* 2002).

El uso de residuos de arroz en conjunto con la labranza cero tiene un efecto positivo en el rendimiento de trigo y ahorro de tiempo de riego, teniendo un aumento en el rendimiento de casi una tonelada por hectárea, reducción en el tiempo de riego de hasta 24 horas y disminuyendo la incidencia de maleza a la mitad en comparación con las prácticas convencionales en ensayos con agricultores cooperantes en Uttar Pradesh, India (Bouman *et al.* 2002).

2.3 Calidad de suelo.

El suelo es el componente central del agrosistema, en él se aloja el cultivo desde su siembra hasta que su cosecha. Este proveen los servicios de regulación del ciclo hidrológico, sustrato físico para las plantas, recepción de desechos orgánicos e inorgánicos, regulación de los ciclos biogeoquímicos, etc. (Daily, 1997), por lo que es importante conocer su participación en el proceso de producción para así evitar su degradación con la finalidad de mantener sus propiedades. Para evaluar su sustentabilidad es necesario definir su calidad la cual incluye 3 aspectos importantes: la primera es la productividad la cual es la habilidad del mismo para que el cultivo obtenga buenos

rendimientos sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas, el segundo aspecto es la salud en referencia a la capacidad del suelo para producir alimentos sanos y nutritivos, por último la calidad medioambiental siendo la capacidad del suelo para atenuar los contaminantes, patógenos y evitando la propagación exterior del sistema (Manson *et al.*, 2008); Por lo tanto un buen suelo es aquel que puede mantener alta productividad sin ser degradado, con niveles estables de diversidad y actividad biológica.

La calidad del suelo depende de varios factores como la estructura del suelo que se define como el arreglo y organización que tienen las partículas constituyentes; el cual está influenciado por el contenido de la materia orgánica y las prácticas de manejo de suelo determinarán su agregación (Borie *et al.*, 2008). La estructura tiene un efecto en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo en casos determinados un factor limitante en la producción debido a que una estructura desfavorable acarrea problemas con la humedad, aireación, disponibilidad de nutrientes, baja actividad microbiana, impedimento de desarrollo de raíces, etc. Caso contrario una estructura favorable permite que los factores de crecimiento actúen eficientemente y obtengan los mayores rendimientos en la cosecha (Méndez, 2007).

La distribución de las partículas afecta la estabilidad estructural condicionando la tendencia de las partículas a unirse entre sí. Los suelos arenosos tienen muy poca facilidad para los agregados comparado un suelo arcilloso, haciendo que en estos suelos sea más difícil lograr la estabilidad estructural.

La estructura en general no son partículas que se encuentran aisladas si no que se asocian con materia orgánica para formar agregados, mismas que influyen en las características físicas del suelo y en consecuencia es fundamental para la interpretación de las propiedades macroscópicas que estos exhiben (Muñoz y Ritter, 2005).

La labranza es uno de los factores que influye en los agregados teniendo un efecto favorable a corto plazo como el rompimiento de terrones, pero a largo plazo perjudican al suelo revolviendo, provocando generalmente un aumentando la oxidación de materia orgánica; de igual manera al utilizarse maquinaria pesada se propician la descomposición de los agregados, a su vez se produce la compactación (Brady, 1990). La utilización de cobertura de paja en el suelo reduce la descomposición de los agregados, protegiéndolos de los impactos de las gotas de lluvia y de la erosión (Limón-Ortega *et al.*2006).

La materia orgánica en el suelo se produce por la acumulación de partículas desintegradas y descompuestas de residuos vegetales y animales que se unen a las partículas minerales en gránulos siendo altamente responsables de la productividad del suelo; además son una fuente de fósforo, azufre y nitrógeno nutrientes esenciales para las plantas, siendo el principal agente que estimula la formación y estabilización de agregados (Brady, 1990).

La materia orgánica proporcionada por la cobertura de paja en agricultura de conservación es utilizada por los microorganismos como fuente de energía, asimismo protege a los agregados de la lluvia ayudando en su estabilidad la cual es de gran importancia ya que algunos agregados son susceptibles distintos factores como la lluvia y el arado.

Otro factor importante en el suelo son sus poros, los cuales se definen como la porción de suelo que es ocupada por aire y agua; su tamaño está determinado por el arreglo de las partículas sólidas y estos influyen en la adecuada aireación y resistencia de las raíces a expandirse.

Existen 2 tipos de poros: los microporos que son menores de 0.06mm de diámetro y los macroporos <0,06 mm. Los macroporos permiten fácilmente el flujo de aire y la percolación, caso contrario de los microporos que son

mayormente llenados con agua dificultando el flujo de entrada o de salida del suelo provocando que en el subsuelo se tenga una adecuada aireación para satisfacer las necesidades de las raíces o microbiológicas (Brady, 1990).

2.4 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).

El índice de vegetación es un parámetro que se utiliza para medir las masas vegetales de alta actividad fotosintética en sus fases fenológicas, calculándose a partir de la reflectancia de distintas longitudes de onda (Soria y Granados 2005). La reflectancia de un cultivo varía entre un rango del rojo visible ($\lambda=550-700\text{nm}$) y del infrarrojo de cercano ($\lambda=700-13000\text{nm}$) (Verhulst y Govaerts, 2010).

La cubierta vegetal absorbe la región visible del espectro electromagnético que es absorbida por los pigmentos de las hojas, reflejando en forma mínima el infrarrojo cercano, teniendo de esta manera un contraste espectral entre las bandas de rojo e infrarrojo cercano del espectro (Soria y Granados, 2005). El NDVI se calcula con las mediciones de la reflectancia de la onda de luz roja e infrarrojo cercano, definiéndose la ecuación de la siguiente manera:

$$\text{NDVI} = (R_{\text{NIR}} - R_{\text{Red}}) / (R_{\text{NIR}} + R_{\text{Red}})$$

Donde R_{NIR} es la reflectancia de la radiación del infrarrojo cercano y R_{Red} la reflectancia de la radiación del rojo visible (Verhulst y Govaerts, 2010).

Estos índices sirven para conocer el comportamiento del cultivo, cero indica que no existe una vegetación, las hojas con coloraciones que no son verdes

dan valores cercanos al cero mientras que valores cercanos al 1 en un rango 0.8-0.9 indica los valores de más alta densidad posible de hojas verdes (Yarlequé *et al.*, 2004). Esto nos permite predecir el rendimiento de los cultivos de manera anticipada a la cosecha para generar información que se pueda aprovechar oportunamente en la planificación y en el manejo agronómico, ya que existe una correlación entre el contenido de nitrógeno y la clorofila foliar del trigo (Verhulst y Govaerts, 2010), de esta manera es posible evaluar el efecto los distintos tratamientos en el desarrollo del cultivo, efectuando mediciones eventualmente a lo largo del ciclo.

2.5 Rentabilidad.

La agricultura de conservación tiene diversos beneficios en los costos de producción destacando el ahorro de combustible, mantenimiento, ahorro de tiempo, menor trabajo pesado, etc. Así mismo, se tiene un gasto energético notablemente menor en sistemas labranza mínima comparado con sistemas convencionales, donde este valor se ve reducido hasta aproximadamente la mitad al eliminarse trabajos de movimiento de suelo (Vuelta, 2011; Paneque *et al.*, 2006).

Al utilizar paja como cobertura se disminuye la cantidad de maleza que emerge en cada ciclo requiriéndose de esta manera un menor uso de agroquímicos para su control y así mismo se deja de contaminar el ambiente evitando daños como intoxicaciones, contaminación de agua, resistencia de la maleza, etc. (Najul y Anzalone, 2006).

Los rendimientos en sistemas donde se implementa agricultura de conservación se ven afectados positivamente comparado con los sistemas convencionales, especialmente en siembras de temporal donde el agua es la principal limitante para alcanzar altos niveles de producción; sin embargo con el uso de sistemas de riego este factor se ve descartado y la diferencia entre rendimientos entre agricultura de conservación y labranza convencional se ven minimizado, sin embargo al eliminarse las prácticas de labranza se gana tiempo que puede ser valioso a la hora de establecer un cultivo evitando de esta manera tener problemas con las fechas optimas de siembra (Verhulst, 2011b). Con esto se evidencia la importancia de la agricultura de conservación en la rentabilidad, sin contar los beneficios en el suelo aunado a una mayor disponibilidad de agua derivado del uso de coberturas ofreciendo al cultivo este recurso por mayor tiempo. Sin embargo al cambiar de agricultura tradicional a agricultura de conservación se producen costos derivados de las adaptaciones en la maquinaria, mismas que junto con la resistencia al cambio de una tecnología a otra son los principales problemas para la adaptación de la agricultura de conservación.

III. Materiales y métodos

3.1 Caracterización del sitio experimental.

El experimento se realizó en la estación de Investigación Centro Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), Ciudad Obregón, estado de Sonora, México (Lat. 27.29° N, Lon.109.55° W, 38 m snm). El suelo es arcilla arenosa común, Chromic Haplotorrert (Hyposodic Vertisol (Calcaric, Chromic)), bajo en materia orgánica (<1%) y ligeramente alcalino (pH 7.7). La temperatura media normal anual es de 24.7 °C, el promedio anual de lluvia es 384.1 mm; la cual es rebasada por la evaporación con un promedio anual de 2233.8 mm. Los principales meses de lluvia son de Julio a septiembre (1971-2000) (CNA, Servicio Meteorológico Nacional).

3.2 Descripción del ensayo de sustentabilidad a largo plazo.

El experimento a largo plazo comenzó el verano del 2005. El establecimiento del experimento consistió en el uso labranza con arado de cincel (2-3 veces), nivelación, preparación de las camas y siembra de sorgo en todo el ensayo, para después en el ciclo de invierno 2005/2006 comenzar con los tratamientos fijos. El experimento cuenta con distintos tratamientos de labranza, rotación de cultivos y manejo de paja, además posee sistema de riego por gravedad con un riego de presiembra y 4 riegos posteriores para trigo. El experimento cuenta con 17 tratamientos en un diseño estadístico de bloques aleatorios completos de 2 repeticiones con 3 submuestras por parcela. Los Distintos tratamientos experimentales y los manejos agronómicos se muestran en la tabla 1, la tabla 2 presenta un mapa del ensayo de sustentabilidad a largo plazo con las ubicaciones de los tratamientos particulares.

Tabla 1. Tratamientos experimentales

	Rotación	Labranza	Riego de siembra	Manejo de paja
<i>i</i>	Invierno – verano –			
<i>Trt</i>	invierno – verano			
#				
1	Trigo – nada	Cama – lab convencional	Trigo sobre mojado	Retener/incorporar toda la paja de trigo
2	Trigo – nada	Cama permanente	Trigo sobre mojado	Retener toda la paja de trigo
3 [#]	Cártamo– nada – Trigo – nada	Cama permanente	Trigo -cártamo sobre mojado	Retener toda la paja de los dos cultivos
4 ^{@^}	Trigo –Sorgo de grano Tipo 1*	Cama permanente	Sorgo en seco o sobre mojado Frijol sobre mojado	Retener paja de sorgo de grano.
5	Trigo – maíz – trigo – maíz	Cama – labranza convencional	Trigo sobre mojado Maíz en seco o sobre mojado	Retener/incorp. toda la paja de los dos
6	Trigo – maíz – trigo – maíz	Cama – labranza convencional	Trigo sobre mojado Maíz en seco o sobre mojado	Quemar toda la paja de los dos
7	Trigo – maíz – trigo – maíz	Cama permanente	Trigo sobre mojado Maíz en seco o sobre mojado	Retener toda paja de los dos
8	Trigo – maíz – trigo – maíz	Cama permanente	Trigo sobre mojado Maíz en seco o sobre mojado	Quemar toda la paja de los dos
9	Trigo – maíz – trigo – maíz	Cama permanente	Trigo sobre mojado Maíz en seco	Parcial Empacar la paja suelta de trigo Empacar la paja de maíz
10 [^]	Maíz – sorgo de grano Tipo 2 – garbanzo – nada	Cama permanente	garbanzo sobre mojado; maíz y sorgo en seco o sobre mojado	Retener todo la paja de los tres
11 [^]	Garbanzo – nada – maíz – sorgo de grano Tipo 2	Cama permanente	Garbanzo sobre mojado; maíz y sorgo en seco o sobre mojado	Retener todo la paja de los tres
12 [^]	Maíz – sorgo de grano Tipo 1 – trigo – nada	Cama permanente	Trigo sobre mojado; maíz, y sorgo en seco o sobre mojado	Retener toda la paja de los tres
13	Trigo – nada – maíz – sorgo de grano Tipo 1	Cama permanente	Trigo sobre mojado; maíz, y sorgo en seco o sobre mojado	Retener toda la paja de los tres
14	Trigo – maíz - garbanzo – maíz	Cama permanente	Trigo y garbanzo sobre mojado; maíz en seco o sobre mojado	Retener toda la paja de los tres
15	Garbanzo – maíz – trigo – maíz	Cama permanente	Trigo y garbanzo sobre mojado; maíz en seco o sobre mojado	Retener toda la paja de los tres
16	Trigo– nada – cártamo – nada \$	Cama permanente	Trigo-cártamo sobre mojado	Retener toda la paja de los dos
17	Alfalfa **	Cama permanente	Sobre mojado	Cortes para forraje

- Inicialmente fue trigo en el invierno del 2005/06 y maíz en el verano del 2006. Fue modificado en el otoño del 2006 y 2007

@ - Inicialmente fue Cebada forrajera - Sorgo para grano - Cebada forrajera - Sorgo para grano. Fue modificado en el otoño del 2006 y 2007

\$ - Inicialmente fue Canola en lugar de cártamo; inicio cártamo en 2007/08

* - Se cambió a trigo en 2009/10 antes frijol

** Se cambió en 2010-11

^ Hasta el verano de 2010 el TRT 4 y 12 fueron sembrados con sorgo de grano normal ('tipo 1') y los TRT 10 y 11 con sorgo de grano anti-pájaro ('tipo 2'. A partir del verano 2011 se usa la misma variedad en todos los tratamientos con sorgo (normal).

