

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA



**Evaluación de indicadores de calidad de suelos en tres  
sistemas de labranza en el trópico húmedo.**

Por:  
ENRIQUE PORRAS PÉREZ

TESIS  
Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre 2006

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**Evaluación de indicadores de calidad de suelos en tres  
sistemas de labranza en el trópico húmedo**

Por:  
ENRIQUE PORRAS PÉREZ

**T E S I S**

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como  
requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el comité de tesis

Asesor Principal

---

Dr. Martín Cadena Zapata

Director externo del INIFAP

Sinodal

---

M. C. José Joaquín  
Bonilla Bada

---

M. C. Héctor Uriel  
Serna Fernández

Coordinador de la División de Ingeniería

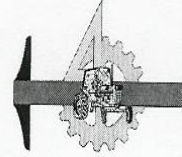
---

Dr. Raúl Rodríguez García

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre 2006



**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**  
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Tel. 01 844 4 11 02 24



**16 Junio 2006**

**Dr. Jesús Uresti Gil**  
**Jefe del Campo Experimental Cotaxtla**  
**Presente.**

El portador de la presente **C. Enrique Porras Pérez**, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" con matrícula 224352; esta interesado en realizar en el Campo Experimental Cotaxtla el cual se encuentra a su digno cargo, su trabajo de tesis con el proyecto "Indicadores de Calidad de Suelos y Labranza de Conservación" teniendo como asesor al MC. Joaquín Bonilla Bada.

Ruego a usted sea tan amable en brindarle las facilidades que le sean posibles, a fin de que el interesado cumpla con su propósito, en el entendido de que deberá acatar las normas y disposiciones de la Institución que usted dirige.

Sin más por el momento y en espera de una favorable respuesta, me despido de usted.

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

**ATENTAMENTE**  
**"ALMA TERRA MATER"**

MAQ. AGRÍCOLA

**MC. Héctor Uriel Serna Fernández**  
**Jefe del Departamento de Maquinaria Agrícola**

C.c.p. Archivo



Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

"2006, Año del Bicentenario del Natalicio del  
Benemérito de las Américas, Don Benito Juárez García"

DEPENDENCIA: SAGARPA-INIFAP-CIRGOC-CECOT  
NUMERO DE OFICIO: JAG.-VER.1.1/333  
EXPEDIENTE: JEFATURA DE CAMPO  
ASUNTO: ACEPTACIÓN PARA TRABAJO DE TESIS

Campo Experimental Cotaxtla, a 19 de junio del año 2006

**M. C. Héctor Uriel Serna Fernández**  
Jefe del Departamento de Maquinaria Agrícola de la  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Por medio del presente hago de su conocimiento que el **C. Enrique Porras Pérez**, alumno egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, de Saltillo, Coahuila, México y con número de matrícula 224352, ha sido aceptado para realizar su trabajo de tesis en este Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP durante el periodo que sea necesario.

El **C. Porras Pérez**, realizará su trabajo de tesis (campo y gabinete) en el proyecto "Indicadores de calidad de suelos y labranza de conservación" y estará supervisado por el M. C. José Joaquín Bonilla Bada, Investigador del Programa de Mecanización Agrícola del Campo Experimental Cotaxtla.

Sin más por el momento, les envío un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

**Dr. Jesús Uresti Gil**  
Responsable del Despacho de la  
Jefatura del Campo Experimental Cotaxtla.

Ccp. Dr. Luis Ortega Reyes. Director Regional del CIRGOC.  
Ccp. M. C. José Bonilla Bada. Investigador del Campo Experimental Cotaxtla  
Ccp. Interesado  
Ccp. Archivo.



**CAMPO EXPERIMENTAL  
COTAXTLA**

**Campo Experimental Cotaxtla**  
Km. 34 Carretera Federal Veracruz-Córdoba • Mpio. Medellín de Bravo • Veracruz  
C.P. 91700 • Tel.: (229) 934 8354 y 934 8359 • Fax: (229) 934 8591  
A.P. 429 C.P. 91700 en Veracruz, Ver. • [www.inifap.gob.mx](http://www.inifap.gob.mx)

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por darme vida y salud, por guiarme en este sendero de mi desarrollo profesional, por poner en mi camino a las personas que de alguna manera siempre me hay ayudado.

A la soledad que siempre insiste en acompañarme o/y quizás yo soy el que la busco para seguir adelante buscando desarrollarme profesionalmente, por hacerme entender muchas cosas y su porqué; por hacerme valorar a las personas que me aman y amo; gracias por acompañarme y no ser tan cruel.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme sus puertas brindarme una profesión, por ser mi hogar.

Al Departamento de Maquinaria Agrícola y sus ingenieros que lo conforman, en donde siempre encontré una amistad.

Al M. C. Héctor Uriel Serna Fernández, por sus consejos siempre tan certeros y oportunos, por llamarme la atención cuando fue necesario, por su apoyo incondicional como amigo.

Al Ing. Juan Arredondo Valdez, por brindarme su amistad, confianza y comprensión, por escucharme y darme un consejo como amigo.

Al Dr. Martín Cadena Zapata, por confiar en mí y brindarme su amistad, por su apoyo en este trabajo.

M. C. José Joaquín Bonilla Bada. Por su confianza en este trabajo de tesis, por compartirme sus experiencias en el desarrollo profesional así como su amistad.

M. C. Marco Antonio Reynolds Chávez, por estar siempre pendiente de este trabajo de tesis, por darme confianza y brindarme su amistad;

M. C. Sergio Miguel Jácome Maldonado, por brindarme su amistad, confianza, por sus sugerencias y consejos, por preocuparse de que estuviera bien durante mi estancia en la unidad de mecanización.

A los trabajadores de la unidad mecanización del Campo Experimental Cotaxtla, por compartir conmigo experiencias, trabajo, amistad y su compañerismo personal de cada uno, al Sr. Antonio Nieves Hernández, a Rasiel Osorio Bolaños, a Israel Vela Carvajal, Sr. Apolinar García Zamora, gracias por hacer amena mi estancia en este campo experimental.

A mis compañeros de carrera, por compartir juntos las materias de la carrera y convivir con ellos; a mis compañeros y paisanos por convivir alegrías, tristezas, penas, corajes, etc. por vernos como nuestra familia, y no los menciono por que se me podría olvidar poner en esa lista a alguno de ustedes.

## **DEDICATORIA.**

Con amor y respeto a mis padres

A mi padre Maximo Porras González

Con todo el respeto y admiración que siempre te he tenido, por ser más que mi papa mí amigo, gracias por confiar en mí, por tus consejos y por enseñarme la bueno de la vida y prevenirme de lo malo; en donde quiera que estés gracias papa lo logre.

A mi madre Maria del Refugio Pérez Martínez

Por velar siempre y en todo momento por mi, por que jamás me dejaste rendirme, siempre me impúlsate a seguir y a pesar de tantas carencias y tristezas siempre me apoyaste, muchas, pero muchas gracias mama.

A ti Ayerim Porras Pérez

Por que a pesar de tu duro carácter que admiro mucho, siempre has estado con migo y nunca me has dejado solo en ningún momento, gracias Aye por confiar en mi y por las limitación que has pasado para hacer posible mi carrera discúlpame, te quiero mucho hermana.

A la Familia Porras Cornejo, por su apoyo, así como su confianza y desconfianza que me tuvieron me ayudo a concluir mi carrera, a usted tío Pedro-Matilde Porras González (tejon) muchas gracias por su apoyo incondicional, tía Luci gracias por sus bendiciones que siempre han sido oportunas; así también sin olvidar a mis primos que siempre me ven como su hermano.

A ti amor que siempre estuviste apoyándome, a pesar de la distancia que siempre existió entre tu y yo, eres parte fundamental de todo esta trabajo, gracias por tu amor y tu comprensión.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS .....	8
RESUMEN .....	10
1 INTRODUCCIÓN .....	11
1.1 Antecedentes .....	15
1.2 Objetivos .....	18
1.3 Hipótesis .....	18
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
2.1 Definición de términos relacionados con el sistema de labranza. ....	19
2.2 El sistema de labranza tradicional y de conservación.....	21
2.3 Ventaja y limitantes del sistema de labranza de conservación .....	25
2.4 Ventajas de la labranza de conservación .....	26
2.5 Limitantes .....	28
2.6 Situación actual del sistema de labranza de conservación en el mundo y en México.....	31
2.7 Evaluación de la sostenibilidad de la agricultura conservacionista .....	32
2.8 Factores físicos o características físicas en la evaluación de los suelos .....	33
2.9 Factores químicos en la evaluación de los suelos .....	40
2.10 Factores biológicos a considerar .....	51
2.11 El concepto de agricultura conservacionista.....	52
2.12 El concepto de calidad de suelo .....	55
2.13 Indicadores de calidad de suelo .....	56
2.14 Selección de indicadores para la evaluación.....	56
3 MATERIALES Y METODOS .....	57
3.1 Área experimental.....	57
3.2 Factores físicos evaluados.....	59
3.3 Factores físico-químicos .....	61
3.4 Factores biológicos .....	65
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
4.1 Resultados de los Indicadores físicos .....	67
4.2 Resultados de los indicadores químicos .....	71
4.3 Factores biológicos .....	74
5 CONCLUSIONES Y DISCUSIONES .....	77
6 BIBLIOGRAFIA.....	80

# ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Clasificación de agricultores con relación a la fuente de energía utilizada (INEGI, 1991). .....	15
Cuadro 2.1. Diferencias entre los sistemas de labranza. ....	22
Cuadro 2.2 Comparación de las formas y definición de labranza de conservación (Conservation Tillage Information Center, 1984). ....	24
Cuadro 2.3 Estados del agua en el suelo. (Narro, E. 1994). ....	38
Cuadro 2.4 pH óptimo del suelo para diferentes cultivos (Rehs, 2001, modificado de Sprague, 1964) .....	41
Cuadro 2.5. Relación entre la disponibilidad entre la cantidad de fósforo y potasio disponible en dos sistemas de labranza a diferentes profundidades de suelo. (Figueroa, 1996). ....	50
Cuadro 3.1 Clasificación de pH (potencial hidrógeno) .....	62
Cuadro 3.2 Clasificación de materia orgánica .....	62
Cuadro 3.3 Clasificación de los suelos según el contenido de nitrógeno .....	62
Cuadro 3.4 Clasificación de el Potasio (K) .....	63
Cuadro 3.5 Clasificación para fósforo extraíble (P) .....	63
Cuadro 3.6 Clasificación para fósforo extraíble (P) .....	63
Cuadro 3.7 Índice de estratificación.....	64
Cuadro 3.8 Clasificación de C. I. C. ....	65
Cuadro 4.1. Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) del suelo para los tratamientos de labranza y rotaciones en el Campo Experimental Cotaxtla durante 2005 .....	68
Cuadro 4.2. Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) del suelo para los tratamientos de labranza y rotaciones en el Campo Experimental Cotaxtla durante 2006 .....	68
Cuadro 4.3. Resistencia a la penetración por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en Campo Experimental Cotaxtla. 2005.....	69
Cuadro 4.4. Resistencia a la penetración por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en Campo Experimental Cotaxtla.2006.....	69
Cuadro 4.5. Tasa de infiltración por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en el Campo Experimental Cotaxtla. 2005.....	70
Cuadro 4.6. Tasa de infiltración por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en el Campo Experimental Cotaxtla. 2006.....	70
Cuadro 4.7. Resultados de los análisis de suelo por tratamiento de labranza y rotación en el ciclo PV 2005 .....	72
Cuadro 4.8. Resultados de los análisis de suelo por tratamiento de labranza y rotación en el ciclo PV 2006 .....	72



Cuadro 4.9. Población de lombrices ( <i>Polypheretina elongata</i> ) por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en Campo Experimental Cotaxtla. 2005.....	74
Cuadro 4.10. Población de lombrices ( <i>Polypheretina elongata</i> ) por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en Campo Experimental Cotaxtla. 2006 .....	75
Cuadro 4.11. Rendimiento de grano de maíz VS-536 por tratamiento de labranza y rotación de cultivos (Kg. ha <sup>-1</sup> ) C. E. Cotaxtla.....	76

## RESUMEN

El Principal Objetivo de este trabajo es evaluar algunos indicadores de la Calidad del suelo, en tres diferentes sistemas de labranza, los cuales son Labranza Cero (LC), Labranza Mínima (LM) y Labranza tradicional (LT), bajo condiciones de temporal en la región de el trópico húmedo de Veracruz, durante el ciclo primavera – verano en cultivo de maíz y con rotaciones de frijol mucuna; La aplicación de Calidad de suelo (CS) en este proyecto permitirá desarrollar un marco conceptual para interpretar los indicadores de la calidad del suelo adecuados a las condiciones edáficas, climatológicas y de manejo.