Tabla 2. Arreglo de parcelas.

Ab217 EFECTO DE LABRANZA, MANEJO DE PAJA Y ROTACION EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS CULTIVOS																N		
131 mts	2301	2306	2305	2309	2312	2303	2308	2315	2311	2317	2302	2316	2314	2307	2310	2313	2304	15 mts
	2201	2206	2205	2209	2212	2203	2208	2215	2211	2217	2202	2216	2214	2207	2210	2213	2204	
	2101	2106	2105	2109	2112	2103	2108	2115	2111	2117	2102	2116	2114	2107	2110	2113	2104	
				C			A			N			A			L		
131 mts	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	43.3 mt
	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	
	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	
6 mts																		

La variedad de Maíz de invierno es Garañón mientras que la de verano es H431, el sorgo de grano es Ámbar, el garbanzo es variedad blanco Sinaloa, el Cártamo es CIANO OLEICO y la Alfalfa es Genex 9890. La variedad de trigo del ciclo de cultivo (2012 – 2013) es Movas C2009, una variedad de trigo duro (*Triticum durum* L.) con resistencia a la roya de la hoja (*Puccinia recondita*) enfermedad de mayor importancia económica e histórica en México y a un gran número de razas de roya de tallo (*Puccinia graminis* Pers.:Pers.f.sp. *tritici* Eriks. y E. Henn.) (Félix-Fuentes et al., 2011).

La tasa de semilla utilizada en trigo es de 120 kg/ha; el maíz de invierno y de verano se siembra con una densidad de 8-10 semillas por metro, el garbanzo es sembrado a 100kg/ha, el sorgo 15 kg/ha, el cártamo a 10-15 kg/ha y la alfalfa a 15-20 kg/ha. Los cultivos de maíz, sorgo, garbanzo y cártamo son sembrados a 1 hilera, el trigo a 2 hileras y la alfalfa de 2 y 3 hileras, utilizando camas de .80m.

Los tratamientos de trigo, cártamo, garbanzo, sorgo, maíz de verano y de invierno cuentan con una fertilización de 103 kg/ha N +52 kg/ha P₂O₅ basal en banda, mientras que en la alfalfa se aplica 70 kg/ha de N y 104 kg/ha P₂O₅ basal. Se aplica una segunda fertilización de N antes del primer riego de auxilio; para el trigo de 175 kg/ha, maíz de invierno 200 kg/ha, maíz de verano y sorgo 100 kg/ha. Los tratamientos de garbanzo, cártamo y alfalfa no cuentan con una segunda fertilización. El Nitrógeno aplicado como urea al fondo del surco es incorporado a través del riego.

El ciclo de siembra fue otoño-invierno 2012-2013 con las siguientes fechas de siembra: 3 de diciembre para tratamientos 2-3-8-9, 4 de diciembre 1-5-6, 7 de diciembre para 7-15 y 21 de diciembre para 4-12. La fecha de 50% de emergencia fue el día 10 de diciembre para tratamientos 2-3-8-9, 13 de diciembre para 1-5-6, 17 de diciembre 7-15 y el 31 de diciembre el 4-12.fecha

floración Se aplicó un riego de presembrado y 4 riegos de auxilio durante todo el ciclo del cultivo, en la tabla 3 se muestra la fecha de riego de los tratamientos.

Tabla 3. Fechas de aplicación de los riegos.

Fecha de Riego	Tratamientos
9 de noviembre	Parte sur presembrado
12 de noviembre	Parte norte presembrado
16 de enero	1-2-3-5-6-8-9 1er. riego
21 de enero	7-15 1er. riego
8 febrero	1-2-3-5-6-8-9 2do. riego
	4-12 1er. riego
13 febrero	7-15 2do riego
1 marzo	1-2-3-5-6-8-9 3er riego
	4-12 2do. riego
5 de marzo	7-15 3er. riego
20 marzo	1-2-3-5-6-8-9 4to. riego
	4 -12 3er. riego
25 marzo	7-15 4to. riego
8 abril	4-12 4to. riego

El riego de presembrado provoca que la maleza emerja antes de la germinación del cultivo, por lo cual se aplica un herbicida sistémico no selectivo para su control (04/12/08; Faena Fuerte®, Ingrediente activo: Glifosato, 2 l/ha). Para el cultivo de trigo se aplica un herbicida para control de hoja ancha (07/01/13 buctril®+starane®, ingrediente activo: bromoxinil y Fluroxípir respectivamente). Para el control del pulgón verde de la hoja (*Schizaphis graminum* Rond.) se realizó una aplicación (06/02/13 Muralla Max®, ingrediente activo: Betacyflutrin, 250ml/ha).

Los cultivos de maíz y sorgo se reciben 2 aplicaciones un insecticida granulado (Pounce 0.4G®, ingrediente activo: Permetrina 3-Fenoxibencil (1RS)-cis,trans-3-(2,2-diclorovinil)-2,2 dimetil ciclopropano carboxilato, 10kg/ha) para el control de gusano cogollero. El garbanzo recibe una aplicación de insecticida (Lorsban Advanced®, ingrediente activo: Clorpirifos etil, 1.5 l/ha) para control del gusano soldado.

3.3 Parámetros de medición del cultivo.

3.3.1 Conteo de plantas.

El conteo de plantas se realizó para conocer el número de plantas germinadas en un área. Se llevó a cabo con la utilización de un marco de 50 cm que es colocado en medio de las 2 hileras de trigo contados las plantas a ambos lados (40 cm²).

Se realizaron 6 mediciones por subparcela de manera aleatoria, siendo 16 por tratamiento, las mediciones se realizaron en los surcos 4 y 5, las fechas de conteo se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Fecha de conteo de plantas.

Fecha de conteo de plantas	tratamiento
17 de diciembre	2,3,8,9
21 diciembre	1,5,6,7,15
7 enero	4, 12

3.3.2 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).

El índice de Vegetación Diferencial Normalizado se medirá con el equipo The GreenSeeker® hand held data collection and mapping unit de la compañía NTech Industries Inc. Este equipo utiliza la reflectancia del cultivo para calcular el NDVI utilizando una iluminación en la banda roja (650 ± 10 nm) y la banda del infrarrojo cercano (Near Infrared, NIR, 770 ± 15 nm); midiendo la fracción de la luz emitida por la superficie y la que regresa al sensor (reflectancia), de esta manera el equipo calcula el NDVI con la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{F_{NIR} - F_{RED}}{F_{NIR} + F_{RED}}$$

Donde:

F_{NIR} = Fracción de NIR emitida y regresada por la superficie registrada.

F_{RED} = Fracción de la banda roja emitida y regresada por la superficie registrada.

Esta operación es realizada por el equipo a una velocidad muy alta (aproximadamente 1000 mediciones por segundo, promediando la salida una tasa de 10 lecturas por segundo). Las mediciones se realizaron semanalmente a lo largo de toda la temporada, comenzando 10 días después de haberse presentado una emergencia del cultivo mayor del 50%; en caso de haberse efectuado un riego se vieron detenidas las mediciones hasta que fuera posible el acceso al campo. Las toma de datos se realizó 3 veces en cada tratamiento (1 por subparcela), tomando como base el centro de las 2 hileras de trigo y considerando un largo total de 15m (12 m^2) la medición se realizó de tal manera que sensor estuviera a una altura perpendicular de .8 m sobre la superficie del cultivo, por lo que la posición de altura del sensor fue

incrementando conforme crecía el cultivo. La velocidad del recorrido de lectura fue de aproximadamente 1 m/s, obteniéndose lecturas de NDVI promediadas en distancias <.1m. Las fechas de mediciones se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Fechas de mediciones de NDVI.

Fecha de medición	tratamientos
21 de diciembre	1,2,3,5,6,7,8,9,15.
26 diciembre	1,2,3,5,6,7,8,9,15.
3 enero	1,2,3,5,6,7,8,9,15.
9 enero	Todos.
16 enero	Todos.
21 enero	4,7,12,15.
30 enero	Todos.
6 febrero	Todos.
13 febrero	7 -15.
20 febrero	Todos.
28 febrero	Todos.
4 marzo	7 -15.
13 marzo	Todos.
20 marzo	Todos.
25 marzo	7 -15.
3 abril	Todos.
8 abril	4 -12.
10 abril	1,2,3,5,6,7,8,9,15.
15 abril	4 -12.
22 abril	4 -12.

3.3.3 Rendimiento y componentes de rendimiento.

Se determinó el rendimiento con las muestras cosechadas de las 2 camas centrales considerándose un largo de 15m (12m²) en cada subparcela. Se determinó el peso seco del grano y el área de cosecha, para convertirse a peso de grano por hectárea a 12% de H₂O, además se midió el índice de cosecha, rendimiento de biomasa, rendimiento de rastrojo, peso de mil granos, numero

de granos por m² y peso hectolitrico. Las fechas de cosechas de trigo del ciclo 2012-2013 se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Cosechas de trigo ciclo 2012-2013.

Cosecha	tratamiento
30 mayo	1,2,3,5,6,8,9.
6 mayo	4,7,12,15.

3.4 Parámetros de medición del suelo.

3.4.1 Estructura del suelo.

La distribución del tamaño de los agregados y su estabilidad, son utilizados como un indicador para conocer la estructura del suelo; para determinar estos parámetros se utiliza el tamizado en seco (distribución del tamaño de agregados) y tamizado en seco (estabilidad de agregados) (Kemper y Rosenau, 1986).

3.4.1.1 Muestreo y preparación de las muestras.

El muestro se realizó después del segundo riego de auxilio (tabla 7), cuando el terreno estuvo en capacidad de campo. Se tomaron 6 muestras del perfil de 0-5 cm de profundidad en los surcos 3 y 6 de cada subparcela, para completar una

muestra compuesta representativa del terreno. El muestreo se realizó con una pala pequeña y se consideró solo el suelo que no haya tocado la pala, esto con el fin de no alterar las condiciones físicas del mismo. Las muestras se secaron a condiciones ambiente durante 7 días, una vez secas fueron tamizadas a 8mm.

Tabla 7. Muestreo de suelo para medición de parámetros de estructura.

Fecha de muestreo de suelo	tratamiento
6 de febrero	1,2,3,5,6,7,8,9,15.
13 marzo	4,12.

3.4.1.2 Tamizado en húmedo.

El tamizado en húmedo es uno de los métodos más ampliamente utilizados para evaluar la estabilidad estructural del suelo y sirve para determinar la estabilidad de los agregados al agua (Lobo y pulido, 2006). Consiste en tamizar la muestra en tamices con apertura de 4, 2, .25 y .053mm. Se deja humedecer la muestra en agua destilada durante 5 min, después se agitada con suavidad durante 2 minutos moviéndose de arriba a abajo 50 veces (distancia vertical ± 3 cm) en tamiz de 4mm y se repite esta última operación de agitación con los demás tamices. El retenido de los 4 tamices es secado en un horno por la noche (15hrs Aprox.) a una temperatura de 105°C y después pesado.

3.4.1.3 Tamizado en seco.

Consiste en tamizar una muestra representativa de 300g por seis tamices con distintas aperturas de 4, 2, 1, .5, .25, .053mm en un equipo agitador durante 5 min, Se pesan las fracciones que son retenidas (Kemper y Chepil, 1965; Limon-Ortega *et al.*, 2002) y se calcula el diámetro medio ponderado (Kemper y Chepil, 1965).

3.4.2 Tiempo de encharcamiento.

Se define como el tiempo necesario para que la lluvia sature la humedad del suelo hasta la superficie alcance la saturación; originando charcos y produciendo un flujo sobre la superficie (De la Lanza *et al.*, 2007). La medición del tiempo de encharcamiento se realizó 1-2 días antes del 3^{er} riego de auxilio (tabla 8). El método consiste en el uso de un aro de metal (diámetro de 40cm, área de 0.13m²) que se coloca sobre el suelo sin impedir el flujo del agua hacia su exterior. El agua es adicionada en el centro del aro con una regadera de jardín con la finalidad de simular una lluvia fuerte. La cantidad de agua utilizada es registra, junto con el tiempo se tomó para que el agua saliera del área delimitada por el aro.

Las mediciones se realizaron 8 veces, en solo 2 subparcelas siendo 4 veces por cada una, las mediciones se efectuaron en las camas 3 y 6.

Tabla 8. Fecha de medición del tiempo de encharcamiento (TTP).

Fecha de medición de TTP	tratamientos
27 febrero	1,2,3,5,6,8,9
4 marzo	7-15
20 marzo	4-12

3.4.3 Resistencia a la penetración.

La resistencia en la penetración del suelo es un indicador del nivel de compactación del suelo. Se midió en 2 subparcelas, 6 veces por cada una; se realizó en los surcos 3 y 6, de 1-2 días antes del 3er. riego de auxilio (tabla 9). La técnica consiste en medir el número de impactos que se necesitan para que la punta alcance las diferentes profundidades en intervalos de 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm y 45-60 cm de profundidad.

Tabla 9. Fecha de medición de resistencia a la penetración.

Fecha de medición de penetración	tratamiento
1 marzo	1,2,3,5,6,8,9
5 marzo	7 y 15
20 marzo	4-12

El número de impactos nos sirven para medir la resistencia a la penetración utilizando la fórmula:

$$R = \frac{N \times M \times x}{A \times P \times l}$$

Dónde: R es la resistencia a la penetración (P.a.), N el número de impactos, M la masa (5 kg), g la gravedad (9.81 m/s²), SD la distancia recorrida por la pesa (0.285m), A el área de la superficie de la cono (0.0013m²), PD la distancia penetrada (.15m).

3.5 Análisis de rentabilidad.

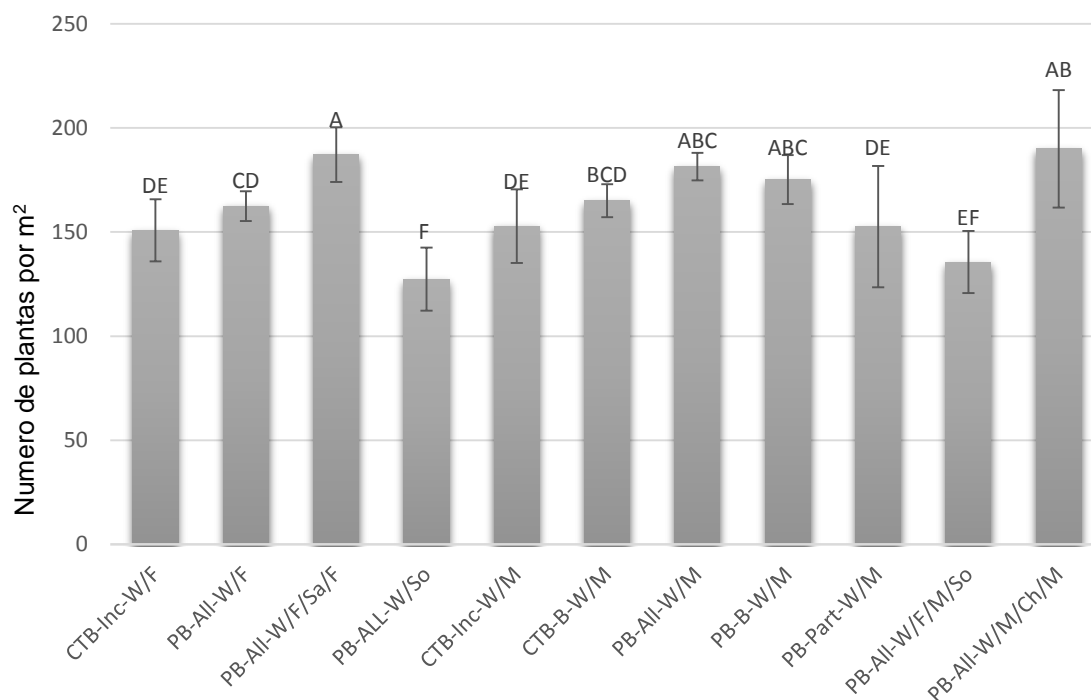
La rentabilidad se calculó en base a la diferencia entre las ganancias de los rendimientos obtenidos en los diferentes tratamientos menos los costos de producción de estos en un plazo de 2 años. Para conocer los costos de las actividades de labranza, insumos y el precio de los granos a la compra de los cultivos utilizados en el experimento, se utilizaron los datos proporcionados por Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) en su página web y distintas compañías locales distribuidoras de agroquímicos.

IV. Resultados

4.1 Parámetros de medición del cultivo.

4.1.1 Conteo de plantas.

En el análisis de cuantificación de plantas/m² se encontró una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los distintos tratamientos, observándose una densidad de plantas mayor de hasta un 25% en el mejor tratamiento que contaba con camas permanentes en comparación con el más bajo de camas de labranza, a excepción de los que tenían paja de sorgo como residuo del cultivo anterior (fig. 1).



Tukey $P \leq 0.05$

PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; So: sorgo; Ch: garbanzo; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; Part: retención parcial de residuos.

Figura 1. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en la emergencia de trigo en sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México

En el monocultivo de trigo camas permanentes tuvo mayor número de plantas por m^2 que en las camas convencionales, pero sin presentar diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Los tratamientos con rotación trigo-maíz que presentaron un número significativamente ($P \leq 0.05$) mayor de plantas/ m^2 son PB-ALL, PB-B y CTB-B este último no presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) de CTB-Inc. y PB-Part, habiendo una diferencia de 29 plantas/ m^2 entre el primero y último.

Los tratamientos con camas permanentes y retención total de paja que presentaron mayor número de plantas por m^2 son los que tenían rotación W/F/Sa/F, W/M/Ch/M y W/M, sin embargo este último no presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con el monocultivo de trigo; los tratamientos donde el sorgo fue el cultivo anterior presentaron los valores más bajos de número de

plantas por m², incluso significativamente ($P \leq 0.05$) menores en comparación con el monocultivo de trigo.

4.1.2 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).

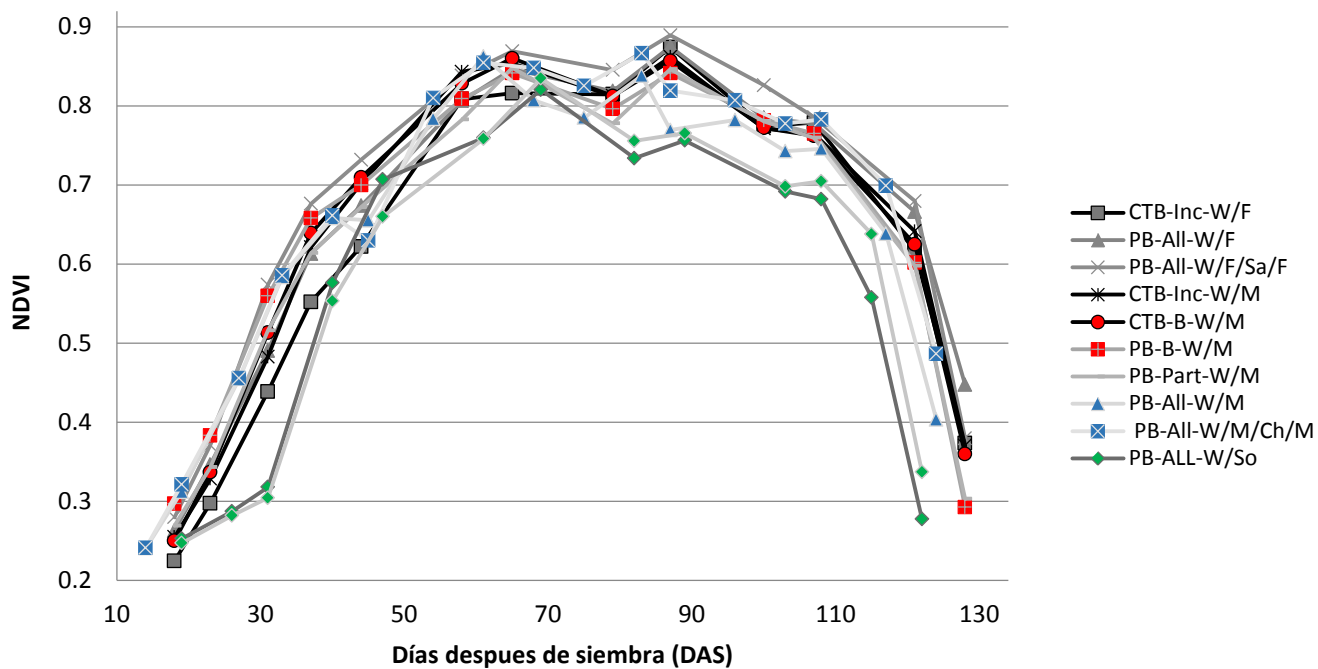
Para el análisis del desarrollo vegetativo del cultivo respecto al tiempo utilizando el sensor GreenSeeker, este análisis se realizó creando 3 grupos de tratamientos que contaban con las mismas fechas de siembra (tabla 10).

Tabla 10. Agrupamiento de los tratamientos para el análisis de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) en base a la fecha de siembra.

Grupo	Tratamientos
1	CTB-Inc-W/F PB-All-W/F PB-All-W/F/Sa/F CTB-Inc-W/M CTB-B-W/M PB-B-W/M PB-Part-W/M
2	PB-All-W/M PB-All-W/M/Ch/M
3	PB-ALL-W/So PB-All-W/F/M/So

PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; So: sorgo; Ch: garbanzo; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; Part: retención parcial de residuos.

El NDVI varía dependiendo de la etapa de i) desarrollo del cultivo, comenzando con la etapa vegetativa donde el cultivo crece y desarrolla su follaje, por lo que los valores del NDVI suben. En la etapa de ii) reproducción la planta empieza con el espigamiento y sus índices de NDVI son los más altos manteniéndose estables por un tiempo; la última etapa es la iii) madurez y senescencia de la planta, donde los valores de NDVI decrecen. En la figura 2 se muestra el comportamiento de todos los tratamientos a lo largo del ciclo.



PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; So: sorgo; Ch: garbanzo; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; Part: retención parcial de residuos.

Figura 2. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) de todos los tratamientos a lo largo del ciclo (DAS).

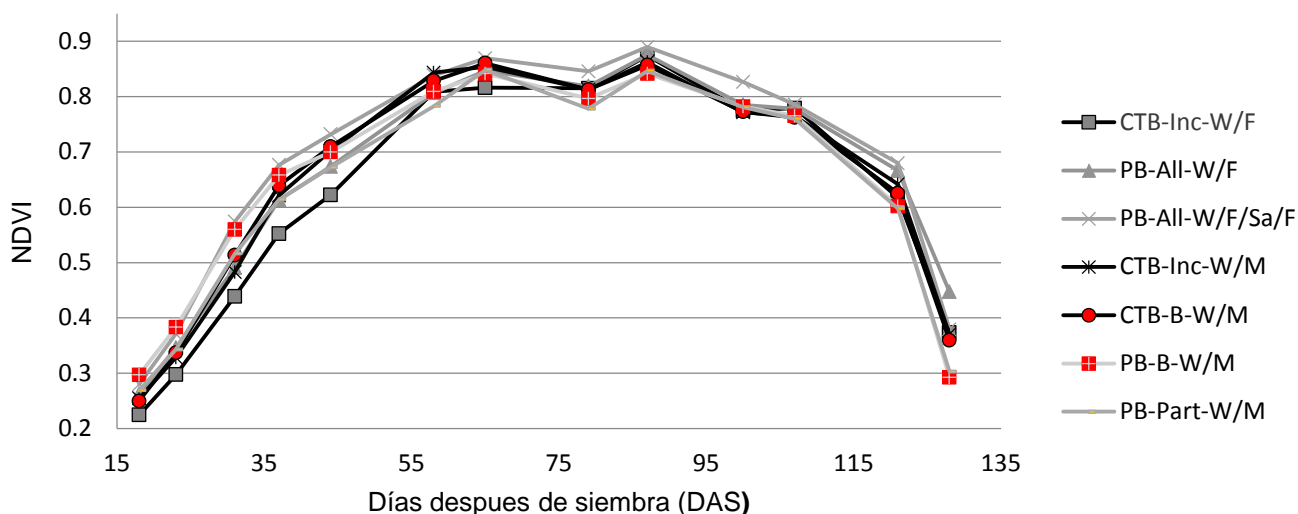
Grupo 1

El desarrollo del cultivo en los distintos tratamientos fue muy similar a lo largo del ciclo observándose la misma forma en las curvas de NDVI (fig. 3). En la fase de desarrollo vegetativo el tratamiento con NDVI más bajo fue monocultivo de trigo con labranza convencional, presentando un inicio más “lento” en comparación a los demás tratamientos. La rotación trigo-nada-cártamo-nada con camas permanentes tuvo los valores más altos de NDVI, sin embargo no hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre ningún tratamiento en esta etapa.