Los indicadores seleccionados a evaluar fueron Densidad aparente (Da), Resistencia a la penetración (Rp), Humedad del suelo, Infiltración, Numero de lombrices, dinámica de población de Malezas, Capacidad de Campo, Materia Organica M. O., pH, Potasio (K), Fosforo ( P), Capacidad de Intercambio Cationico y rendimiento de grano. Cada uno de los indicadores se desarrollaron bajo la metodología conocida de cada uno de ellos; para poder observar los cambios con respecto a los tomados en el año anterior.

El excesivo uso y paso de maquinaria en los terrenos hace que los indicadores del suelo sean modificados implementando LC, LM y LT, los cuales son analizados en este trabajo, determinando así la significancia e importancia de sus cambios, mediante los cuales tenemos una información de las condiciones de dichos indicadores que son representativos para el trópico húmedo. Apoyándonos y complementando con los resultados de rotación de cultivo con frijol mucuna, teniendo como función la fijación de nitrógeno.

Los tres sistemas en los que son medidos los indicadores de calidad, son terrenos en los cuales se implementó el tipo específico de labranza desde hace seis años aproximadamente ; la metodología de calidad de suelos indica que a partir de los tres años de laboreo con un sistema de labranza específico se puede comenzar a analizar los indicadores.

# 1 INTRODUCCIÓN

En Veracruz son sembradas anualmente 12 000 ha de maíz bajo labranza de conservación, representando sólo el 2.4% de las 500 000 ha totales que se siembran con este cultivo. La labranza de conservación consiste principalmente en la no remoción de la capa arable del suelo, permitiendo sobre este un mantillo de residuos de cultivo, el también llamado modelo de agricultura conservacionista (AC) el cual busca conservar y mejorar los suelos (Santos *et al* 2005).

La agricultura es la actividad pacífica por excelencia, pero ella está sujeta a revoluciones internas y periódicas, que le dan nueva vida, deben haberse presentado muchas de ellas a lo largo de su historia. El primer cambio sobresaliente en tiempos más recientes fue el ocurrido en el siglo XIX, la revolución industrial provocó cambios en la agricultura, pero son más trascendentales los que ha sufrido en el siglo XX, particularmente en la segunda mitad. Así un punto notable de quiebre fue la llamada “Revolución Verde” de la década de los 70`s, que en su origen se refería solamente al efecto que las variedades mejoradas de trigo estaban teniendo en el contexto mundial. Posteriormente, a estas variedades se adicionó el resto de los insumos: fertilizantes, insecticidas, herbicidas, irrigación, etc. Esta fórmula conjunta que se conoció universalmente como “Revolución Verde”, que no coincide con el planteamiento original, elevó substancialmente la productividad siempre que los ambientes y los recursos disponibles reunieran las condiciones para su éxito (Claverán, 2001).

La misma fuente indica que el concepto de agricultura sostenible comenzó a conocerse en muchos países, como la solución conciliatoria y permanente entre la productividad y la conservación de los recursos, particularmente suelo, agua y bióta. El primer paso obligado para ingresar al ámbito agrícola conservacionista y eventualmente sostenible, es practicar la llamada labranza de conservación, la cual tiene varias modalidades en su aplicación, desde labranza reducida hasta la ausencia total de labranza o labranza cero. En cualquiera de las formas que se aplique, existe una condicionante ineludible:

cubrir el suelo con parte de los residuos de la cosecha anterior, para así acercarse más al proceso natural.

México es un país con una superficie de 194 millones de hectáreas de las cuales están abiertas a la agricultura aproximadamente 30 y se cosechan anualmente alrededor de 20 millones que equivale al 10 % de la superficie total. El país presenta grandes variaciones en su altitud, debidas a dos grandes cadenas de montañas que corren paralelas a lo largo del país y se fusionan para formar una tercera cordillera en el extremo sur. Estas topografías, relacionadas con la latitud, originan un sistema climatológico que va desde climas áridos extremos con precipitaciones medias anuales menores de 200 mm a climas tropicales húmedos con lluvias medias anuales superiores a 2 000 mm. Un total de 28 tipos de climas se identifican en un mosaico complejo, donde desafortunadamente en más del 50% del país predominan climas áridos y semiáridos (Medina *et al* 1998).

El origen geológico, el relieve y el clima han dado lugar a una variedad de suelos en México, donde ocurren 25 de las 28 unidades de suelo propuestas por la clasificación FAO/UNESCO/ISRIC, los suelos más abundantes son los Leptosoles, Regosoles y Calcisoles. (INEGI, 1998).

En el país ocurren 37 regiones hidrológicas y se determinan 314 cuencas hidrográficas mayores. México recibe una media anual aproximada de 475 kilómetros cúbicos de agua, de los cuales 182 mil millones de metros cúbicos se almacenan en 2 100 presas (INEGI, 1998).

México para fines exclusivamente prácticos, fue dividido en cuatro regiones: árida y semiárida 52% (150 a 500 mm); templada 13% (600 a 900 mm) precipitación media anual, aquí se incluye la mayor parte de las montañas; tropical seca 27% (900 a 1200 mm), y tropical húmeda 8% (superior a 1200 mm). Esto no es una clasificación científica, pero da una idea general de la situación que guardan las grandes regiones ecológicas del país en cuanto a la precipitación pluvial que reciben.

La población humana en México tuvo un crecimiento exagerado en el siglo XX en la primera mitad solamente se duplicó, cambio de 10 a 20 millones, pero en la segunda mitad del siglo, aumento de 20 a casi 100 millones (400 %) que en cierto modo sigue la tendencia mundial. Además de este incremento demográfico tan importante y preocupante, la población se mudó de sitio, a mediados del siglo, México era un país predominantemente rural para convertirse en la actualidad en un país urbano, los números prácticamente se invirtieron. Este es un fenómeno común en toda América Latina. Otra fuga importante de la población rural es al extranjero, tendencia que creció bastante en la última mitad del siglo y se trata principalmente de población predominante de origen rural (INEGI, 1991).

La agricultura mexicana partió de la fusión de dos culturas, la base fue la agricultura indígena que de hecho tenía un historial de alrededor de 5 000 a 9 000 años de antigüedad y que entre otras cosas había logrado domesticar al maíz (Fussell, 1992). La agricultura original era en realidad conservacionista, sembraban a piquete y no quedaba la superficie desnuda; incluso la roza-tumba y quema no era nociva porque los ciclos de descanso eran lo suficientemente largos para permitir la rehabilitación total del suelo. Fue sobrepuesta a ella la agricultura europea, prácticamente la originaria del mediterráneo que trajo al Continente Americano nuevos cultivos, herramientas aperos de trabajo y animales, lo más sobresaliente de este cambio fue haber introducido a los sistemas indígenas una nueva fuente de energía generada por animales: equinos y bovinos, hasta entonces desconocidos. Esta fuerza animal jalaba un arado conocido como "arado egipcio" que roturaba la tierra, pero afortunadamente no invertía el perfil, hacia en realidad un trabajo parecido al de un cincel.

La integración de ambas culturas fue gradual y dio lugar a sistemas autóctonos muy variados y acoplados a todos los ambientes del país. Aunque la agricultura que depende exclusivamente de la energía humana no ha desaparecido hasta ahora, debido principalmente a la dificultad de hacer agricultura en suelos con pendientes demasiado pronunciadas, muy frecuentes en México, o bien porque los agricultores aun cuando tengan suelos con menos

pendientes carecen de recursos para comprar o rentar los animales de trabajo (Cruz, 1997).

Durante el siglo XIX se introdujeron algunos insumos tecnológicos del exterior, fueron colonizados y no produjeron cambios importantes en los sistemas agrícolas. La evolución de la agricultura nacional se dio realmente hasta el siglo XX y la mayor transformación tuvo lugar en la segunda mitad de ese siglo. Así el arado de vertedera que invierte el perfil del suelo, inventado en Holanda y posteriormente rediseñado y comercializado masivamente en Estados Unidos por John Deere, a partir de la segunda mitad del siglo XIX. Este se popularizó en México con esfuerzo del gobierno hasta casi un siglo después y ahora, curiosamente la tendencias es eliminarlo totalmente de la agricultura, para beneficio del propio suelo.

La transformación de la agricultura en México se aceleró a partir de la segunda mitad del siglo XX, el inicio de la segunda guerra mundial, marcó el principio del proceso actual de globalización. El mejoramiento genético de maíz y trigo fue la “Revolución Verde” originalmente enfocada sólo al mejoramiento genético y posteriormente se agregó la aplicación masiva de fertilizantes químicos y pesticidas, culminó con avances tecnológicos espectaculares y el paquete completo se denominó “Revolución Verde”, aplicado con éxito productivo cuando las condiciones ambientales y socioeconómicas lo permiten. El siguiente paso fue popularizar las formulas completas en todos los sistemas agrícolas del país, por supuesto que no se logró generalizarlo, pero si se consiguió incorporar a casi todos ellos algunos elementos de su catálogo tecnológico, que en muchos casos se aplican separadamente, tales como semillas mejoradas, fertilización química, combate de plagas, etc. Existe en México enorme diversidad en el número de combinaciones y la intensidad con que estos elementos concurren en los sistemas de producción actuales. La tendencia hacia la agricultura conservacionista que se inicio a partir de los setentas y se incorporó poco a poco a la agricultura mexicana, será descrita más adelante en este documento.

La situación que guarda actualmente la agricultura de nuestro país, la definen una multitud de indicadores, ante la dificultad de enunciarlos, se cita la clasificación de agricultores en el Cuadro 1.1 de acuerdo con la fuente de energía que se utiliza para hacer el mayor volumen de trabajo que el cultivo requiere particularmente en el suelo.

**Cuadro 1.1 Clasificación de agricultores con relación a la fuente de energía utilizada (INEGI, 1991).**

Fuente de energía	Números de agricultores (miles)	%
Energía humana solamente	1,200	34.4
Energía animal	1,200	34.4
Energía y tractor	400	11.5
Totalmente mecanizados	685	19.7
Total	3,485	100

Estos datos dan una idea general sobre el nivel de desarrollo socioeconómico, la capitalización del campo, así como también el grado de dificultad que tiene la agricultura, por efecto de la pendiente de muchos terrenos marginales para la agricultura que son trabajados a mano, los que en muchos casos más bien tienen potencial forestal, para captación de agua, pecuario y otros usos.

### **1.1 Antecedentes**

La euforia que se desató a partir de la “Revolución Verde” duro menos de una década, una serie de sucesos como la crisis del petróleo que se presento en Estados Unidos en los años setentas, las sequías en África, la contaminación, los altos índices de pérdidas de suelo observados en todo el mundo, etc., crearon la necesidad para el cambio de agricultura que venia desarrollándose desde la década de 1930 en Estados Unidos.

Uno de los primeros contactos que se tuvo en México con el nuevo sistema de cultivo, se dio a finales de la década de los setentas cuando el

Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT) inició un programa de capacitación en sus instalaciones e invitó a un grupo de técnicos e investigadores de FIRA (Institución financiera y de desarrollo de segundo piso) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) a un recorrido por varias regiones agrícolas de Estados Unidos, que habían adoptado la labranza de conservación en sus campos respectivos: demostración y promoción en el FIRA e Investigaciones en el INIA.

FIRA a partir de entonces inició un programa permanente de actividades de capacitación, incluyendo centros de capacitación especializados y estableció una profusa red de lotes de demostración, conferencias, congresos internacionales, organización de productores, y sobretodo promovió y descontando con bancos de primer piso, financiamientos para préstamos de avío y refaccionarios dirigidos a fomentar labranza de conservación en todo el país (González, 1990).

La investigación del INIA en labranza de conservación tiene sus primeros antecedentes desde 1975, cuando fueron establecidos experimentos con labranza cero, aunque el suelo no fue cubierto con residuos. Los resultados obtenidos no fueron sobresalientes y se abandonó esa línea de investigación, sólo algunos ensayos aislados se hicieron posteriormente. Se retomó la investigación a raíz del viaje de observación patrocinado por el CIMMYT, fueron establecidos lotes experimentales en varios lugares del país. Desafortunadamente, su actividad fue en declive hasta el inicio de la década de los noventa en la que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) la aceleró mediante la coordinación de la región Centro, con la Pacífico Centro para organizar un programa más agresivo de investigación en labranza de conservación. En 1996 el INIFAP creó el Centro Nacional de Investigaciones para Producción Sostenible (CENAPROS), que tiene la responsabilidad de coordinar la investigación sobre labranza de conservación que desarrollan los ocho centros regionales de la institución, donde aproximadamente 55 investigadores participan directamente en la investigación sobre labranza de conservación en un programa nacional. El primer informe fue publicado en 1997, donde se resumen los resultados



obtenidos por INIFAP y otras instituciones relacionadas o afines (Claverán *et al*, 1997).

Otras instituciones también han desarrollado investigaciones y programas de transferencia de tecnología conservacionista, algunas son de enseñanza y entre ellas están el Colegio de Posgraduados, el más activo en este campo, ha efectuado investigaciones en varios lugares del país así como elaborado tesis de maestría y doctorado en particular énfasis en las propiedades y relaciones edáficas e hídricas, así como un manual para labranza de conservación (Figueroa y Morales. 1992). El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ha trabajado principalmente en regiones tropicales: La Fraylesca y Motozintla, Chiapas (Van Nieuwkoop, 1994) y los Tuxtlas, Veracruz. (Erenstein y Cadena, 1997; Buckles y Erenstein, 1996; Soule, 1997) y en Cd. Guzmán, Jalisco (Scopel 1997) desde hace más de 10 años. Asimismo algunas organizaciones no gubernamentales (ONG) vienen participando también en el campo investigación-transferencia. Un ejemplo organizado es la red que ha consolidado y financiado parcialmente la Fundación Rockefeller la cual opera principalmente en ambientes tropicales y están coordinadas universidades, instituciones de investigación, gobiernos estatales y con otras ONG. Uno de sus programas más importantes es el del sur de Sinaloa en coordinación con INIFAP y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). (Herrera y Palacios, 1996) donde se trabaja en manejo agrosilvopastoril de los recursos y es uno de las primeras experiencias en México donde se aplica labranza de conservación en la producción de forraje.

México está dentro de los acuerdos internacionales para fomentar la labranza de conservación, firmó el documento de Río de Janeiro, la Agenda 21 se refiere a la labranza de conservación como uno de los instrumentos para conservar el suelo y el agua. Asimismo la Cámara de Senadores en 1995 ratificó la convención internacional de Lucha contra la Desertificación que también la involucra. Operan en México redes y asociaciones internacionales para este efecto.

Es preocupación del gobierno federal y de algunos estados fomentar la labranza de conservación, la entonces Secretaria de Agricultura Ganadera Y Desarrollo Rural (SAGAR) contrato en aquel año 8 mil técnicos distribuidos en todo el país, la mitad de ellos para asesorar el incremento en la productividad y el resto para programas de desarrollo rural. En 1999 se les impartieron un total de 202 cursos sobre labranza de conservación y practicas afines a un total de 5 827 de esos técnicos para coadyuvar el Programa de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva. El Programa Alianza para el Campo también contempla el subsidio de 20% del precio en la compra de sembradora para labranza de conservación lo mismo que tractores y la preparación de estos.

Existe en México infraestructura y recursos humanos para desarrollar investigación tanto en el INIFAP como en las Universidades, lo que evidentemente falta es integración y esfuerzo.

## **1.2 Objetivos**

Determinar la interacción de indicadores de calidad de suelo y como influyen en las recomendaciones de la intensidad de labranza de conservación

Evaluar la sostenibilidad de agro-ecosistemas con componentes de manejo conservacionistas y sus contrapartes con manejo tradicional, así como el manejo de la rotación de cultivo para el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

## **1.3 Hipótesis**

Existen indicadores de sostenibilidad que son robustos, están relacionados con procesos críticos biofísicos y sociales, son fáciles de medir y son capaces de detectar cambios que ocurren en poco tiempo en agro-ecosistemas sometidos a manejos diferentes.

Mediante la cuantificación de indicadores de calidad de suelos se puede predecir cuando un suelo puede iniciarse en el proceso integral de labranza de conservación.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### **2.1 Definición de términos relacionados con el sistema de labranza.**

**Labranza.** La labranza o preparación del terreno se refiere a cualquier manipulación mecánica del suelo que altere la estructura y/o resistencia del mismo, con el objetivo de proporcionar y mantener en el suelo las condiciones optimas para la germinación y desarrollo de las plantas (Figueroa, 1982).

Existe otra manera de clasificar las operaciones de labranza de acuerdo a la época durante el ciclo del cultivo en que se realicen y a la profundidad del laboreo. Los términos utilizados en esta clasificación se describen a continuación.

**Cama de siembra.** Es aquella capa de suelo que ha sido laborada para producir una condición que promueva la germinación, la emergencia y el crecimiento de plantas (Braunack y Dexter, 1989).

**Labranza primaria.** Es aquella que remueve y muelle el suelo para reducir la compactación, y para enterrar o mezclar materiales vegetales y fertilizantes en la capa labrada. La labranza primaria es más agresiva y profunda y permite una mayor rugosidad superficial en comparación con la labranza secundaria son: arado de vertederas, arado de cinceles, arado de discos, subsoleador y rastra de discos.

**Labranza secundaria.** Labranza que remueve el suelo a una profundidad menor que la labranza primaria, proporciona pulverización adicional y nivelación y elimina malezas. La preparación definitiva de la cama de siembra es la operación final de la labranza secundaria. Los implementos utilizados pueden ser: rastra de discos, rastra de picos, cultivadora, azadones rotatorios, rototiler y niveladora.

**Operaciones de cultivo.** Es lo que se conoce como labranza y corresponde a una labranza superficial de post-siembra cuyo propósito fundamental es ayudar al cultivo mediante el aflojamiento del suelo y/o erradicación mecánica de vegetación indeseable. Para este tipo de labranza se utiliza con frecuencia las cultivadoras de hileras, azadones rotatorios y rototilers.

**Labranza post-cosecha.** Es aquella que ocurre después de la cosecha del cultivo y antes de la labranza primaria con la finalidad de incorporar o colocar los residuos en la superficie del suelo, conservar humedad, controlar malezas y/o plagas del suelo. Para este tipo de labranza se utiliza con frecuencia las chapoleadoras, las rastras, los azadones rotatorios y las cultivadoras.

Otra forma de clasificación de las operaciones de labranza se basa en la combinación de implementos utilizados y época de realización. Estas combinaciones o secuencias de labores constituyen un sistema de labranza, la ASAE (1982) considera los siguientes:

**Labranza convencional.** Se refiere a las operaciones combinadas de labranza primaria y secundaria que normalmente se desarrollan en la preparación de la cama de siembra para un área y cultivo dado. En la labranza convencional el suelo se rompe con una serie de implementos primarios diseñados para producir fragmentos de agregados y terrones de diversos tamaños. Esta preparación del suelo se completa con operación de labranza secundaria para pulverizar, empaçar y homogeneizar la superficie del suelo, formando la cama de la semilla.

**Labranza mínima.** Comprende la manipulación necesaria para la producción de cultivos o para reunir los requerimientos mínimos de labranza bajo determinadas condiciones de suelo.

**Labranza cero o no labranza.** Procedimiento mediante el cual, la siembra se hace directamente y esencialmente en camas de siembra no preparadas.

**Labranza óptima.** Es un sistema idealizado que permite un retorno de ganancia máxima para un cultivo dado bajo determinadas condiciones (Figueroa y Ventura 1991).

**Labranza reducida.** Sistema en el cual las operaciones de labranza primaria son modificadas conjuntamente con procedimientos especiales de siembra de tal manera que se reduzcan o eliminen las operaciones de labranza secundaria.

**Labranza en franjas.** Sistemas en el cual solamente son laboreadas franjas aisladas del suelo.

## ***2.2 El sistema de labranza tradicional y de conservación***

**Labranza de conservación.** Es un sistema de labranza en el cual los residuos de cosecha son retenidos en o cerca de la superficie y/o la rugosidad superficial del suelo se mantiene, con el objeto de controlar la erosión y lograr buenas relaciones suelo-agua (Mannering y Fenster, 1983; Allmaras *et al*, 1985).

Sin embargo, para propósitos de evaluación y operativos, esa definición ha sido modificada para especificar precisamente la cantidad de cubierta de residuos en la superficie (Conservation Tillage Information Center, 1984), definiéndose en un 30%, ya que con esta cantidad se logra aproximadamente una reducción del 50% de la erosión del suelo (hídrica o eólica) en relación a un suelo sin cobertura de residuos en la superficie. La rugosidad superficial no fue especificada en la definición operacional de labranza de conservación.

En los sistemas de labranza de conservación y en especial la labranza cero, el suelo se prepara al mínimo sólo para enterrar la semilla, los residuos vegetales no se incorporan y quedan sobre la superficie, cubriendo al suelo como un mantillo. Debido a que no hay labranza, el suelo preserva su estructura nativa, sea buena o mala para el crecimiento de un cultivo en particular. El espacio poroso y su continuidad se mantienen intactos. Los residuos vegetales cubren el suelo disminuyendo la insolación, el impacto de la lluvia, la evaporación y el encostramiento.

Debido a que los desarrollos en labranza han sido muy grandes y a que terminologías en esta área obedecen a costumbres regionales, existen muchos términos que se han utilizado para denominar a sistemas de labranza similares.

En el siguiente Cuadro 2.1 se resumen de forma general las tecnologías nuevas y sus diferencias principales con la labranza convencional.

**Cuadro 2.1. Diferencias entre los sistemas de labranza.**

Sistema	Procedimiento general	Comentarios
<b>LABRANZA CONVENCIONAL.</b>		
1. Convencional	Se disturba el suelo (generalmente por inversión) mediante el arado por lo menos 25 cm, seguido de operaciones secundarias para preparar la cama de semilla (discos, picos, empacadoras).	Se produce una superficie del suelo finalmente dividida, desnuda y uniforme. Existen muchas variaciones incluyendo los arados rotatorios.
<b>LABRANZA REDUCIDA (MÍNIMA)</b>		
2. Con cinceles	Se disturba el suelo usando cinceles que varían de 10 a 25 cm en profundidades de trabajo. Se puede reducir la labranza secundaria en comparación con 1.	Es más rápido que 1, especialmente cuando se trabaja una profundidad somera; permanece más residuo orgánico en la superficie, la cual continua estando desnuda.
3. Sistemas de uno o dos pasos	Se usa el mismo equipo que en 1, pero se combinan uno o más de los implementos en	Reducción de la mano de obra; efectos comparables con 1 pero alcanzados con mayor rapidez.

	secuencia detrás de un mismo tractor.	
4. Siembra directa	La semilla se siembra con equipo especial en un suelo no laboreado en el que se ha mantenido la vegetación existente con herbicidas. Se puede remover el residuo mediante quema u otros procedimientos, antes de la siembra, una rastra ligera se puede incluir después de la siembra.	Si se remueven los residuos orgánicos la superficie del suelo queda en condición comparable a la del anterior. Es un procedimiento más rápido.
<b>LABRANZA DE CONSERVACIÓN</b>		
5. Cobertura de residuos	Se dejan los residuos en la superficie del suelo; el suelo se mezcla o corta por debajo de la superficie del mismo. No existe inversión de suelo.	Se deja una cobertura de residuos en la superficie del suelo.
6. Labranza en franjas	Labranza utilizando "azadas" (cinceles con punta de pata de ganso) o arados rotatorios, limitada a las hileras en donde se a va a sembrar el cultivo.	Se deja la cobertura de residuos entre las hileras.
7. Siembra directa sobre residuos vegetales dejados <i>in situ</i>	Similar a 4 excepto que los residuos vegetales permanecen en la superficie del terreno y no hay uso de rastras subsecuentes.	Cobertura de residuos vegetales permanentes en la superficie del suelo.