En la etapa intermedia del desarrollo hubo un reacomodo en cuanto al orden de mayor NDVI en comparación a la fase inicial. El tratamiento con el NDVI más alto y el más bajo se presentaron en los tratamientos con camas permanentes, el mayor fue la rotación trigo-nada-cártamo-nada con retención total de paja y

el menor la rotación trigo-maíz con retención parcial de paja, observándose solamente diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre estos 2 tratamientos.

En la fase final, en el comportamiento se observó ligeramente más variación en comparación con las etapas anteriores siendo el tratamiento el monocultivo de trigo con camas permanentes y retención total de paja el que obtuvo un valor más alto de NDVI, presentando diferencia significativa solamente de los tratamientos rotación trigo-maíz de camas permanentes con quema y retención parcial de paja.

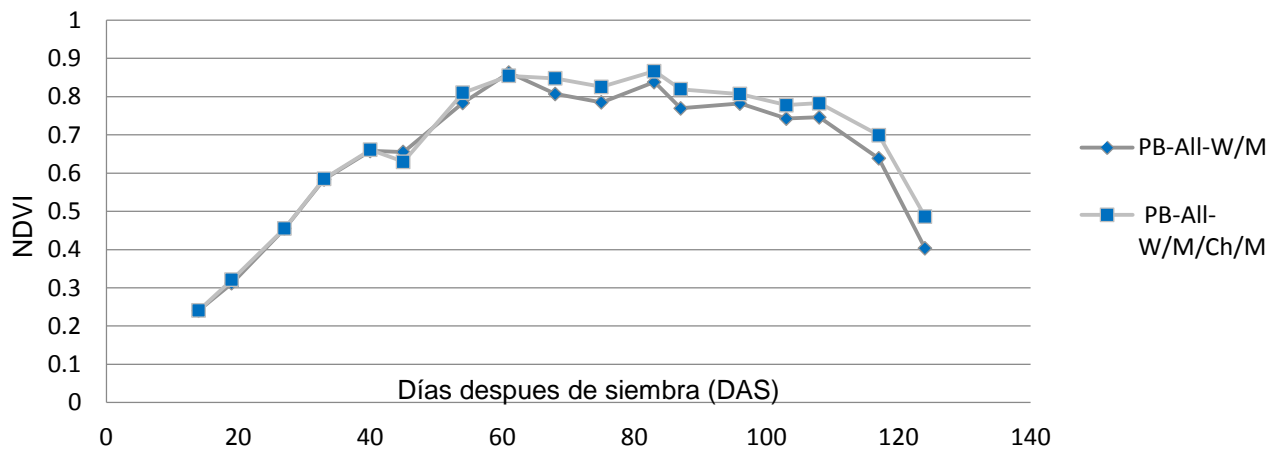


PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; Ch: garbanzo; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; Part: retención parcial de residuos.

Figura 3. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) respecto a los días después de siembra en el grupo 1.

Grupo 2

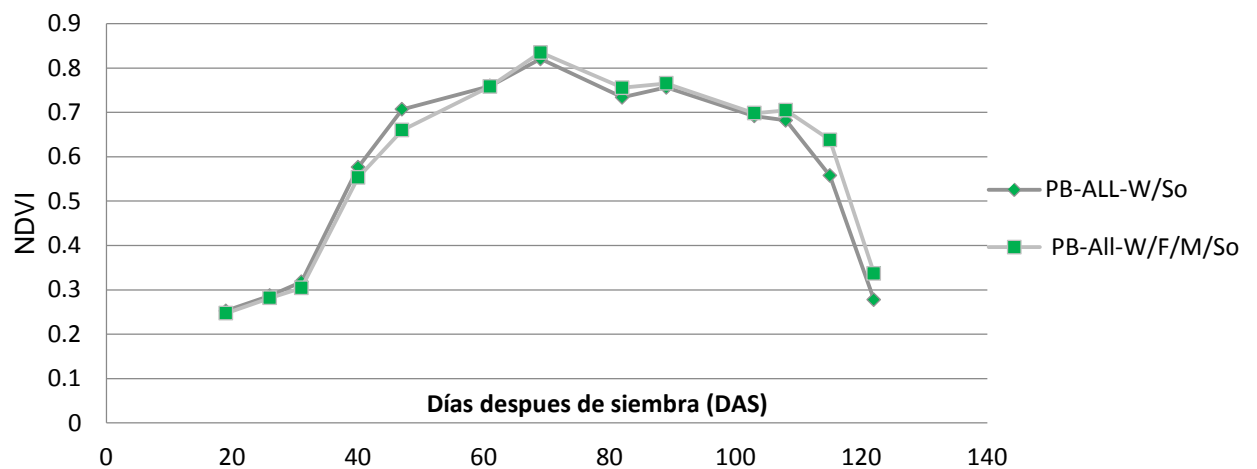
En la fase de desarrollo vegetativo de los tratamientos con camas permanentes y retención total de paja, la rotación trigo-maíz presentó un NDVI más alto que la rotación trigo-maíz-garbanzo-maíz. El NDVI fue mayor para la rotación trigo-maíz-garbanzo-maíz en las etapas de espigamiento y maduración (fig. 4), sin embargo no se encontró diferencia significativa entre ambos a lo largo del ciclo ($P \leq 0.05$).



PB: Camas permanentes; W: trigo; M: maíz; Ch: garbanzo; All: retención total de residuos en la superficie.
Figura 4. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) respecto a los días después de siembra en el grupo 2.

Grupo 3

En la fase de desarrollo vegetativo de los tratamientos con camas permanentes y retención total de paja, la rotación trigo-sorgo obtuvo mayor NDVI en comparación con el tratamiento trigo-nada-maíz-sorgo pero sin haber diferencia significativa ($P \leq 0.05$), en contraste en la fase intermedia y en la terminal la rotación trigo-nada-maíz-sorgo obtuvo mayor NDVI que la rotación trigo-sorgo (fig. 5), solamente teniéndose diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la parte final del ciclo.



PB: Camas permanentes; W: trigo; F: nada; M: maíz; So: sorgo; All: retención total de residuos en la superficie.

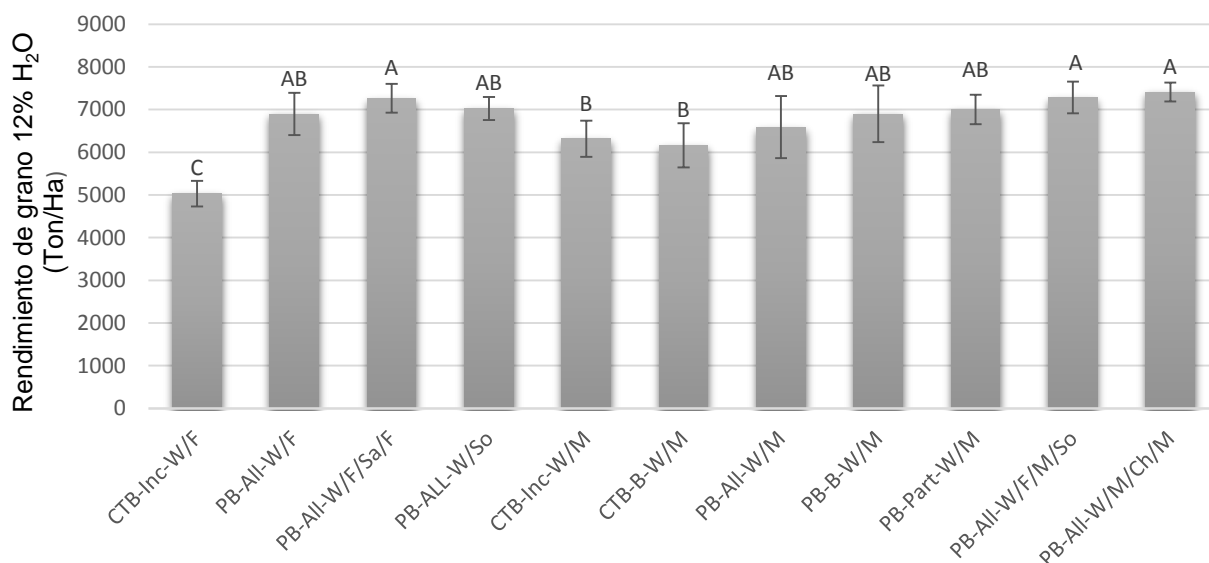
Figura 5. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) respecto a los días después de siembra en el grupo 3.

4.1.3 Rendimiento.

Los rendimientos obtenidos no presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos que contaban con camas permanentes, mientras que los de camas con labranza convencional si presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) donde hubo diversificación de cultivos o donde no se realizaba, obteniéndose mayor rendimiento en la rotación trigo-maíz.

El manejo de paja de los distintos tratamientos no fue un factor que influyera significativamente ($P \leq 0.05$) en el rendimiento, siendo el nivel de labranza y la rotación cultivos los que mostraron mayor efecto en el rendimiento.

El tratamiento con el rendimiento más alto lo presento con rotación trigo-nada-garbanzo-maíz, camas permanentes y retención total de paja con un promedio de 7.4 toneladas/hectárea, el rendimiento más bajo fue el tratamiento con monocultivo de trigo, camas con labranza y reincorporación de paja con un promedio de 5 toneladas/hectárea (fig. 6)



Tukey $P \leq 0.05$

PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; So: sorgo; Ch: garbanzo; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; Part: retención parcial de residuos.

Figura 6. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en el rendimiento de trigo en sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.

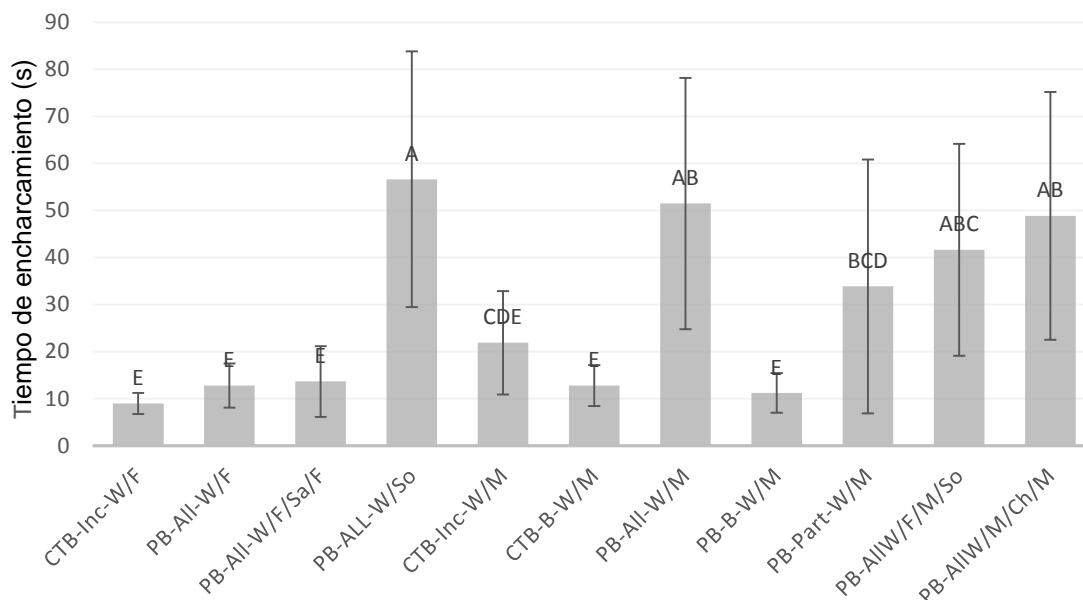
4.2 Parámetros de medición del suelo.

4.2.1 Tiempo de encharcamiento.

El tiempo de encharcamiento ("TTP") se vio afectado por el tratamiento labranza-rotación-residuos, observándose una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los distintos tratamientos (fig. 7).

El tiempo de encharcamiento fue superior en los tratamientos con camas permanentes, retención total de paja y parcial, a excepción del monocultivo de trigo y la rotación trigo-nada-cártamo-nada que presentaron valores

significativamente más bajos ($P \leq 0.05$), comparable a los valores obtenidos donde se realizaba labranza y los tratamientos con quema de residuos que tuvieron el menor TTP.



Tukey $P \leq 0.05$

PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; So: sorgo; Ch: garbanzo; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; Part: retención parcial de residuos.

Figura 7. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en el tiempo de encharcamiento en sistemas experimentales de trigo con distintas rotaciones, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.

El mayor valor de tiempo de encharcamiento fue obtenido por el tratamiento con camas permanentes, rotación trigo-sorgo y retención total de la paja con un promedio de 56.6s, el resultado más bajo se presentó al usar camas convencionales, monocultivo de trigo y reincorporación de paja con un promedio de 8.9s.

El tiempo de encharcamiento en los tratamientos con camas convencionales, no se ve afectado significativamente ($P \leq 0.05$) por el manejo de paja, ni por la diversificación de cultivos, mas sin embargo si se ve un aumento al realizarse la rotación de cultivos.