**Tipos de labranza de conservación.** La labranza de conservación es un sistema de laboreo y siembra que mantiene por lo menos un 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos de cultivos después de la siembra. La cobertura de residuos puede provenir de un cultivo forrajero, un cultivo de cobertura de invierno, un grano pequeño o un cultivo en hileras. La labranza reducida es una forma no definida de labranza de conservación en el que se alcancen los requerimientos de un 30% de cobertura, por estas razones es más bien una combinación de labranza de coberteras y labranza en franjas.

En la “**no labranza**”, no se disturba el suelo antes de la siembra. La siembra se realiza en una cama de semilla no mayor de 7 cm de anchura. El control de malezas se realiza mediante métodos no mecánicos, principalmente con herbicidas.

En el Cuadro 2.2 se da una comparación de las formas y definiciones de labranza de conservación, en las que no se consideran sistemas de labranza que se usan la rugosidad del suelo con fines de control de la erosión a menos de que permanezca un 30% de residuos de cultivo en la superficie.

**Cuadro 2.2 Comparación de las formas y definición de labranza de conservación (Conservation Tillage Information Center, 1984)**

Tipo de labranza de conservación	Operaciones de la cosecha a la siembra	Anchura de disturbio en el surco	Método de control de malezas
No labranza	Ninguna	2 – 7 cm	Herbicidas
Labranza en camellones	Ninguna	1/3 del área	Combinación
Labranza en franjas	Ninguna	1/3 del área	Combinación
Labranza de coberturas	Anchura total	Toda el área	Combinación

La **labranza en camellones** deja al suelo sin disturbio hasta antes de la siembra. Se laboreo aproximadamente un tercio de la superficie del terreno en el momento de la siembra utilizando escardillas o removedores de residuos. La siembra se hace en bordos o camellones con una altura entre 10 y 15 cm por sobre la parte media de los surcos. El control de malezas se realiza con una combinación de escardas y herbicidas. Las labores de cultivo se utilizan para reconstruir los bordos.

En la **labranza en franjas** el suelo se deja sin laborear hasta antes de la siembra. Al momento de sembrar se disturba aproximadamente un tercio de la superficie del terreno. La labranza se realiza con un arado rotatorio, un cincel en el surco de siembra o una escardilla. El control de las malezas se realiza mediante una combinación de herbicidas y escardas.



Para el caso de la **labranza de coberteras** se laborea la superficie total del suelo antes de la siembra. Se utilizan cinceles con puntas en V del tipo de pata de ganso (cincel de azadas). Al igual que la anterior el control de malezas se logra mediante una combinación de herbicidas y escardas.

El papel de la labranza en el contexto de la agricultura sostenible o sustentable ha sido definida por diversos organismos internacionales. Aquí presentamos el concepto que ha desarrollado el Congreso de los EUA. Según éste la agricultura sostenible es un sistema que consiste de practicas de cultivos y animales en un lugar específico de adaptación, el cual a largo plazo satisface las necesidades humanas de alimentos, fortalece la calidad del medio ambiente y los recursos naturales básicos de los cuales depende la economía agrícola (Anónimo, 1992).

### ***2.3 Ventaja y limitantes del sistema de labranza de conservación***

Los grandes beneficios de la labranza de conservación caen dentro de tres grandes rubros: conservación del suelo, ahorro energético y ahorro en tiempo y mano de obra, los que se describen a continuación.

1. Conservación del suelo, la labranza de conservación reduce grandemente la erosión del suelo. Esto es debido fundamentalmente a la cobertura vegetal que la acompaña y que mantiene al suelo protegido del golpeteo directo de la lluvia y del secado abrupto, evitando así la pérdida de estabilidad e identidad de las unidades estructurales del suelo superficial. La erosión del suelo se incrementa conforme se disminuye la cobertura vegetal (Figuroa, 1975).

2. Ahorros en energía utilizada. El uso de combustibles por la maquinaria agrícola constituye el uso energético más grande en la producción de cultivos, cuando se utiliza maquinaria. La labranza de conservación se traduce en reducciones en el uso de combustibles sencillamente porque se evitan pasos

del equipo agrícola durante el proceso de producción. La cantidad de combustible ahorrado varía entre áreas geográficas y entre explotaciones. Esto se debe a diferencias en el tipo de suelo, tamaño y tipo de herramientas de labranza utilizadas, profundidad de laboreo, tamaño y forma del terreno (los terrenos irregulares y pequeños requieren de más vueltas ocasionando un consumo mayor de combustible) y el tamaño y condición mecánica del tractor. La maquinaria y el combustible representan el 50% del uso de energía fósil del sistema. Cuando se utiliza labranza cero se obtiene una reducción de la energía utilizada de aproximadamente el 10% (Pimentel y Burgess 1980).

3. Ahorros en tiempo y mano de obra. La eliminación de la labranza trae como consecuencia disminuciones en el tiempo necesario para la producción de cultivo. La mayoría de los estudios señalan que la labranza de conservación reduce el tiempo y mano de obra para cultivar una hectárea entre un 50 y un 60%. El tiempo que se ahorra en laboreo es mayor, pero se ve disminuido por el hecho de que la labranza de conservación requiere más tiempo de manejo (en comparación con el tiempo de trabajo) y de operación de la sembradora de labranza de conservación, ya que ésta trabaja a una velocidad menor que las sembradoras convencionales. Los ahorros en tiempo de mano de obra repercuten de forma diferente para los productores, dependiendo de factores como son: a) Otras demandas de uso del tiempo, b) Aspectos climáticos y estacionales, c) Disponibilidad de mano de obra y d) aspectos personales.

## ***2.4 Ventajas de la labranza de conservación***

Las principales ventajas de la aplicación correcta de la labranza de conservación son:

**Disminución de la pérdida de suelo.** Uno de los procesos de la erosión hídrica es el desprendimiento de las partículas del suelo salpicamiento de la lluvia, y uno de los principios para su control es el mantenimiento de la cobertura del suelo. En promedio de cuatro años de registro en lotes de escurrimiento de 2.0 metros de ancho por 25.0 metros de largo, se encontró que en un Entisol de la región de Los Tuxtlas, Ver., maneja con cultivo doble de

maíz sin prácticas de conservación, se perdieron 163 toneladas de suelo hectárea por año. Mientras que donde se aplicó la labranza de conservación, dejando sobre la superficie todos los residuos de los dos cultivos de maíz, la pérdida de suelo se redujo a 0.9 toneladas (Uribe et al. 1999).

**Disminución del escurrimiento.** Otro de los procesos de la erosión es el transporte del suelo desprendido por el escurrimiento superficial, para su control se requiere maximizar la infiltración. En las mismas condiciones del párrafo anterior, el coeficiente de escurrimiento, expresado como la relación entre el escurrimiento y la precipitación, en labranza de conservación fue de 14.5% cuando el suelo se manejó con labranza de conservación y de 29.3% cuando se realizó labranza convencional. Estos resultados muestran la eficiencia de la labranza de conservación para proteger al suelo contra la erosión hídrica, en términos de una evidente disminución del escurrimiento superficial y de la pérdida de suelo.

**Reducción de los costos de cultivo.** Otra ventaja de la labranza de conservación es la disminución de costos de producción de los cultivos que para el ciclo primavera-verano adquiere valores de 20% y hasta de 35% para el ciclo otoño-invierno. Estos ahorros en costos se presentan principalmente en los conceptos de maquinaria e insumos (semilla, agua y herbicidas), así como en los costos financieros (FIRA, 1996). Respecto a la maquinaria, se tienen evidencias de que el uso de equipos para labranza de conservación disminuye hasta en 60% el tiempo requerido para establecer una hectárea de cultivo, con el consecuente ahorro e mano de obra, estimado en 50% menos en las actividades anteriores a la cosecha.

**Rendimientos unitarios.** Un análisis de la literatura en relación con el efecto de la labranza de conservación en el rendimiento indica que los resultados varían, en algunos ensayos se ha obtenido mejor rendimiento, mientras que en otros el efecto fue exactamente opuesto. En general, el maíz rinde más con labranza de conservación en ambientes cálidos, en condiciones de escasa humedad y con disponibilidad de nitrógeno. En algunos estudios se

ha encontrado de 15 a 25 % más de agua disponible para el cultivo durante el ciclo, como consecuencia de la disminución de las pérdidas por evaporación y una mejor infiltración del agua de lluvia por la presencia del mantillo (Wells, 1984).

**Oportunidad de siembra.** La labranza de conservación permite realizar con mayor oportunidad las diferentes labores agrícolas, entre las cuales sobresale la siembra del cultivo, por la disminución del rendimiento encontrada por cada día de retraso en la fecha de siembra. Estudios realizados por Tinoco (1996) indican que la pérdida en rendimiento de maíz en el estado de Veracruz alcanza valores desde 60 hasta 253 kg. por día de retraso, dependiendo del genotipo utilizado.

## **2.5 Limitantes**

Algunos de los aspectos tratados a continuación son considerados como desventajas de la labranza de conservación:

**Dinámica y control de maleza.** Los resultados experimentales indican que en los sistemas de labranza de conservación se reduce el número de especies de maleza presentes en el terreno, por ejemplo, el uso repetido de Atrazina o 2,4-D en maíz ocasiona un cambio en la composición de las malezas, reduciendo la presencia de especies de hoja ancha y favoreciendo el incremento de las gramíneas anuales y perennes que pertenecen a la maleza de hoja angosta (Esqueda, V. 1999). Por otra parte, el control de malezas en la labranza de conservación depende en gran medida del uso de herbicidas, situación que puede inducir a un uso indiscriminado de estos productos. Lo anterior indica que el uso de la labranza de conservación exige de un mejor conocimiento del problema de las malezas para un control más integrado de las mismas.

**Dinámica y control de plagas y enfermedades.** Los efectos de la labranza de conservación sobre plagas y enfermedades pueden ser muy

variados, dependiendo del tipo de enfermedad o plaga, cultivos y situaciones ambientales presentes. Por ejemplo, en el Bajío se ha observado que cuando se establece maíz en labranza de conservación, seguido de trigo o cebada en siembras tempranas durante el mes de abril, y que la pata de estos cultivos no se pica, la incidencia de trips es mínima, en comparación con un maíz establecido durante este tiempo en labranza convencional (FIRA, 1996). En algunas localidades del centro de México, se ha registrado un incremento de las poblaciones de plagas rizófagas en sistemas con labranza de conservación, como por ejemplo, la gallina ciega. Sin embargo, muchas especies se alimentan de la materia orgánica en descomposición, sin registrarse daños al cultivo. Estudios realizados en Los Tuxtlas, Veracruz indican que cuando se maneja frijol en sucesión de maíz con labranza de conservación, la población de la babosa (*Veronicella moreleti*) se incrementa y ocasiona ataques severos al cultivo del frijol. Sin embargo, su control antes de la emergencia del frijol con cebos preparados, protege adecuadamente este cultivo.

**Equipo especializado.** Cuando el sistema de producción está mecanizado, se requiere de equipo especializado para aplicar la labranza de conservación. Hace algunos años el equipo era importado, implicaba un alto costo, y no siempre se adaptaba a las condiciones de México; en la actualidad se han desarrollado modelos de sembradoras menos sofisticadas, de menor costo y con buena precisión. El INIFAP en sus unidades de Mecanización en los estados de Veracruz y Colima ha diseñado prototipos de sembradoras de labranza de conservación con características versátiles y de amplia adaptación para las condiciones de México.

**Eficiencia en el uso del Nitrógeno.** Otra de las desventajas de la labranza de conservación se relacionan con la menor eficiencia en el uso del nitrógeno por las plantas, por lo que es necesario agregar entre 20 y 30 por ciento más de este nutrimento a la dosis recomendada para labranza convencional. Esto se debe a que parte de este elemento es fijado por los microorganismos que descomponen la materia orgánica, por lo que no es recuperado por las plantas. Sin embargo, existen evidencias que cuando las dosis de nitrógeno son mayores que 200 kg. de nitrógeno por hectárea, la

eficiencia del nitrógeno es mayor en labranza de conservación. Por otra parte, la experiencia indica que la cantidad adicional de nitrógeno sólo es necesaria en los primeros dos o tres ciclos de cultivo.

Las desventajas señaladas pueden ser contrarrestadas con un adecuado y oportuno manejo del cultivo, por lo que se dan las recomendaciones pertinentes en este manual.

**Suelos apropiados para labranza de conservación.** Las experiencias indican que en condiciones de temporal los mejores suelos para producir maíz en labranza de conservación son aquellos de textura media y gruesa con buen drenaje y cualquier grado de pendiente. También se han encontrado buenos resultados en suelos con susceptibilidad a la erosión y a la compactación. Sin embargo, los suelos severamente erosionados y compactados no responden a la labranza de conservación, hasta tanto mejoren sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

En humedad residual la labranza de conservación se puede utilizar en cualquier tipo de suelo. Sin embargo, existen mayores posibilidades de éxito en suelos profundos, relativamente planos de texturas medias y finas que almacenaron en su perfil mayor volumen de agua durante la época de lluvias. En estas condiciones la labranza de conservación mejora la eficiencia en el uso del agua.

Según Figueroa y Morales (1992), la labranza de conservación ha resultado adecuada para los órdenes de suelo siguientes: Andisol, Feozem, Cambisol, Xerosol, Fluvisol, Regosol Y Vertisol. Mientras que no se recomienda el uso de este sistema para suelos Solonchak y Luvisol.

Requisitos mínimos para la aplicación del sistema de labranza de conservación. Eliminar las compactaciones del suelo originadas por pisos de erado; corregir el pH del suelo; la eliminación de las malezas perennes; conocimiento en el uso adecuado y manejo de los herbicidas; y aplicación

adecuada de fertilizantes.

## ***2.6 Situación actual del sistema de labranza de conservación en el mundo y en México***

El lugar de origen y la mayor extensión mundial bajo labranza de conservación se encuentra en Estados Unidos, seguido por otros países del continente americano. En esta región del mundo se encuentra el 96% de la superficie total del globo bajo labranza de conservación (Derpsch, 1999). El proceso de cambio de la agricultura convencional a labranza de conservación no es de ninguna manera sencillo, el caso de México, cuyo macro escenario y antecedentes se descubrirán resumidamente, con el propósito de explicar la situación actual del país respecto a la labranza de conservación que indudablemente es de rezago, pero no puede decirse que sea atípica de la mayor parte de los países de América Latina.

La agricultura bajo los tipos de labranza conservacionista o bien labranza de conservación (LC) es una opción efectiva para disminuir la erosión del suelo, evitar la fuga de nutrimentos, conservar el agua, disminuir los costos e incrementar la productividad, como ha sido probado en aquellos países de las cinco regiones del mundo donde se practica. Aunque la mayor superficie bajo LC se encuentra en el Continente Americano: Estados Unidos donde se origino, Brasil, Argentina y Paraguay; el resto de los países están incrementando sus respectivas superficies, entre ellos México que tiene aproximadamente 650 000 hectáreas que representan el 3.25% de la superficie agrícola que se cosecha anualmente en los dos ciclos. Las causas del lento avance de LC en los últimos 20 años se asumen y tienen su origen en: a) tradición de casi 500 años de laboreo, b) utilización intensiva o quema de los residuos de cosecha, c) insuficientes asesores y capacitación a los agricultores, d) baja disponibilidad de recursos para maquinaria, herbicidas, etc. Las acciones actuales del gobierno y privadas auguran mayor tasa de incremento futuro de la LC.

(FAO, 2001) dice que la agricultura de conservación, que se ha estado promoviendo por 10 años, está aplicada actualmente en unas 58 millones de

hectáreas de tierra por todo el mundo, de las zonas tropicales al polar Ártico: Estados Unidos con alrededor 20 millones de has, Brasil 13.5 millones de has, Argentina 9.5 millones de has, Canadá 4 millones de has y Paraguay con 800 000 has.

La estimación sobre la superficie del país bajo la labranza de conservación hechas por FIRA (Ochoa, 1999) es de aproximadamente 650 mil hectáreas, esto representa aproximadamente el 3.25 % de la superficie cosechada anualmente en México en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno. La mayor superficie bajo labranza de conservación está concentrada en el centro occidente del país 79.9%, en la región sur 8.9%, en el sureste 10%, en el norte 15 y solamente 0.2% en el noreste. En lo que se refiere a cultivos, el maíz es el más importante aproximadamente 57%, le sigue el sorgo con 37.8%, el trigo 8.4% y otros cultivos 0.8% donde están algunas hortalizas como el brócoli.

## ***2.7 Evaluación de la sostenibilidad de la agricultura conservacionista***

Concepto de sostenibilidad y su diferencia con sustentable Libro CENAPROS  
El vocablo ingles “sustentable”, según Simon and Schuster’s Dictionariy (1973) teniendo dos acepciones en español: “sostenible y “sustentable”. Aunque las dos palabras encierran unidades de significado en común y en algunos textos son intercambiables, “sostener” (del latín sustinere) tiene un sentido de continuidad que usualmente no tiene “sustentar” (del latín sustentare, intensivo de sustinere). A pesar de que la Real Academia Española (1992) reconoce como una de las acepciones para “sustentar” ...”...conservar una cosa en su ser o estado...” es poco usual en el sentido de “mantener” y es mas frecuente su uso en el sentido de “fundamentar”. Esto queda de manifiesto en la única definición de la misma Real Academia española para la palabra sustentable ...”adj. Que se puede sustentar o defender con razones”. Por el contrario, el sentido de mantenimiento siempre queda implícito en “sostener”. En el caso de la agricultura muchos sistemas pueden “sustentarse” (en sentido de fundamentarse), pero no todos pueden “sostenerse” (en el sentido de



mantenerse). Del la misma forma, el fenómeno de “sostenibilidad” se intenta manifestar en el sentido de continuidad, mas que en el de fundamentación (sustentabilidad). Por estas razones, se ópto por el uso del sustantivo “sostenibilidad” en vez de “sustentabilidad” y del adjetivo “sostenible” en vez de “sustentable”.

## **2.8 Factores físicos o características físicas en la evaluación de los suelos**

**Densidad Aparente (Da).** La densidad aparente de un suelo, es la masa (peso) por unidad de volumen de suelo, incluyendo partículas sólidas y espacio poroso y se mide generalmente en  $\text{g/cm}^3$ ; su determinación es importante ya que su valor puede correlacionarse con algunas otras propiedades del suelo, como por ejemplo con el espacio poroso, velocidad de infiltración, capacidad de campo, humedad de saturación, así como para calcular lamina de riego.

La densidad de un suelo varía según el manejo que haya recibido. La labranza es un factor fundamental en el valor que tome la densidad aparente a corto o largo plazo.

Para la determinación de esta propiedad se cuentan con varios métodos como son de campo y de laboratorio. Entre los de campo tenemos el método del pozo y el método del extractor de núcleos. Mientras que entre los métodos de laboratorio se encuentran: el de parafina, el del petróleo y el de la probeta.

**Tasa de infiltración.** La infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo. La infiltración es un proceso de gran importancia económica, es vista por el ingeniero como un proceso de pérdida y por el agricultor como una ganancia. Del agua infiltrada se proveen casi todas las plantas terrestres y muchos animales; alimenta al agua subterránea y a la vez a la mayoría de las corrientes en el período de estiaje; reduce las inundaciones y la erosión del suelo.

En el proceso de infiltración se pueden distinguir tres fases:

- a) *Intercambio*. Se presenta en la parte superior del suelo, donde el agua puede retornar a la atmósfera por medio de la evaporación debido al movimiento capilar o por medio de la transpiración de las plantas.
- b) *Transmisión*. Ocurre cuando la acción de la gravedad supera a la de la capilaridad y obliga al agua a deslizarse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable.
- c) *Circulación*. Se presenta cuando el agua se acumula en el subsuelo debido a la presencia de una capa impermeable y empieza a circular por la acción de la gravedad, obedeciendo las leyes del escurrimiento subterráneo.

Capacidad de infiltración. Es la cantidad máxima de agua que un suelo puede absorber por unidad de superficie horizontal y por unidad de tiempo. Se mide por la altura de agua que se infiltra, expresada en mm/hora. La capacidad de infiltración disminuye hasta alcanzar un valor casi constante a medida que la precipitación se prolonga, y es entonces cuando empieza el escurrimiento.

A la lluvia que es superior a la capacidad de infiltración se le denomina *lluvia neta* (es la que escurre). A la lluvia que cae en el tiempo en que hay lluvia neta se le llama *lluvia eficaz*, por lo tanto, la lluvia neta equivale a la lluvia eficaz.

Factores que intervienen en la capacidad de infiltración

- A. *Tipo de suelo*. Entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el estado de fisuramiento del suelo, mayor será la capacidad de infiltración.
- B. *Grado de humedad del suelo*. La infiltración varía en proporción inversa a la humedad del suelo, es decir, un suelo húmedo presenta menor capacidad de infiltración que un suelo seco.

- C. *Presencia de sustancias coloidales.* Casi todos los suelos contienen coloides. La hidratación de los coloides aumenta su tamaño y reduce el espacio para la infiltración del agua.
- D. *Acción de la precipitación sobre el suelo.* El agua de lluvia al chocar con el suelo facilita la compactación de su superficie disminuyendo la capacidad de infiltración; por otra parte, el agua transporta materiales finos que tienden a disminuir la porosidad de la superficie del suelo, humedece la superficie, saturando los horizontes más próximos a la misma, lo que aumenta la resistencia a la penetración del agua y actúa sobre las partículas de sustancias coloidales que, como se dijo, reducen la dimensión de los espacios intergranulares. La intensidad de esta acción varía con la granulometría de los suelos, y la presencia de vegetación la atenúa o elimina.
- E. *Cubierta vegetal.* Con una cubierta vegetal natural aumenta la capacidad de infiltración y en caso de terreno cultivado, depende del tratamiento que se le dé al suelo. La cubierta vegetal densa favorece la infiltración y dificulta el escurrimiento superficial del agua. Una vez que la lluvia cesa, la humedad del suelo es retirada a través de las raíces, aumentando la capacidad de infiltración para próximas precipitaciones.
- F. *Acción del hombre y de los animales.* El suelo virgen tiene una estructura favorable para la infiltración, alto contenido de materia orgánica y mayor tamaño de los poros. Si el uso de la tierra tiene buen manejo y se aproxima a las condiciones citadas, se favorecerá el proceso de la infiltración, en caso contrario, cuando la tierra está sometida a un uso intensivo por animales o sujeto al paso constante de vehículos, la superficie se compacta y se vuelve impermeable.
- G. *Temperatura.* Las temperaturas bajas dificultan la infiltración.

## Variaciones de la capacidad de infiltración

Pueden ser clasificadas en dos categorías:

A. Variaciones en áreas geográficas debidas a las condiciones físicas del suelo.

B. Variaciones a través del tiempo en una superficie limitada:

a) Variaciones anuales debidas a la acción de los animales, deforestación, etcétera.

b) Variaciones anuales debidas a diferencias de grado de humedad del suelo, estado de desarrollo de la vegetación, temperatura, etcétera.

c) Variaciones a lo largo de la misma precipitación.