La retención total o parcial en tratamientos trigo-maíz con camas permanentes provocó valores significativamente ($P \leq 0.05$) más altos en el tiempo de encharcamiento con 51.4s y 33.8s respectivamente, en comparación con la quema que es la práctica de manejo de paja que presentó menor tiempo de encharcamiento con 11.2s.

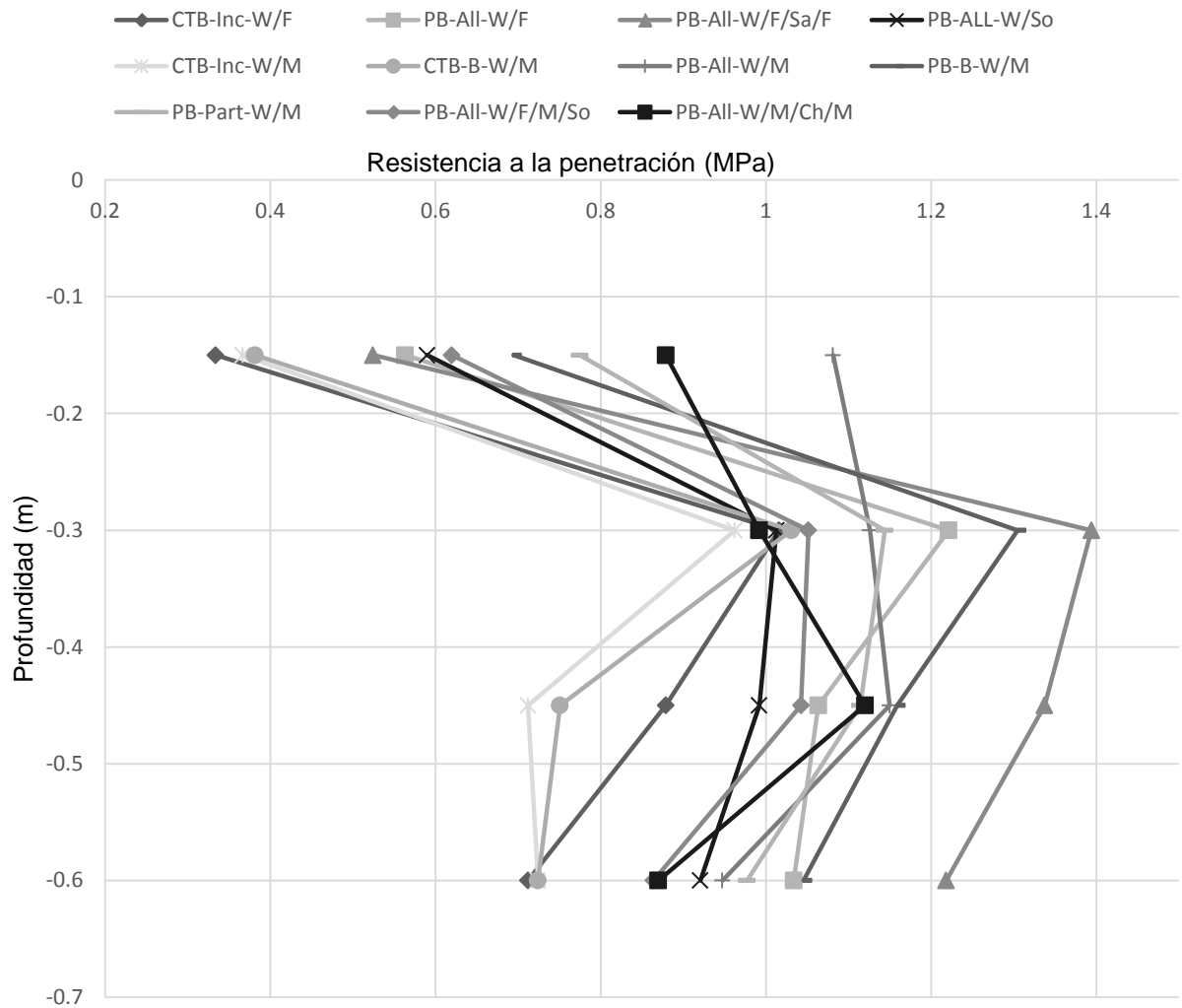
En los tratamientos que tienen similitud a excepción del manejo de labranza, la rotación trigo-maíz con retención total de paja presentó un tiempo de encharcamiento significativamente ($P \leq 0.05$) mayor en camas permanentes en comparación con las camas convencionales; este resultado no fue el mismo comparando los 2 niveles de labranza en los tratamientos de monocultivo de trigo y en la rotación trigo-maíz con quema de paja.

4.2.2 Resistencia a la penetración.

La resistencia a la penetración (RP) fue aumentando conforme se avanzaba en la profundidad del perfil en los primeros 45cm, pero descendió en la profundidad de 45-60cm (fig. 8). Los tratamientos que tenían camas con labranza presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) de gran parte de los tratamientos con camas permanentes a lo largo del perfil 0-60cm. En la profundidad de 15-30cm hubo algunas similitudes en la RP entre los 2 niveles de labranza, donde los tratamientos de camas permanentes con monocultivo de trigo, trigo-nada-cártamo-nada con toda la paja y trigo-maíz con quema de paja fueron los que presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) de los tratamientos con labranza.

La rotación de cultivos en las camas permanentes con retención total de paja provocó un efecto en la resistencia a la penetración, en el perfil 0-15cm la rotación trigo-maíz presentó una RP (1.08MPa) significativamente mayor ($P\leq 0.05$) que la rotación trigo-maíz-garbanzo-maíz (.86MPa), a su vez estas presentaron diferencia significativa ($P\leq 0.05$) más alta de las demás rotaciones. La rotación trigo-nada-cártamo-nada fue la que presento los valores más altos de RP en las demás profundidades del perfil (1.39, 1.33 y 1.21 MPa); solamente no tuvo diferencia significativa ($P\leq 0.05$) de los tratamientos de monocultivo de trigo (1.22 MPa) en la profundidad 15-30cm y de las rotaciones trigo-maíz y trigo-maíz-garbanzo-maíz (1.14 y 1.11 MPa) en el perfil 30-45cm, las demás rotaciones no presentaron diferencia significativa entre ellas ($P\leq 0.05$).

El manejo de paja en la rotación trigo-maíz con camas permanentes presentó diferencia significativa ($P\leq 0.05$) mayor solamente en la sección 0-15cm del perfil entre la retención total en comparación con la retención parcial y quema de paja. Sin embargo en las demás secciones del perfil fue mayor la RP en la quema de paja que en la retención total y parcial en los tratamientos con camas permanentes, pero sin encontrarse diferencia significativa ($P\leq 0.05$).



PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; So: sorgo; Ch: garbanzo; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; t; Part: retención parcial de residuos.

Figura 8. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en la resistencia a la penetración en sistemas experimentales de trigo en el ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.

4.2.3 Estructura del suelo.

El diámetro medio ponderado (MWD) de los agregados en seco y húmedo se ven afectados por las prácticas de labranza y la rotación de cultivos, observándose valores mayores de MWD en los tratamientos donde se utilizan camas permanentes, diversificación de cultivos y retención total de paja (tabla 11).

4.2.3.1 Tamizado en seco.

En el tamizado en seco se observa que los valores más altos de MWD se obtuvieron en los tratamientos que contaban con camas permanentes y retención total de residuos de paja de sorgo o de maíz (tabla 11)

El valor más alto de MWD lo obtuvo el tratamiento PB-ALL-W/So (2.49mm), el tratamiento PB-ALL-W/F/Sa/F (0.909mm) fue el que obtuvo el valor más bajo, pero sin diferencia significativa ($P \leq 0.05$) de la mayoría de los tratamientos donde se tenía al trigo como cultivo, a excepción del CTB-ALL-W/M y los que tenían paja de sorgo como residuo.

La rotación de cultivos no tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre el MWD en los tratamientos donde se tenía al garbanzo como cultivo actual, de igual manera en los tratamientos que tenían al maíz como cultivo.

En los tratamientos donde se alterna trigo o cártamo en el invierno y nada en verano, se observó que el MWD del tratamiento con cártamo es 1.75 veces mayor en comparación de donde se tenía al trigo como cultivo actual observándose una diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

El número de hileras de siembra en el cultivo de alfalfa no afectó significativamente ($P \leq 0.05$) el MWD, viéndose valores muy similares en el uso de 2 y 3 hileras.

4.2.3.2 Tamizado en húmedo.

En el tamizado en húmedo se puede observar que no hay diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre un gran número de tratamientos obteniendo valores muy similares (tabla 11). El valor más alto de MWD lo presentó el tratamiento con rotación trigo-sorgo con camas permanentes y retención total de paja (1.20mm), mientras que el valor más bajo lo presentó el tratamiento con monocultivo de trigo, camas convencionales y retención/reincorporación de paja (0.46mm).

Tabla 11. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en el Diámetro medio ponderado (MWD) de los agregados en tamizado en seco y húmedo en distintos sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.

Tratamiento	diámetro ponderado tamizado en seco	medio (mm)	diámetro ponderado tamizado en húmedo	medio (mm) en
CTB-Inc-W/F	1.04 HG		0.46 D	
PB-All-W/F	0.93 H		0.56 CD	
PB-All-W/F/Sa/F	0.90 H		0.51 CD	
PB-ALL-W/So	2.49 A		1.20 A	
CTB-Inc-W/M	1.55 CDEFG		0.64 CD	
CTB-B-W/M	1.35 DEFGH		0.55 CD	
PB-All-W/M	1.44 CDEFGH		0.77 BC	
PB-B-W/M	1.13 FGH		0.65 CD	
PB-Part-W/M	1.27 EFGH		0.63 CD	
PB-All-Ch/F/M/So	2.00 ABC		0.68 CD	
PB-All-M/So/Ch/F	1.59 CDEFG		0.58 CD	
PB-All-W/F/M/So	2.36 AB		1.01 AB	
PB-All-M/So/W/F	1.80 BCDE		0.70 CD	
PB-All-Ch/M/W/M	1.86 BCD		0.65 CD	
PB-All-W/M/Ch/M	1.37 DEFGH		0.63 CD	
PB-All-Sa/F/W/F	1.57 CDEFG		0.51 CD	
PB-All-A2	1.69 CDEF		0.66 CD	
PB-All-A3	1.74 CDE		0.68 CD	

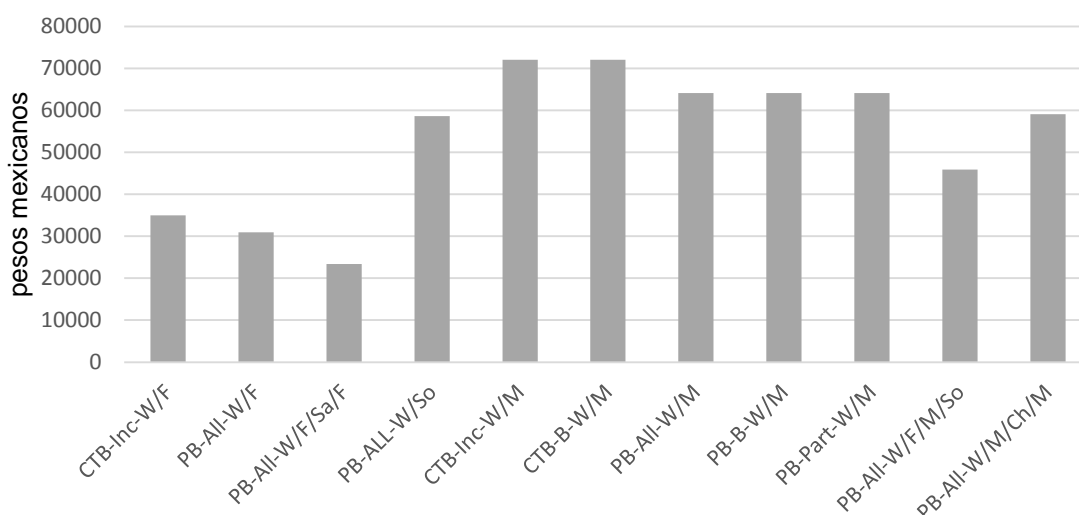
Tukey $P \leq 0.05$

PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; So: sorgo; Ch: garbanzo; A2: alfalfa 2 hileras; A3: Alfalfa 3hilera; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; Part: retención parcial de residuos.