**Humedad en el suelo.** El suelo, desde el punto de vista hidrológico, es un depósito o almacén de agua cuya capacidad para retenerla y contenerla depende de sus propiedades físicas como son:

- Textura del suelo
- Estructura del suelo
- Densidad real o peso específico real
- Densidad aparente o peso específico aparente
- Porosidad
- Permeabilidad

Determinar el contenido de humedad en la profundidad de 0 – 35cm, como mínimo.

## Diferentes estados del agua en el suelo

Un suelo está saturado cuando todos sus poros o espacios están llenos de agua, es decir, cuando el agua se encuentra llenando su porosidad. En esta situación el suelo se encuentra sin aire.

La fuerza que interviene cuando el suelo está saturado de agua es la gravedad, en esta situación el agua circula libremente entre los espacios y

desciende en profundidad. Dicha agua se denomina *libre o de gravedad* (Cuadro 2.3).

Este estado desaparece por percolación del agua en un tiempo que varía según la textura del suelo, horas en suelos arenosos y días en arcillosos. Después una parte de agua queda en el suelo, retenida por fuerzas superiores a la gravedad, y al desaparecer parte del agua que saturaba al suelo, el aire llena el espacio que deja (Cuadro 2.3).

El agua retenida por fuerzas superiores a la gravedad es el *agua capilar*, que llena los espacios capilares y es retenida por fuerzas capilares producidas por el contacto aire-agua. En estos contactos se forman meniscos que retienen el agua a disposición de las plantas.

El agua capilar es la que verdaderamente retiene el suelo, por ello el agua de lluvia puede permanecer en el terreno a disposición de las plantas. El estudio del agua capilar es importante para el riego, ya que es preciso conocer la capacidad de este depósito para poder cubrir las necesidades de las plantas.

*Potencial capilar.* Es el trabajo para desplazar el agua en contra de las fuerzas capilares o para transformar un gramo de agua ligada en agua libre. Se expresa en centímetros de altura de una columna de agua necesaria para llevar el agua del suelo a la dosis de humedad precisa.

*Capacidad de retención o capacidad de campo.* Es la cantidad de agua mantenida en el suelo después de que el agua de gravedad ha sido drenada.

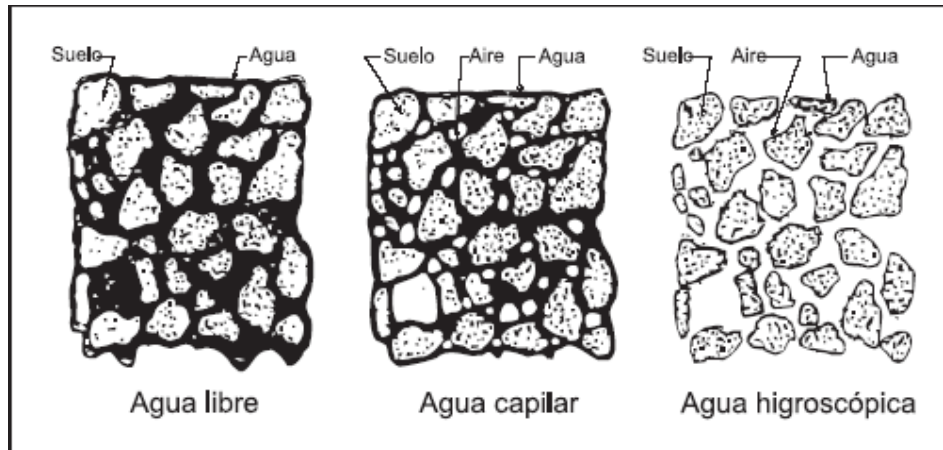
*Punto de marchitez.* Es el estado particular en que el agua es retenida por el suelo con fuerza superior a la succión de las plantas. La planta puede satisfacer algunas de sus necesidades de agua, pero no todas. Este punto es próximo a 15 atmósferas o 15 500 cm de altura de agua.

Volumétricamente es la dosis de humedad referida a suelos secos.

*Agua higroscópica.* Si la desecación del suelo continúa, se rompe la ligazón capilar y el agua se convierte en agua higroscópica. Las fuerzas que actúan son de 10 000 atmósferas, más o menos 100 Km. de altura de agua (Cuadro 2.3).

Una atmósfera equivale a una presión de 1 000 cm de altura de agua =1 k/cm<sup>2</sup>.

**Cuadro 2.3 Estados del agua en el suelo. (Narro, E. 1994).**



Esta clasificación de los diferentes estados del agua en el suelo es más teórica que real. No existen límites claros entre los estados definidos, y el suelo se comporta de manera diferente frente al agua según esté húmedo o seco.

Circulación del agua en el suelo. El movimiento del agua en el suelo se rige por distintas leyes, según la importancia relativa de las diferentes fuerzas en presencia de la humedad del suelo.

Primer caso. Cuando el contenido de humedad en el suelo es superior a la capacidad de retención, es decir, el suelo está totalmente saturado de humedad, el movimiento del agua se rige por la *gravedad*. En esta situación la permeabilidad es la propiedad que define la mayor o menor facilidad con la cual se realiza este movimiento.

Segundo caso. Cuando el contenido de humedad es inferior a la capacidad de retención, el movimiento del agua se rige por *difusión capilar*

hasta llegar al contenido de humedad que señala el punto de marchites y, pasando éste, el desplazamiento del agua está regido por la *evaporación*.

En este caso domina el potencial de fuerzas capilares sobre las restantes. La velocidad de circulación dependerá de los límites de humedad del suelo. Si la humedad es uniforme en todos los puntos del suelo, no hay movimiento.

### **Capacidad de campo**

La capacidad de campo se define como la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de la gravedad. La C.C. se obtiene cuando la humedad está sometida a una succión, de  $1/3$  de atmósfera, (33 KPA) en este punto se considera que los poros grandes o macro-poros están libres de humedad.

### **Resistencia a la penetración**

La labranza de conservación surge como una forma de evitar el deterioro del recurso suelo, ya que tiende a restituir la fertilidad y condiciones estructurales, si bien disminuye la degradación, en algunos casos puede conducir a un exceso de compactación (Hammel 1989).

Las labranzas son procesos dinámicos que causan profundos cambios en las propiedades físicas de los suelos las cuales persisten por tiempo variables, dependiendo del suelo y del clima y que pueden afectar fuertemente a los cultivos. Para describir estos cambios pueden utilizarse propiedades dinámicas que reflejan la reacción del suelo a la aplicación de fuerzas como la resistencia a la penetración o propiedades como la estabilidad de los agregados.

La labranza modifica el estado de compactación, existiendo discrepancia entre aumento o disminución de la resistencia mecánica, entre los que han encontrado aumento en labranza cero en los primeros centímetros (Chagas et al. 1994, Krüger 1996, Taboada et al. 1996) al ser comparada con labranza

convencional, citado por Vidal, Costas (1998), los que concluyen que luego de 4 años de implantado el sistema de labranza cero se observa un incremento de la compactación puesta de manifiesto por la resistencia mecánica de la capa superficial.

Barbagelata et al. (2000) concluyen que el crecimiento, rendimiento y biomas, eficiencia del uso del agua no difiere entre labranza convencional y cero, pero la resistencia mecánica superficial es mayor en labranza cero en un Argüido ácuico.

## **2.9 Factores químicos en la evaluación de los suelos**

**pH.** El potencial de hidrógeno (pH) es lo que comúnmente se denomina reacción del suelo y se puede definir como el grado de acidez o alcalinidad de un suelo, que depende de la concentración de iones  $H^+$  y se expresa por:

$$\text{Log } \frac{1}{(H^+)}$$

Los distintos grados de acidez o alcalinidad de un suelo pueden variar de 0 a 14, siendo el pH 7.0 neutro y de 7.0 a 14.0 alcalino, de 0 a 7.0 ácido en diferente grado. El pH en suelos ácidos varía más comúnmente de 4.0 a 7.0 unidades. El pH se puede determinar utilizando métodos colorimétricos o electrométricos. En este último, se utiliza un potenciómetro y en el primero se usa un papel indicador o papel pH, el cual se pone en contacto en una solución del suelo (resultado de una mezcla de suelo y agua), cambiando de color, según sea el pH, determinándolo por comparación con escalas estándar. Normalmente la mezcla de suelo y agua se realiza en una proporción de 1:2 para suelos no salinos y de 1:1 para suelos salinos.



El pH varía bajo la influencia de diferentes factores, tales como las lluvias, el uso de suelo, las técnicas de manejo del suelo y la actividad radicular.

La reacción de la solución del suelo (pH) determina la disponibilidad de los diversos elementos esenciales para el desarrollo de la planta. Dado que el pH es una función logarítmica, el cambio de una unidad en el pH supone un cambio de diez veces en la concentración del H<sup>+</sup>. Por tanto, cualquier cambio de unidad en el pH puede tener un amplio efecto en la disponibilidad de iones para las plantas. La mayoría de las plantas prefieren un nivel de pH entre 6.0 y 7.0 para realizar una adecuada absorción de los nutrimentos.

**Cuadro 2.4 pH óptimo del suelo para diferentes cultivos (Rehs, 2001, modificado de Sprague, 1964)**

Cultivo	pH	Cultivo	pH
Hule	3.0-7.6	Plátano	6.0-7.5
Cacao	5.0-7.0	Café	4.5-7.0
Piña	5.0-6.0	Caña de azúcar	6.0-8.0
Arroz	5.0-6.5	Cocotero	6.0-7.5
Avena	5.0-7.0	Peral	6.0-8.0
Centeno	5.0-7.0	Soya	6.0-7.0
Papa	5.0-7.0	Trigo	6.0-8.0
Sorgo	5.0-6.5	Vid	6.0-7.5
Cacahuete	5.5-7.0	Maíz	6.0-7.0
Tabaco	5.5-7.5	Alfalfa	6.5-8.0
Jitomate	5.5-7.0	Ciruelo	6.5-8.0
Trébol	5.5-7.5	Durazno	6.5-8.0
Girasol	5.5-7.5	Cebada	6.0-8.0
Algodón	6.0-8.0	Manzano	6.0-8.0

### **Materia Orgánica (M.O.)**

La materia orgánica del suelo está constituida por varios materiales cuya composición varía de acuerdo con:

- a) Su origen vegetal o animal
- b) Su estado metabolito o residuo de descomposición.

Dicha materia orgánica está sometida a una permanente actividad biológica y el clima determina la velocidad de ésta actividad.

Naturaleza de la M.O. del suelo.

Toda la variedad de sustancias orgánicas del suelo puede ser sistematizada en dos grupos fundamentales: las materias orgánicas de naturaleza individual y las sustancias húmicas propiamente dichas.

El primer grupo está formado por restos orgánicos, y representa los productos de su descomposición o los productos de la actividad vital (metabolismo y resíntesis) de la población viva (proteínas y aminoácidos, hidratos de carbono simples y compuestos, ácidos orgánicos de distinta naturaleza, ceras, resinas, ligninas y otros). En suma los compuestos orgánicos de naturaleza individual constituyen en los suelos minerales aproximadamente el 10-15% de la reserva total de materia orgánica.

El segundo grupo constituye la porción principal de la parte orgánica del suelo, es decir hasta el 85-95 % de la reserva total de humus.

En el suelo se encuentran carbohidratos (azúcares, celulosa y almidón), lignina, taninos, grasas, resinas, proteínas, pigmentos, vitaminas, enzimas y hormonas, entre otras. La descomposición da origen a nitratos, sales de amonio, nitritos, sulfatos, fosfatos, etc., además dióxido de carbono y agua en un proceso conocido como "mineralización" de la materia orgánica. Otro proceso de descomposición más lento origina una sustancia compleja muy estable llamada humus. El humus es de naturaleza coloidal y es el elemento orgánico más importante del suelo. La cantidad de materia orgánica es un de los factores determinantes de la productividad de los suelos.

## **Nitrógeno total.**

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, forma parte de cada célula viviente, las plantas requieren de grandes cantidades de N para crecer normalmente.

El nitrógeno juega varios papeles dentro de la planta; las plantas absorben en forma de iones amonio o nitrato. Algo de urea se absorbe directamente por las hojas y pequeñas cantidades de N se absorben de materiales como aminoácidos solubles en agua. Con excepción del arroz, los cultivos agrícolas absorben la mayoría de N como ion nitrato; sin embargo estudios recientes han determinado que los cultivos usan cantidades apreciables de amonio.

El nitrógeno es necesario para la síntesis de clorofila y como parte de la molécula de la clorofila está involucrado en el proceso de la fotosíntesis. La carencia de N y en consecuencia la carencia de clorofila no permite que la planta utilice la luz solar como fuente de energía en la planta. Es también un componente esencial de los aminoácidos, los cuales forman proteínas, por lo tanto el N es directamente responsable del incremento del contenido de proteínas en la planta.

El porcentaje de nitrógeno total rara vez es un buen indicador de la disponibilidad del nitrógeno, pero se encuentra estrechamente relacionado con la materia orgánica. Se acostumbra a medirlo principalmente para relacionarlo con el porcentaje de carbono, el cual sí da una buena estimación de la probabilidad que ocurra mineralización o inmovilización en el suelo. (López Collado 1998).

El efecto de la labranza sobre el rendimiento del maíz y su respuesta a la fertilización es muy variada y en ocasiones contradictoria. En algunos casos se han reportado mayores rendimientos de grano bajo no labranza comparados con los de labranza convencional a diferentes niveles de fertilización (Lal, 1979; Shenk *et al*, 1983; Triplett *et al*, 1969). Lo mismo ha ocurrido para el caso de la materia seca (Wells, 1984; Legg *et al*, 1979). Esto contrasta con los reportes

de rendimientos menores bajo no labranza cuando las dosis de fertilización con nitrógeno fueron bajas (Bandel *et al*, 1975; Blevins *et al*, 1983; Lindsay *et al*, 1983; Moschler y Martens, 1975; Rice *et al*, 1986) y durante los primeros años de implantado el sistema de no labranza (Adams *et al*, 1973; Kang y Yunusa, 1977; Shear y Moschler, 1969).

Estas diferencias en las respuestas de los experimentos sobre labranza de conservación pueden explicarse si se toman en cuenta los procesos del nitrógeno en el suelo. Las transformaciones básicas de nitrógeno en el suelo incluyen la mineralización e inmovilización del nitrógeno, la nitrificación, la desnitrificación; la lixiviación de los nitratos, la volatilización del amoníaco y la fertilización nitrogenada.

Debido al incremento en el perfil del suelo de la materia orgánica bajo no labranza se tiene un potencial de inmovilización del nitrógeno mayor en este sistema. Como consecuencia de la estratificación de la materia orgánica la inmovilización del nitrógeno ocurre principalmente en la superficie del suelo (Kitur *et al*, 1984; Dick, 1983) y coincide con la mayor actividad microbiana reportada en la superficie de los suelos bajo no labranza (Doran, 1980). Es posible que la toma de nutrientes por la planta esté afectada en los estados iniciales del crecimiento debido a la reducción del nitrógeno rápidamente disponible. Sin embargo la respuesta del maíz a la inmovilización del nitrógeno depende de la fuente del nitrógeno utilizada y del residuo del cultivo anterior. Cuando el residuo anterior es una leguminosa las fuentes del nitrógeno se comportan igual y no existen diferencias en el rendimiento, lo que resalta el papel de la relación C/N en la mineralización de los residuos vegetales y la disponibilidad del nitrógeno bajo no labranza (Ecker *et al*. 1986; Pinck *et al*, 1946; Power *et al*, 1986; Alexander, 1961).

La disminución en la disponibilidad del nitrógeno en la no labranza está asociado a la descomposición más lenta de los residuos acumulados en la superficie que ocurre bajo este sistema en comparación con la labranza convencional (Parker *et al*. 1957). Con el transcurso de los años bajo el

sistema de labranza de conservación se logra un nuevo equilibrio en las relaciones de mineralización e inmovilización del nitrógeno en el suelo, que iguala la disponibilidad del nitrógeno bajo labranza de conservación con aquella observada en sistemas de labranza convencional (Juo y Lal, 1979; Rice *et al*, 1986), lo que evitaría la necesidad de seguir la recomendación de aplicar mayores cantidades de fertilizante nitrogenado bajo labranza cero debido a la baja mineralización de los residuos vegetales (Phillips *et al*, 1980) .

Otro aspecto del ciclo del nitrógeno en el suelo que se ve afectado por el cambio del sistema de labranza es la nitrificación. Debido a los cambios en la ecología microbiana existe un incremento en la actividad microbiológica como respuesta a las acumulaciones de residuos orgánicos. Doran (1980) observó un incremento en los microorganismos aeróbicos, heterótrofos, facultativos, desnitrificadores, y nitrificadores autótrofos. Este incremento estaba relacionado con los cambios en el contenido de humedad, carbono orgánico y contenido de nitrógeno y pH.

Rice *et al* (1981) encontraron que para suelos bajo no labranza existía un incremento en la nitrificación en las primeras semanas después de la fertilización con amonio. Hoyt *et al* (1980) reportaron bajas concentraciones de nitrato en los primeros 10 cm de suelo bajo ambos sistemas de cultivo, pero significativamente mayores bajo labranza convencional a profundidades mayores. Las diferencias de nitrificación entre los sistemas de labranza convencional y no labranza han sido atribuidas a una menor mineralización de la materia orgánica (Dowdell *et al*, 1983; Rice y Smith, 1983) bajo el sistema de labranza cero.

Dado que en la labranza de conservación existe una humedad mas abundante en la superficie hay mas posibilidades de que se sature el espacio poroso y se excluya el oxígeno creándose condiciones favorables para la descomposición aneróbica de las bacterias desnitrificadoras. Se han reportado incrementos substanciales de organismos desnitrificadores en el sistema de labranza de conservación y mayores pérdidas de nitrógeno gaseoso por desnitrificación (Aulakh *et al*, 1984; Doran, 1980; Groffman, 1984). Esta pérdida

es importante en suelos mal drenados en donde se tenga una mayor acumulación de agua y un alto contenido de materia orgánica (Thomas y Frye, 1984).

Existe el peligro de un mayor movimiento de nitratos en el suelo por lixiviación bajo no labranza, debido a la presencia de poros continuos en el perfil del suelo y a la poca evaporación del agua de la superficie. Este mayor movimiento de nitratos a profundidad ha llevado a la recomendación de aplicaciones fraccionadas de nitrógeno para mejorar la eficiencia de la fertilización (Thomas *et al.* 1980).

Se ha reportado un incremento en la volatilización del amoníaco en los sistemas de labranza de conservación (Keller y Mengel, 1986; Harding *et al.*, 1963; McInnes *et al.*, 1986). Este incremento se debe a una mayor actividad del enzima ureasa, la cual se concentra en la superficie del suelo en sistemas de labranza de conservación, incrementando las tasas de hidrólisis de la urea debido a que el residuo, por tener baja capacidad de retención de cationes y baja capacidad amortiguadora del pH permite un aumento del pH durante la hidrólisis, y por consecuencia una mayor cantidad de amoníaco en la solución (Nelson, 1982). Otra causa del incremento en el pH de la interfase residuo-suelo es la movilidad de los productos de la hidrólisis de la urea debido a sus diferencias en carga eléctrica, ya que el amonio sería retenido por las arcillas causando su acumulación en la superficie donde se puede perder como amoníaco (Fenn y Miyamoto, 1981). Todos estos factores provocan que exista una baja eficiencia del uso de la urea en suelos bajo el sistema de labranza cero debido a la volatilización del amoníaco y a la inmovilización del nitrógeno por los microorganismos (Keller y Mengel, 1986).

Debido al alto costo de la fertilización nitrogenada, las pérdidas por ineficiencia del fertilizante pueden disminuir en parte las ventajas comparativas de la labranza de conservación. La baja eficiencia del nitrógeno en sistemas de labranza de conservación puede ocurrir debido a uno o varios de los procesos involucrados en el ciclo del nitrógeno en el suelo. Con la finalidad de mejorar

esta eficiencia es conveniente utilizar diferentes fuentes y formas de aplicación dependiendo de las características del suelo. Para el caso de la urea, se han reportado rendimientos más bajos cuando ésta se aplica al voleo que cuando se inyecta al suelo (Bandel *et al*, 1984; Keller y Mengel, 1986; Mengel *et al*, 1982; Reeves y Touchton, 1986; Kang y Messan, 1983). En el caso del uso del nitrato de amonio no se observaron diferencias debido al método de aplicación y su eficiencia resulto mayor que el de la urea bajo el sistema de labranza de conservación (Bandel *et al*, 1984).

En general se recomiendan dosis de nitrógeno más altas durante los primeros años de establecimiento de la labranza de conservación para compensar por la baja mineralización de la materia orgánica, la posible desnitrificación y/o la volatilización del amoniaco. La aplicación fraccionada del nitrógeno aparece como un método eficiente de aplicación combinado con su localización en banda cerca de la planta.

### **Fósforo (P).**

Se entiende por retención de fósforo que se presenta cuando, a causa de diversos tipos de interacción con componentes del suelo, una forma soluble de fósforo queda retenida en la fase sólida y por lo tanto no puede ser absorbida por la plantas por medio de las raíces.

Es fósforo es esencial para el crecimiento de las plantas. No puede ser sustituido por ningún otro nutriente, la planta debe tener fósforo para cumplir si ciclo normal de producción.

Las plantas absorben la mayoría del fósforo (P), como ion ortofosfato primario. Las plantas también absorben pequeñas cantidades de fósforo secundario. El pH del suelo influye en gran parte en la absorción de la esta forma de (p) por la planta. Las plantas pueden utilizar otras formas de (P) pero en menores cantidades que el ortofosfato. Las concentraciones mas altas de (P) en plantas jóvenes se encuentran en el tejido de los puntos de crecimiento.

Debido a que el fósforo se mueve rápidamente de los tejidos viejos a los tejidos jóvenes, las deficiencias aparecen primero en las partes bajas de la planta.

En las determinaciones de laboratorio, las proporciones de fósforo que quedan en el suelo depende de varios factores además de la composición del suelo que modifica a los mecanismos de retención siendo los principales: la temperatura, las características de las soluciones de fósforo (pH, fuerza iónica, concentración de fósforo) y el tiempo de retención.

### **Potasio (K).**

El potasio (K) es un nutriente esencial de la planta. Es uno de los 3 elementos principales con el nitrógeno (N) y el fósforo (P). Los cultivos contienen aproximadamente la misma cantidad de potasio que el N, pero el potasio que fósforo. En muchos cultivos de alto rendimiento, el contenido de K excede al contenido de N

El potasio es absorbido por las plantas en forma iónica. A diferencia del N y el P, el K no forma compuestos orgánicos en las plantas, su función principal está relacionada fundamentalmente con muchos y varios procedimientos metabólicos.

El potasio es fundamental para la fotosíntesis. Cuando existe deficiencia de K, la fotosíntesis se reduce y la respiración de la planta se incrementa. Estas dos condiciones (reducción de la fotosíntesis e incremento en la respiración), presentes cuando existe deficiencia de K reducen la acumulación de carbohidratos en consecuencia adversas en el crecimiento y producción de la planta.

**Efecto de la labranza en la disponibilidad del fósforo y el potasio.** La concentración y distribución de los nutrientes en el perfil del suelo bajo el sistema de labranza de conservación está determinada por la aplicación superficial al suelo de los nutrientes relativamente inmóviles y la posibilidad limitada de incorporación de los residuos vegetales, lo que resulta en una estratificación o acumulación de los nutrientes inmóviles muy cerca de la



superficie del suelo (Hargrove, 1985; Hargrove *et al*, 1982; Ike, 1986). Utilizando el cociente resultante de dividir la cantidad de fósforo disponible en labranza de conservación entre aquel disponible en labranza convencional como un índice de estratificación se puede ilustrar este fenómeno (Tabla 4.4).