4.3 Rentabilidad.

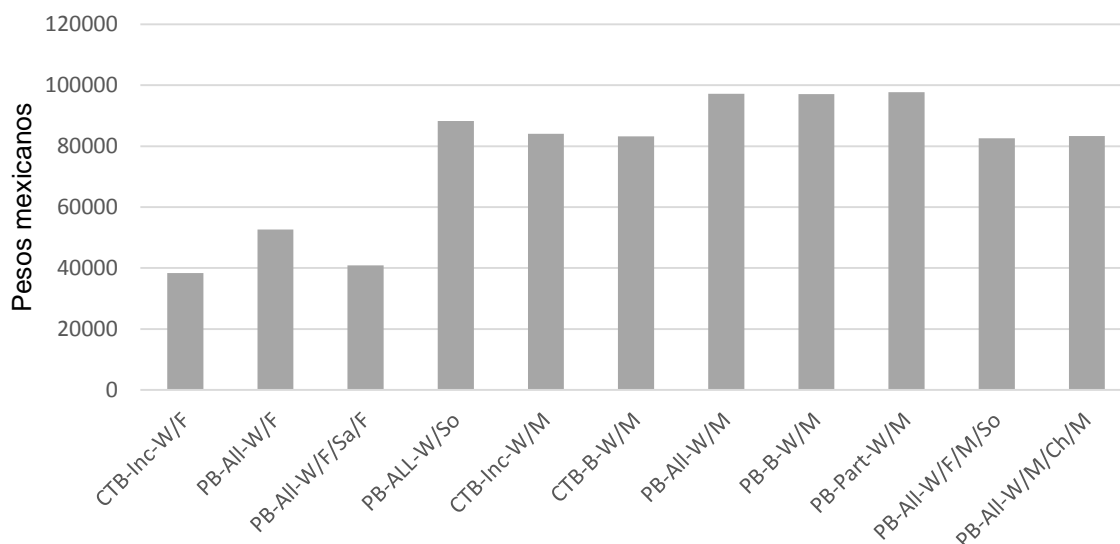
La rentabilidad en los tratamientos fue superior en los tratamientos con camas permanentes a excepción de donde se realiza labranza convencional. Los costos de producción fueron más altos en donde se establecieron 2 cultivos por años; pero también se presentaron ingresos más altos (fig. 9 y 10). La rentabilidad más alta en un plazo de 2 años la ofreció el tratamiento con camas permanentes, rotación trigo-nada-maíz-sorgo con retención total de paja con \$36657 mientras la rentabilidad más baja se presentó en el monocultivo de trigo con camas con labranza \$3434 (fig. 11).

Los tratamientos con monocultivo de trigo y la rotación trigo-maíz con retención total y quema de paja implantándose camas permanentes presentaron una rentabilidad de 6.3, 2.75 y 2.9 veces más alta respectivamente que su contraparte de camas con labranza.



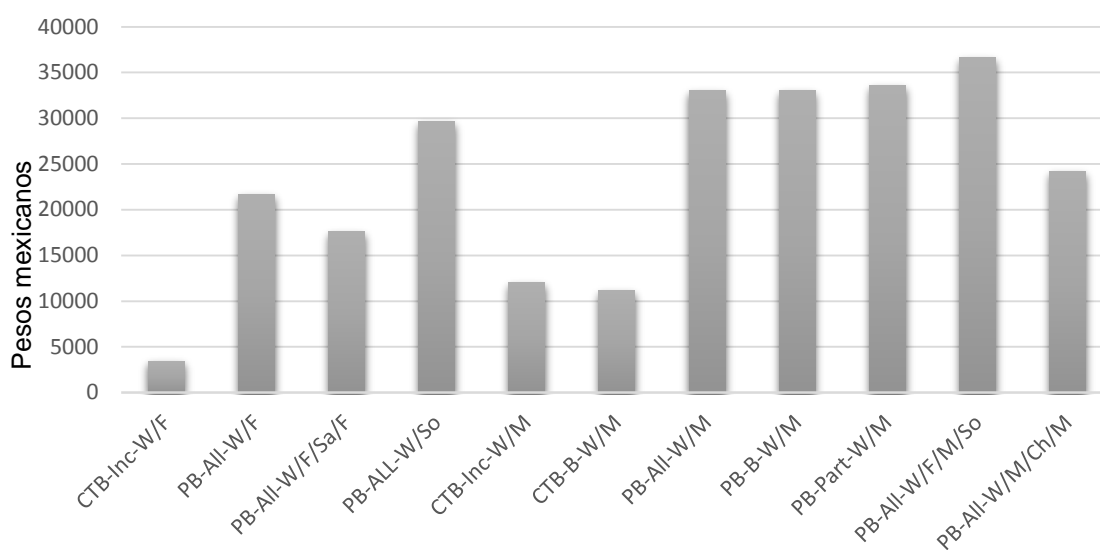
PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; So: sorgo; Ch: garbanzo; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; Part: retención parcial de residuos.

Figura 9. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en los costos de producción en sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.



PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; So: sorgo; Ch: garbanzo; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; Part: retención parcial de residuos.

Figura 10. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en los ingresos en sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.



PB: Camas permanentes; CTB: camas con labranza convencional; W: trigo; F: nada; M: maíz; Sa: cártamo; So: sorgo; Ch: garbanzo; Inc: residuos incorporados; All: retención total de residuos en la superficie; B: quema total de los residuos; Part: retención parcial de residuos.

Figura 11. Efecto de la labranza, rotación de cultivos y manejo de residuos en la rentabilidad de trigo en sistemas experimentales, ciclo 2012/13 en un experimento de sustentabilidad a largo plazo del CIMMYT en el Valle del Yaqui, México.

V. Discusiones

5.1 Parámetros de medición del cultivo.

5.1.1 Conteo de plantas.

En este experimento se observó que en los tratamientos con labranza al momento de la siembra la humedad era muy poca por lo que se procedió a introducir más el equipo en el suelo para buscar la humedad óptima para la emergencia de las plantas; a diferencia de los tratamientos con camas permanentes donde se realizó esta actividad sin problema. La rotación trigo-maíz con remoción parcial de paja, que presento valores bajos en la densidad de plantas comparado con gran parte de los tratamientos de camas permanentes, probablemente derivado de una pérdida de humedad mayor en la superficie del suelo por haberse reducido la cantidad de paja o por problemas de ajuste de profundidad en la siembra (Rawson y Gómez, 2001).

Los tratamientos con camas permanentes presentaron mayores niveles de densidad de plantas en comparación con la labranza, probablemente debido al efecto Fitotóxico que tiene la incorporación de residuos en el suelo por las prácticas de labranza. Es reportado por distintos autores que la paja al descomponerse por actividad microbiana produce distintos compuestos como ácido fenilaliactico, butírico, benzoico, cumárico, hidroxibenzoico y vainíllico; afectando la germinación y el desarrollo del cultivo en etapas de tempranas (Chou y Patrick, 1976, Lodhi *et al.*, 1987; Sampietro, 2013; Lovett y Jessop, 1982).

La paja de sorgo como residuo se convirtió en una barrera física que junto al potencial de alelopatía de la misma, fueron factores que conjugados no permitieron el desarrollo óptimo de plantas (FAO, 2013c; Sampietro, 2013). La fecha de siembra de estos tratamientos también fue retrasada, realizándose 6 días pasada la fecha óptima de siembra y 14 días después del último tratamiento sembrado, debido a que la siembra se realizó en húmedo y la paja retenía mucha humedad en el suelo. Para realizar la siembra se tuvo que esperar hasta que fuera posible la entrada de la maquinaria de siembra al terreno, siendo posiblemente las condiciones climáticas distintas a los demás tratamientos otro factor determinante (Lindstrom *et al.*, 1976).

5.1.2 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).

Los valores de NDVI obtenidos dependen de las cubiertas foliares de las plantas que son las que interceptan la radiación, entre más desarrollo foliar tengan las plantas los valores de NDVI son más altos. El NDVI está además muy relacionada con la fertilización, ya que bajas dosis de nitrógeno provoca que la planta tome coloración distintas al verde característico de una planta sana (De Carlo Guzmán, 2010; Gutiérrez *et al.* 2011). Se ha comprobado que existe una manera de correlacionar la deficiencia de este nutriente con los valores del NDVI (Verhulst y Govaerts, 2010). Se menciona que para obtener un buen rendimiento las hojas deberán crecer y cubrir la superficie del terreno tan pronto sea posible, para evitar que radiación afecte el suelo provocando pérdidas de humedad y absorber mayor radiación para la fotosíntesis (Rawson y Gómez, 2001).

La curva del NDVI fue aumentando conforme se desarrollaba el cultivo expandiéndose el dosel de la planta, tapando toda el área de medición con su biomasa, hasta llegar a una fase estacionaria. Una vez que la planta llega su

máximo desarrollo los valores empiezan a descender derivado de la maduración y senescencia de la planta.

El uso de camas permanentes a corto plazo es asociado con una baja disponibilidad de nitrógeno porque es inmovilizado (Rice y Smith, 1985); sin embargo este nitrógeno inmovilizado se vuelve disponible para los cultivos a largo plazo con la ayuda de la paja que es dejada en la superficie, aumentando la fertilidad de los suelos (Kumar y Goh, 2002), por lo que retener los residuos de los cultivos es más beneficioso que quemarlos o removerlos totalmente.

En el experimento por lo general se observó un mayor NDVI en camas permanentes en gran parte del ciclo en comparación con las camas con labranza, evidenciando la buena calidad de suelo que estas gozan por la practicas sustentables (Verhulst *et al.*, 2011a). Solamente la rotación trigo-maíz retención parcial y quema de rastrojo presentaron niveles inferiores que los obtenidos donde se realizaba labranza, resultados similares a los obtenidos por Govaerts *et al.* (2006); que menciona le relación alta de C:N en los tratamientos donde se deja toda la paja afecta en inmovilización del nitrógeno, ofreciendo el nitrógeno a largo plazo evitando la desnitrificación o lixiviación.

El NDVI tuvo una caída “anormal” en el periodo de 69 a 75 días después de siembra donde se presentaron temperaturas bajas, provocando que el NDVI disminuyera en todos los tratamientos por efecto que tienen las heladas en los tejidos de las plantas, provocando daños en el interior de las células (Snyder y Melo-Abreu, 2010).

Riley (1998) menciona que el desarrollo de la planta se ve retrasado por la labranza reducida, pero es después compensado. Los tratamientos con camas permanentes y paja de sorgo obtuvieron valores de NDVI muy distantes a los

presentados por los demás tratamientos esto probablemente por la fecha tardía de siembra (17 días después) en comparación a ellos, además de que su ciclo de desarrollo con madurez fisiológica fue más corto en, sin embargo esta dentro de los rangos de esta variedad (Félix-Fuentes *et al.*, 2011).

5.1.3 Rendimiento.

Los rendimientos fueron mayores en camas permanentes que en convencionales debido al mantillo dejado sobre la superficie que sirvió como reservorio para el agua al reducir la tasa de evaporación; principalmente en los primeros centímetros del perfil minimizando los efectos del estrés hídrico por periodos cortos (Unger, 1978; Blevins *et al.*, 1971).

La erosión del suelo en las camas permanentes en comparación con camas convencionales, se ve disminuido al verse reducida la escorrentía que lleva consigo suelo con materia orgánica y fertilizantes (Römken *et al.*, 1973; Seta *et al.*, 1993), por consiguiente se tiene una mejor calidad de suelo, ofreciendo a la planta un mejor lugar para su óptimo desarrollo.

El rendimiento se vio afectado positivamente en donde se realizaba diversificación de cultivos, ya que los más altos se presentaron al tenerse alternancia de trigo con otros cultivos, principalmente en los tratamientos con camas convencionales; resultados similares fueron encontrados por Carrillo-García *et al.* (2009).

Distintas plantas cuentan con diferentes sistemas radicales los cuales aprovechan los nutrientes de distintos perfiles, al tener unas raíces profundas y otros superficiales. Entre los rendimientos más altos destacan las rotaciones

donde se alternaban con trigo cultivos de raíces profundas como cártamo y garbanzo (Guerrero, 1999; Infoagro, 2013), que aprovechan los nutrientes de mayores profundidades, además de que el garbanzo tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Salinas *et al.*, 2008).

5.2 Parámetros de medición del suelo.

5.2.1 Tiempo de encharcamiento.

El tiempo de encharcamiento (TTP) se vio claramente influido por la cantidad de residuos que se tenían en la superficie, los cuales absorbían el agua antes de que llegara al suelo convirtiéndose en una especie de reservorio, mientras que detenía el impacto directo del agua contra el suelo; provocando una infiltración más lenta conforme caía de la paja (Jordán *et al.*, 2010). Los tratamientos con quema de paja y los de labranza, presentaron los valores más bajos de TTP, haciéndose notar el deterioro del suelo por las practicas no sustentables (Verhulst *et al.* 2011a).

Tratamientos con rotaciones trigo-maíz o sorgo presentaron los valores más altos de infiltración evidenciando la importancia de la cantidad de residuos dejados por los cultivos de verano juegan un papel importante en el tiempo de encharcamiento; ya que la cantidad de materia orgánica afecta positivamente al absorción y retención de agua, así como la velocidad de infiltración (Carrillo-García *et al.*, 2009de; Murray *et al.* 2011).

Los poros y grietas que presentaban las camas permanentes favorecieron que se obtuviera un tiempo de encharcamiento mayor en comparación con las camas convencionales. Las prácticas de labranza afectan la estructura del suelo por el movimiento de este, destruyendo los poros y grietas presentes provocando un déficit en el tiempo de infiltración, al no haber las cavidades por las cuales el agua pueda fluir fácilmente (Zhang *et al.*, 2007). La labranza mata fauna benéfica como las lombrices que ayudan a que se formen macroporos al realizar la “labranza biológica” (Baker *et al.*, 2007).

Establecer rotaciones de cultivos y/o cultivos de cobertura tiene un impacto positivo no solo en el nivel de materia orgánica, sino que también proporcionan diferentes tipos y formas de raíces que se alternan en el suelo. Las raíces funcionan de manera similar a los macroporos producidos por las lombrices, ya que rompen las capas compactadas y acentúan la infiltración del agua (FAO, 2013b).

5.2.2 Resistencia a la penetración.

La resistencia a la penetración (RP) de los tratamientos con labranza fue menor en todas las mediciones en comparación con las camas permanentes, principalmente en el la parte superior del perfil (0-15cm) por el movimiento de suelo que realizan los implementos de labranza que rompe la compactación, voltear el suelo, desbarata los terrones y reincorpora el rastrojo en el perfil (Brady, 1990).

Voorhees y Lindstrom (1984) mencionan que después de 3-4 años la labranza reducida produce mayor porosidad en la capa de 0-15cm que la labranza convencional, pero probablemente después de ese periodo el tráfico de maquinaria y la labranza mínima aumenta provoca la compactación del suelo. Los resultados obtenidos son similares a los de Vázquez *et al.* (2008), donde

encontró que la densidad de aparente y la RP aumentan en la labranza mínima en comparación con la labranza convencional después de 8 años de realizar dichas prácticas.

La RP presento casi el mismo comportamiento, siendo el perfil de 15-30 cm el de mayor compactación en gran parte de los tratamientos, sin embargo las camas permanentes presentaron mayor compactación por el tráfico de maquinaria (Ehlers *et al.*, 1983; Vázquez *et al.* 2008). Voorhees y Lindstrom (1984) mencionan que después de 7 años de aplicación de labranza de conservación se obtienen la misma porosidad que el uso de labranza, ya que el no labrar produce agregados más grandes y más terrones porosos que el uso continuo de la labranza en la capa de 15-30cm.

Los tratamientos con dos cultivos por año presentaron mayor nivel de compactación solo en la sección de 0-15cm por efecto de un mayor tráfico de maquinaria en comparación a los tratamientos con un cultivo por año. En los demás perfiles (15-60) se presentó una menor resistencia a la penetración por el mantillo de paja de los tratamientos con retención total de paja de sorgo y maíz, que afectó directamente el contenido de humedad en el suelo (Mapfumo y Chanasyk, 1998; Anikwe *et al.*, 2003).

5.2.3 Estructura del Suelo.

La estructura del suelo se puede medir en base a los agregados que tienen y a la resistencia que estos presentan sin ser degradados por un factor externo. el tamizado en seco permite ver cómo se encuentra los agregados del suelo,

mientras que el tamizado en húmedo la resistencia de los mismo a ser deteriorados por un factor, en este caso el agua; para así conocer la practica agronómica con mejor agregación y estabilidad.

Los tratamientos con camas permanentes presentaron agregados de mayor tamaño a comparación a las camas con labranza convencional, por lo que se ve un efecto de la labranza en la estructura del suelo al observarse que los agregados tienen un rompimiento por estas prácticas (Madari *et al.*, 2005; Beare *et al.*, 1994).

El establecimiento de un cultivo en verano presentó un incremento en el MWD al compararse con los tratamientos donde se tenía solamente cultivo de invierno, esto debido a que los cultivos de verano como sorgo/maíz proporcionan al suelo una gran cantidad de residuos los cuales favorecen la agregación del suelo por actividad microbiana (Guggenberger *et al.*, 1999; Lupwayi *et al.*, 2001). La paja que es dejada en el suelo también favorece a que creen estabilidad evitando una disrupción que llevaría tener agregados de menor tamaño (Haynes y Swift, 1990).

Govaerts *et al.* en el 2007 describió que el diámetro medio ponderado de partícula disminuye conforme decrece la cantidad de residuos agregados, sin embargo menciona que no es necesario mantener gran cantidad de residuos como cobertura de suelo ya que la remoción parcial de paja presento niveles aceptables de agregación, lo que explica por qué no se encontró un efecto del manejo de residuos en la agregación en sistemas de camas permanentes con rotación trigo-maíz.

En los tratamientos donde se alterna trigo o cártamo en el invierno y nada en verano, el tratamiento donde estaba establecido el cultivo de cártamo con paja de trigo, presento un mayor tamaño en sus agregados derivado de la cantidad

de paja que es dejada por el cultivo de trigo en comparación al cártamo, ya que la adición de materia orgánica favorece la formación de agregados (Denef *et al.* 2002).

La estabilidad de los agregados no fue afectada por las prácticas de labranza encontrándose valores muy similares, a pesar de que distintos autores (Limón-Ortega *et al.*, 2006; Carrillo-García *et al.*, 2009) mencionan que hay mucha relación entre el manejo de suelo y la estabilidad de agregados. En la estabilidad de agregados el efecto más notorio fue de la labranza en combinación con la rotación de cultivos y retención total de paja de cultivos que generan gran cantidad de biomasa, observándose que la estabilidad de los agregados del suelo depende por lo general de la materia orgánica y de los agentes que unen la con el suelo (Haynes y Swift, 1990; Tisdall y Oades, 1986).

5.3 Rentabilidad.

Las ganancias por las siembras de un cultivo dependen de los costos de producción, al tener un costo de producción bajo las ganancias serán mayores, por consecuente los productores serán más rentables.

Los costos de producción que se tienen en las prácticas de camas permanentes son inferiores al ser comparados con las prácticas que se realizan en la agricultura con labranza convencional. Las camas permanentes son reformadas solo si es necesario, mientras que con el uso de camas con labranza convencional se realizan una gran cantidad de actividades de movimiento de suelo, generando costos por laboreo hasta 7.6 veces más que las camas permanentes.

A los costos de producción se le suma el incremento que ha tenido últimamente el costo del diésel y la dependencia que se tiene de este recurso en la maquinaria, pero con el uso de la AC se pueden ahorrar hasta más de 50 litros/Ha (Govaerts y Sayre, 2005); agregado a esto, el desgaste que se genera en el tractor y en los implementos que se usan al labrar el suelo, provoca que se tenga que realizar seguido un mantenimiento ya sea preventivo o correctivo por el sobreuso constante de la maquinaria.

Rendimientos más altos en la agricultura de conservación o donde se utiliza uno de los principios de esta, son factores que afectan positivamente la rentabilidad de los cultivos, generando mayores ingresos para los productores.

VI. Conclusión

En este experimento en general se notaron mejores cualidades en donde se ponía a prueba la agricultura de conservación (AC) (o uno de sus principios) contra la agricultura convencional (CT), tanto en las propiedades del suelo como en el desarrollo del cultivo y rentabilidad. Si bien la distribución de tamaño de agregados y su estabilidad se vio favorecido solo en algunos tratamientos donde se utilizaba AC, el tiempo de encharcamiento se vio muy relacionado con la reducción de labranza, rotación de cultivos y manejo de paja, obteniéndose valores más altos en donde se practicaba la AC en comparación con la CT.

La resistencia a la penetración obtuvo valores significativamente menores en donde se establecían prácticas de CT en comparación a la AC específicamente el uso de camas permanentes, pero sin afectar el rendimiento; Por lo que se puede decir que su nivel de compactación no es lo suficientemente elevado como para afectar el desarrollo del cultivo. Se observaron muy pocas diferencias entre los tratamientos de los grupos establecidos en el análisis del desarrollo del cultivo evaluado con el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI); pero en los rendimientos si fueron notorios los efectos de los factores en juego, viéndose favorecidos en donde se realizan prácticas de AC.

La rentabilidad fue mayor en donde se realizaban prácticas de AC, debido a mejores rendimientos aunados al empleo de la labranza reducida, son claves del porque la AC tuvo las rentabilidades más altas. La labranza genera gran parte de los costos de producción por lo que al eliminarse con el uso de camas permanentes se aumenta la rentabilidad. Por lo que se recomendaría el uso de camas permanentes, para eliminar costos de labranza; rotación de cultivos

dependiendo de la disponibilidad del agua y la selección se realizará en base a los precios a la venta del cultivo; así como retención de paja ya sea total o parcial.

VII. Literatura citada

Anikwe, M., Obi, M., Agbim, N. (2003). Effect of crop and soil management practices on soil compatibility in maize and groundnut plots in a Paleustult in Southeastern Nigeria. *Plant and Soil* 253, pp. 457-465.

Aquino, P., Roberto, J. Peña, R., Ortiz-Monasterio, I. (2008). México y el CIMMYT. *Boletín*, pp. 40.

Arshad, M. (1999). Tillage practices for sustainable agriculture and environmental quality in different agroecosystems. Agriculture and Agri-Food Canada, PO Box 29, Beaverlodge, AB., T0H 0C0 Canada.

Baker, C., Saxton K., Ritchie, W., Chamen, W., Reicoky, D., Ribeiro, M., Justice, S., Hobbs, P. (2007). No-tillage seeding in conservation agriculture (2da. Ed.). Cambridge, MA, E.U. Cromwell press.

Barthes B, Azontonde A, Boli BZ, Prat C, Roose E (2000) Field-scale run-off and erosion in relation to topsoil aggregate stability in the tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico). *European Journal of Soil Science* 51, pp. 485-495

Beare, M., Hendrix, P., Coleman, D. (1994). Water-Stable Aggregates and Organic Matter Fractions in Conventional- and No-Tillage Soils. 58, pp. 777–786.

Betancourt, P., 2004. La erosión hídrica de los suelos bajo explotación agropecuaria. Centro de investigaciones agropecuarias del Estado de Lara. Barquisimeto, Estado de Lara, Venezuela.

Blevins, R., Cook, D., Phillips, S., Phillips, R. (1971). Influence of No-tillage on Soil Moisture. *Agron. J.* 63, pp. 593–596
10.2134/agronj1971.00021962006300040024x.

Borie, F., Rubio, R., Morales, A. (2008). Hongos micorrícicos arbusculares y agregación de suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(2), 9-18.

Bouman BAM, Hengsdijk H, Hardy B, Bindraban PS, Tuong TP, Ladha JK, editors. 2002. *Water-wise rice production*. Proceedings of the International Workshop on Waterwise Rice Production, 8-11 April 2002, Los Baños, Philippines. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute, pp. 356.

Brady, N. (1990). *The Nature and Properties of Soils*, 10th Edition, Macmillan Publishing Company.

Bustamante, B. (2005). *Manejo de suelos y agua*, Secretaria de Agricultura y ganadería. Honduras.

Camacho, C., Figueroa, L., Martínez, C., Cortes, J., Tamayo, E., Félix V., Ortiz, E. (2002). *Guía para producir trigo en el sur de sonora*. INIFAP, CIRNO, Campo Experimental Valle del Yaqui. Cd. Obregón. Folleto para productores, pp. 34-40.

Campo Experimental Valle del Yaqui (CEVY). (2001). *Guía técnica para los cultivos del área de influencia del campo experimental del valle del yaqui*. INIFAP, CIRNO. Cd. Obregón, Sonora, pp.282.

Carrillo-Garcia, A., Trethowan, R., Möller, C., Govaerts, B., Verhulst, N. (2009). *Conservation agriculture for sustainable irrigated wheat production in the Yaqui Valley of north-western Mexico*.

Castellanos-Navarrete, A, Fonteyne, S., Govaerts, B., Verhulst, N. (2012). *Penetration resistance. How to evaluate cropping management practices; a cook book*. CIMMYT, México, D.F., México.

CIMMYT. (2012). (Ver) <http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/ique-es-ac>

Consultado el 5 de diciembre 2012.

Claveran-Alonso, R., Fregoso-Tirado, L. E., Sánchez- Brito, C. (2001). La labranza conservacionista en México. I World Congress on Conservation Agriculture. Madrid, Spain.

CNA, Servicio Meteorológico Nacional (ver.)
http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=28 consultado el 17 de febrero del 2013.

Chou, C., Patrick, Z. (1976) Identification and phytotoxic activity of compounds produced during decomposition of corn and rye residues in soil. Journal of chemical Ecology, volumen 2, numero 3, pp. 369-387.

Daily, G. (1997). Natures services. Societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Nueva York. 392p.

De Carlo Guzmán. (2010). Greenseeker un sensor para determinar la fertilización nitrogenada complementaria en trigo. Centro de investigación regional del noroeste campo experimental Valle de Mexicali. Folleto para Productores Núm. 56, pp. 9.

De la Lanza, G., Cáceres, C., Adame, S., Hernández, S. (2007). Diccionario de hidrología y ciencias afines, pp. 287.

Denef, K., Six, J., Merckx, R., and Paustian, K. (2002). Short-term effects of biological and physical forces on aggregate formation in soils with different clay mineralogy. Plant Soil 246, pp. 185-200.

Díaz, G., Hernández, T., Cabello, R. (2004). La rotación de cultivos, un camino a la sostenibilidad de la producción arrocerá. Instituto nacional de ciencias agrícolas, La Habana, Cuba.

Distrito del Desarrollo Rural (DDR) 148. (2012). (Ver) http://tribuna.info/index.php?view=article&catid=12%3Acampo&id=236643%3AN3P1E&format=pdf&option=com_content&Itemid=120.

Ehlers, W., Köpke, U., Hesse, F., Böhm, W. (1983) Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil and Tillage Research*, Volumen 3, edición 3, pp. 261–275.

FAO. (2000). (Ver) <http://www.fao.org/Noticias/2000/000501-s.htm> consultado el 6 diciembre 2012.

FAO. (2002). *Agricultura de conservación, estudio de casos en América Latina y África*. Boletín de suelos de la FAO.

FAO. (2012). (Ver) <http://www.fao.org/ag/ca/es/1a.html> consultado 5 diciembre 2012.

FAO. (2013a). (Ver) <http://www.fao.org/ag/ca/es/1c.html> consultado 9 enero 2013.

FAO. (2013b). (Ver) http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sc/soil_compaction.pdf. Consultado el 06 de Agosto del 2013

FAO. (2013c). (ver) http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/wm/weeds.pdf. Consultado el 6 de agosto del 2013.

Félix-Fuentes. J, Fuentes-Dávila, G., Figueroa-López P., Chávez-Villalba, G., Valenzuela-Herrera, V., Mendoza-Lugo J. (2011). *Movas c2009: durum wheat with resistace to stem rust*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, volumen 2, núm. 6, pp. 979-984.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). (2013). (Ver) <http://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp> consultado el 18 julio del 2013.

Galeana, M., Santos, A., García, N., Flores, D. (1999). Labranza de Conservación y fertilización en el rendimiento de maíz y su efecto en el suelo. Universidad autónoma de Chapingo. Chapingo, México, pp. 325-335.

Govaerts, B., Chocobar, A., Delgado, F. (2012). Importancia de la rotación de cultivos. Boletín técnico, México.

Govaerts, B., Verhulst, N., Sayre, K.D., Dixon, J., Dendooven, L. (2009). Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration; Between Myth and Farmer Reality. *Crit. Rev. Plant Sci.* In press.

Govaerts, B., Sayre, K. (2005). Agricultura de conservación, hacia un procedimiento integrado de agricultura sostenible y rentable en México, pp. 8.

Govaerts, B., Sayre, K., Ceballos-Ramírez, J., Luna-Guido, M., Limón-Ortega, A., Deckers, J., Dendooven, L. (2006). Conventionally tilled and permanent raised beds with different crop residue management: effects on soil C and N dynamics. *Plant and Soil* 280, pp.143-155.

Govaerts, B., Sayre, K., Lichter, K., Dendooven, L., Deckers, J. (2007). Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant Soil* 291, pp. 39-54.

Guerrero, Andrés. (1999). cultivos herbáceos extensivos. España. Mundi-prensa libros, s.a. 6ta edición, pp. 520.

Guggenberger, G., Elliott, E., Frey, S., Six, J., Paustian, K. (1999). Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland soil amended with starch. *Soil Biol. Biochem.* Volumen 31, pp. 407-419.

Gutiérrez-Soto, M., Cadet-Piedra, E., Rodríguez-Montero, W., Araya-Alfaro, J. (2011). El GreenSeeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. *Agron. Mesoam*, vol.22, n.2, pp. 397-403.

Haynes, R., Swift, R. (1990), Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *Journal of Soil Science* volume 41, pp.73–83. doi: 10.1111/j.1365-2389.1990.tb00046.x

Hobbs, P., Ken, Sayre, Raj, Gupta. (2008).The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. . *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, pp. 543-555.

Infoagro. (2013). (Ver)
<http://www.infoagro.com/herbaceos/legumbres/garbanzo.htm> consultado el 6 de agosto del 2013.

Jordán, A., Zavala, L., Gila, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *CATENA*, Volumen 81, edición 1, pp. 77–85.

Karlen, D.L., Wollenhaupt, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Eash, N.S., Jordah, J.L. (1994).Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil Tillage Res.* 31, pp.149–167.

Kemper, W.D, Chapil, W.S. (1965) Size distribution of aggregates. In 'Methods of Soil Analysis. Part I'. (Ed. CA Black) pp. 499-509.

Kemper, W.D., Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In 'Methods of Soil Analysis. Part I', pp. 425-442.

Kumar, K., Goh, K. (2002). Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. *Eur. J. Agr.* 16, pp. 295-308.

Lal R. (2006) Enhancing crop yields in the developing countries through the restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation and Development*, pp. 197-209.

Landers, J. (2007). *Sistemas tropicales de agricultura-Ganadería de la agricultura de conservación: La experiencia en Brasil*, Roma, pp. 123.

Limon-Ortega, A., Govaerts, B., Deckers, J, Sayre, K. (2006). Soil aggregate and microbial biomass in a permanent bed wheat-maize planting system after 12 years. *Field Crop Res* 97, pp. 302–309.

Lindstrom, M., Papendick, R., Koehler, F. (1976). A Model to Predict Winter Wheat Emergence as Affected by Soil Temperature, Water Potential, and Depth of Planting

Lobo, D., Pulido M. (2006). *Métodos e índices para evaluar la estabilidad*. Universidad central de Venezuela, facultad de agronomía, instituto de agronomía, pp. 16.

Lodhi, M., Bilal, R., Malik, K. (1987). Allelopathy in agroecosystems: Wheat phytotoxicity and its possible roles in crop rotation. *Journal of Chemical Ecology*, Volume 13, Issue 8 , pp. 1881-1891.

Lovett, J., Jessop, R. (1982). Effects of residues of crop plants on germination and early growth of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 33, pp. 909–916.

Lupwayi, N., Arshad, M., Rice, A., Clayton, G. (2001) Bacterial diversity in water-stable aggregates of soils under conventional and zero tillage management, *Applied Soil Ecology*, Volumen 16, tema 3, pp. 251.

Madari, B., Machado, P., Torres, E., De Andrade A., Valencia, L.(2005)No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a

Rhodic Ferralsol from southern Brazil Soil and Tillage Research. Volumen 80. Edición 1–2, pp.185–200.

Manson, R.H., Hernández-Ortiz, V., Gallina, S., Mehlreter, K. (2008). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMAR- NAT), México pp. 348.

Maqueda, M., Carbonell, M., Martínez, E., Flores, M. (2005). Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura, Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, volumen 2, Universidad del Valle Cali, Colombia, pp. 14-18.

Mapfumo, E., Chanasyk, D. (1998) Guidelines for safe trafficking and cultivation, and resistance–density–moisture relations of three disturbed soils from Alberta Soil and Tillage Research. Volumen 46, temas 3–4, pp. 193–202.

Méndez, V. (2007). Costa Rica- Historia natural. San José Costa Rica, EUNED.

Morales, F., Martínez, M. (2012). Rotación de cultivos, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación Montecillo, Edo. De México. pp. 2.

Morgan, R. (1997). Erosión y Conservación Del Suelo. Mundi-Prensa Libros. Madrid, España.

Muñoz, R., Ritter, A. (2005). Hidrología agroforestal, Ediciones, Madrid 2005, Mundi Prensa, pp. 105.

Murray, R., Bojórquez, J., Hernández, A., Orozco, M., García, J., Gómez, R., Ontiveros, H., Aguirre, J. (2011). Effect of organic matter on soil physical properties in an agroforestry system in the northern coastal plain of Nayarit, México. BioCiencias 1, pp. 27-35.

Najul, C., Anzalone, A. (2006). Control de malezas con cobertura vegetal en el cultivo de la caraota negra (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad Centro-Occidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto-Cabudare, Venezuela.

Navarro, A., Figueroa, B., Ordaz, V., Gonzales, F. (2000). Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. Universidad autónoma de Chapingo.

Novelo, M. (2000). La labranza de conservación en México y apoyos de FIRA para su adopción. Morelia, Mich.

Paneque, P., Soca, J., León P., Pérez, M., García, G. (2006). Ahorro de energía utilizando labranza de conservación Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Año/vol. 15, número 003 Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, pp. 39-41.

Rawson, H., Gómez, H. (2001). Trigo regado. Roma, Italia. Organización de las naciones unidas y la alimentación (FAO), pp. 44.

Reynolds, M., Borlaug, N. (2006). Applying innovations and new technologies for international collaborative wheat improvement. *J Agric Sci* 144:95–110 doi: 10.1017/S0021859606005879.

Rice, C., Smith, M. (1984). Short-Term Immobilization of Fertilizer Nitrogen at the Surface of No-Till and Plowed Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, pp. 295-297.

Riley, H. (1998). Soil mineral-N and N-fertilizer requirements of spring cereals in two long-term tillage trials on loam soil in southeast Norway. *Soil and Tillage Research*, Volumen 48, tema 4, pp. 265–274.

Römken, M., Nelson, D., Mannering, J. (1973). Nitrogen and Phosphorus Composition of Surface Runoff as Affected by Tillage Method. *Joenq*, volume 2, pp. 292–295.

Salinas, J., Díaz, A., Garza, E., Garza, I. (2005). Efecto de la labranza y biofertilizantes en propiedades del suelo que afectan a la sostenibilidad de producción de frijol. Reynosa. México.

Salinas, R., Cortez E., Macías, J. (2008). Guía para producir garbanzo en el norte de Sinaloa. Centro de Investigación Regional del Noroeste Campo Experimental Valle del Fuerte, folleto técnico No. 29, pp. 6.

Sampietro, D. (2013) Alelopatía: concepto, características, metodología de estudio e importancia. (ver) <http://www.ual.es/personal/edana/bot/mh/complemento/docufijos/revalelo.htm>, consultado el 25 de Julio del 2013.

Sayre, K., Hobbs, P. (2004). The raised-bed system of cultivation for irrigated production conditions. In R. Lal, P. Hobbs, N. Uphoff and D.O. Hansen. (eds). Sustainable Agriculture and the Rice-Wheat System. Ohio State University, Columbus, Ohio, USA. Capítulo 20, pp.337-355.

Secretaria de agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2009). Costos de producción para el trigo durante el ciclo 2009-2010. Distrito de desarrollo rural 148-Cajeme. Cd. Obregón, Sonora.

Seta, A., Blevins, R., Frye, W., Barfield, B. (1993). Reducing Soil Erosion and Agricultural Chemical Losses with Conservation Tillage. *Joenq*, volumen 22, pp.661–665 10.2134/jeq1993.00472425002200040004x.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Deneff, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79:7-31.

Shaxson, F., Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal- significado de la porosidad del suelo FAO. Roma. pp.105.

Snyder, R., Melo-Abreu P. (2010). Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. FAO, pp. 26. ISBN 978-92-5-306504-2.

Soria, J., Granados, R. (2005). Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA y TM del landsat, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

Tisdall, J., Oades, J. (1982), Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33: 141–163. doi: 10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x

Thomas, R., Franson, R., Bethlenfalvay, G. (1993). Separation of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Root Effects on Soil Aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:77-8.

Unger, P. (1978). Straw-mulch Rate Effect on Soil Water Storage and Sorghum Yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 486–491. doi: 10.2136/sssaj1978.03615995004200030023x.

Vázquez, L., Myhrea, D., Hanlona, E., Gallaher, R. (1991). Soil penetrometer resistance and bulk density relationships after long-term no tillage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Volumen 22, temas 19-20, pp. 2101-2117

Verhulst, N., Govaerts, B. (2010). The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker™ handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies. Mexico, D.F; CIMMYT.

Verhulst, N., Kienle, F., Sayre, K., Deckers, J., Raes, D., Limon-Ortega, A., Tijerina-Chavez, L., Govaerts, B. (2011a). Soil quality as affected by tillage residue management in a wheat-maize irrigated bed planting system.

Verhulst N., Sayre K. D., Vargas M., Crossa J., Deckers J., Raes D., & Govaerts B. (2011b). Wheat yield and tillage–straw management system×year

interaction explained by climatic co-variables for an irrigated bed planting system in northwestern Mexico.

Voorhees, W., Lindstrom, M. (1984) Long-Term Effects of Tillage Method on Soil Tilth Independent of Wheel Traffic Compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*48:, pp.152.

Vuelta, D. (2011). La agricultura de conservación, algunas consideraciones sobre la problemática de su implementación en la región del Caribe. *Ciencia en su PC*, volumen 4, octubre-diciembre, Centro de Información y Gestión Tecnológica Santiago de Cuba, Cuba, pp.1-13

Yarlequé, C., Posadas, D., Quiroz, R. (2004). Procesamiento de Datos de NDVI para la obtención de Precipitación de Lluvias en la Cuenca del Altiplano. Universidad Nacional del Callao.

Zhang, G., Chan, K., Oates, A., Heenan, D., Huang, G. (2007). Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. *Soil and Tillage Research*, Volumen 92, temas 1–2, pp. 122–128.