Los datos del Cuadro 2.5 muestran claramente la presencia de una estratificación para el fósforo y sugieren una acumulación del potasio en la superficie. También se ha señalado que la presencia de alto contenido de ácidos húmicos en el mismo estrato en que se concentra el fósforo permite tener una mayor disponibilidad de este elemento para la planta debido a su absorción en forma soluble a la materia orgánica.

En lo que respecta a la eficiencia de la fertilización con fósforo y potasio se ha señalado que la aplicación superficial al voleo en sistemas de labranza de conservación es más eficiente que la localización en bandas o la incorporación bajo labranza convencional (Phillips *et al*, 1980; Singh *et al*, 1966; Belcher y Ragland, 1972).

El hecho de que la disponibilidad del fósforo aplicado a la superficie sea igualo mayor que la disponibilidad del fósforo incorporado al suelo puede deberse a los incrementos en la densidad radical y al incremento en la concentración efectiva del nutriente inmóvil alrededor de las raíces, lo que mejora la capacidad de la planta para obtener dicho nutriente. Un factor adicional es la presencia de una mayor humedad en la zona con alta actividad radicular, lo que se traduce en una tasa de difusión mayor hacia las raíces.

**Cuadro 2.5. Relación entre la disponibilidad entre la cantidad de fósforo y potasio disponible en dos sistemas de labranza a diferentes profundidades de suelo. (Figuroa, 1996).**

ÍNDICE DE ESTRATIFICACIÓN			
Pro. (cm)	P	K	Referencias
0 – 2.5	1.74	1.81	Fink y Wesley (1974)
0 – 2.5	2.93	1.45	Triplett <i>et al</i> (1969)
0 – 2.5	2.40		Kang Y Yunusa (1977)
0 – 5.0	2.00	0.92	Ike (1986)
0 – 5.0	1.73	1.81	Juo y Lal(1979)
0 – 5.0	2.83	1.32	Muzilli (1981)
0 – 5.0	1.26	0.80	Muzilli (1981)
2.5 – 5.0	1.13	1.40	Fink y Wesley (1974)
2.5 – 5.0	2.52	1.22	Triplett <i>et al</i> (1969)
2.5 – 5.0	2.44		Kang Y Yunusa (1977)
0 – 7.5	5.50		Hargrove (1985)
0 – 7.5	2.20	1.62	Hargrove <i>et al</i> (1985)
0 – 7.5	3.34	2.00	Mackay <i>et al</i> (1987)
5 – 7.5	0.45	1.12	Fink y Wesley (1974)
5 – 7.5	1.57	0.94	Triplett <i>et al</i> (1969)
5 – 10.0	1.77	1.30	Juo y Lal (1979)
5 – 10.0	1.75	1.23	Muzilli (1981)
5 – 10.0	1.03	0.72	Muzilli (1981)

- El índice de estratificación se calculó dividiendo las cantidades del nutriente extraído bajo labranza de conservación entre la cantidad extraída bajo labranza convencional

### **Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.)**

El intercambio catiónico, también conocido como capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo podemos definir como la capacidad del suelo

para retener e intercambiar los cationes situados sobre las superficies coloidales, poniéndolos, en última instancia, a disposición de las plantas.

Esta capacidad de intercambio catiónico es una de las diferencias más grandes entre suelos y cualquier otro medio de desarrollo radicular vegetal. Los cationes son los iones y moléculas con carga positiva de los nutrimentos: Ca, Mg, K, Na, H y  $\text{NH}_4$ . Las partículas de arcilla son los componentes de carga negativa en el suelo, las cuales atraen retienen y desprenden partículas de nutrimentos con carga positiva (cationes).

Las partículas de materia orgánica tienen también una carga negativa, por lo cual atraen cationes. Las partículas de arena no tienen reactividad. Por ello, el intercambio de cationes es posible, gracias a que las partículas de arcilla y de materia orgánica del suelo cargadas negativamente son capaces de adsorber o fijar cationes (iones con carga positiva), con una baja energía de combinación, que permite su fácil remoción o absorción por las plantas.

## ***2.10 Factores biológicos a considerar***

Como resultado de un diagnóstico sobre la incidencia de plagas y enemigos naturales asociados al maíz bajo diferentes sistemas de labranza en el Estado de Michoacán, Nájera y Velásquez (2001) concluyeron que la densidad y fluctuación depende de la especie en cuestión, de la época del año y de la región en estudio, ya que registraron la presencia de grupos de organismos que solamente estuvieron representados en una época y ambiente específico, mientras que otros corresponden a una distribución general y pueden comportarse como plaga en cualquiera de las regiones y sistemas estudiados. En el mismo estudio, los autores apoyan la hipótesis de que la siembra directa representa una excelente condición para el incremento de la diversidad de organismos edáficos, situación que promueve mayor estabilidad del agroecosistema, al favorecer la presencia de enemigos naturales de las plagas. La experiencia mundial indica que frecuentemente, las pérdidas de rendimiento causadas por problemas de malezas son mayores que las causadas por

problemas de plagas, enfermedades y nematodos, Kligman, 1982 citado por Fregoso 2004.

Una de las principales diferencias entre la labranza de conservación y la convencional está dada por la enorme diversidad de organismos que integran la meso y micro biota edáfica. Al asociarse con la materia orgánica, estos organismos sostienen la productividad y conservación de los agroecosistemas, ya que participan en el reciclaje de nutrientes mediante el proceso de mineralización, y al mismo tiempo, contribuyen al mejoramiento de la aireación, infiltración y enraizamiento (Barber, 1998). De esta forma, la siembra directa propicia el establecimiento de una comunidad más compleja, y en consecuencia, una mayor estabilidad de los sistemas agrícolas. En este sentido, diversos autores sostienen que la siembra directa generalmente se asocia con una mayor diversidad y abundancia de agentes de control biológico, en consecuencia, el incremento de las especies plaga no necesariamente se traduce en mayores pérdidas económicas. (Figueroa y Morales, 1992; Turnock *et al.*, 1993; Valdés *et al.*, 1993).

## **2.11 El concepto de agricultura conservacionista**

En forma creciente, la sociedad está demandando que los impactos ambientales de la agricultura sean mínimos; sin embargo, a pesar de que los principios de la agricultura conservacionista están identificados, la magnitud de sus beneficios son específicos y diferenciales de acuerdo al ambiente agro-ecológico y agro-ecosistema en cuestión. Se parte de la premisa que existen indicadores de sostenibilidad que están relacionados con procesos críticos biofísicos y sociales, son fáciles de medir y son capaces de detectar cambios que ocurren en poco tiempo en agro-ecosistemas sometidos a manejos diferentes, por ello es indispensable contar con la primera aproximación de los indicadores seleccionados para evaluar su sostenibilidad.

Los resultados de investigación en todo el mundo han sido consistentes en demostrar que el uso del arado y la rastra para preparar la tierra acelera la pérdida -vía oxidación- de materia orgánica, lo cual reduce la capacidad del suelo para resistir los efectos de compactación de las llantas del tractor, deteriorando así la estructura del suelo, lo que a su vez reduce la tasa a la cual el agua se infiltra en el mismo, provocando escurrimiento y erosión (pérdida de agua, suelo y materia orgánica). Adicionalmente, la pérdida de materia orgánica genera una reducción de la fertilidad del suelo y de su capacidad de retención de humedad (Matson *et al.*, 1997; Gliessman, 1998). Paradójicamente, estos efectos hacen necesario un mayor laboreo del suelo y aplicaciones de dosis mayores de fertilizantes, todo lo cual conduce a mayor degradación y menor rentabilidad.

El modelo de agricultura conservacionista (AC) busca conservar, mejorar y hacer un uso más eficiente de los recursos naturales a través del manejo integrado del suelo, agua y recursos biológicos disponibles combinados con insumos externos. La agricultura conservacionista contribuye a la conservación ambiental así como también a la producción agrícola mejorada y sostenida (FAO, 2002).

La Agricultura Conservacionista "AC" es una "canasta" de prácticas agrícolas – los productores escogen lo que es "mejor para ellos" – no es "prescriptiva" y representa "la mejor recomendación" actual para alcanzar la sostenibilidad de largo plazo de la tierra (Derpsch, 2003).

Los rasgos de la AC son los siguientes: los residuos no se queman sino que se dejan como cobertura permanente del suelo, esto significa que existe poca o nula alteración física del suelo; utilización de abonos verdes/cultivos de cobertura, rotación de cultivos, manejo integrado de plagas y enfermedades y reducción en el uso de agroquímicos (FAO, 2002). La integración de estos componentes busca promover y aprovechar los procesos biológicos, los cuales favorecen la mineralización de nutrientes, mejoran la estructura y aereación del suelo y aumentan la disponibilidad de agua, nitrógeno y fósforo mediante la acción de micorrizas y rhyzobia (Derpsch, 2003). Los resultados de

investigación realizados en diferentes ambientes a nivel mundial, han demostrado que las prácticas culturales que previenen la erosión del suelo y preservan su contenido de materia orgánica, se basan en el principio de mantener en el suelo características de cobertura similares a las que se presentan bajo vegetación nativa (Lal, 1982). En términos agronómicos esto significa la protección del suelo con mantillo de residuos de cosecha y/o de cultivos de cobertura, aunado a la eliminación de la manipulación mecánica del suelo o del laboreo intensivo.

El componente central de la agricultura conservacionista es el uso de sistemas de siembra que promueven la permanencia de residuos de cultivo sobre suelo, tales como los sistemas de labranza de conservación definida como “cualquier sistema de labranza y siembra que mantenga al menos el 30% de la superficie del suelo cubierta por residuos de cosecha después de la siembra” (Gerik y Harris, 1987), ya que ha demostrado que tiene el potencial de reducir las pérdidas de suelo y agua, mejorando la calidad del suelo al aumentar su contenido de materia orgánica. Así mismo, hace más rentable la producción de granos al disminuir los costos de inversión y aumentar los rendimientos.

Los beneficios que produce la labranza de conservación en suelos de ladera bajo condiciones de temporal han recibido mayor énfasis que aquellos que se logran bajo condiciones de riego. Sin embargo, la cobertura del suelo con un mantillo de residuos es una técnica muy eficiente para conservar agua a través de la reducción de la evaporación (Unger y Parker, 1976; Steiner, 1989) y de incrementar el almacenamiento de agua en el suelo (Osuji, 1984; Steiner, 1994). Por lo tanto, la adopción masiva de la labranza de conservación en zonas de riego del país generaría ahorros significativos de agua y contribuiría a reducir su escasez y los conflictos intersectoriales y sociales generados por tener acceso a este recurso.

El conocimiento del tiempo requerido para que las propiedades del suelo mejoren sustancialmente después de que las prácticas de manejo con labranza

conservacionista sean introducidas es importantes al menos desde dos perspectivas: (i) para determinar el periodo requerido aproximado que debe transcurrir para que ocurran cambios benéficos en las propiedades de un suelo; (ii) la información de esta naturaleza debe mejorar nuestras habilidades para predecir los cambios en las tasas de pérdidas de suelo una vez que las prácticas de manejo sean cambiadas de labranza convencional a labranza de conservación (Rothon, 2000).

## ***2.12 El concepto de calidad de suelo***

Debido a la complejidad de los cambios provocados por la AC, es poco probable que mediciones aisladas del suelo y de parámetros de la dinámica de plagas y malezas puedan reflejar con exactitud la magnitud y alcance que estos cambios provocan en términos de sostenibilidad relativa. Como alternativa metodológica más viable, se propone el uso del concepto Calidad del Suelo (CS), el cual fue desarrollado en respuesta a la demanda pública por un mayor énfasis en sostenibilidad y en el reconocimiento hecho por la comunidad científica de que el manejo del suelo puede mejorarse tomando un enfoque integrador más holístico (Herrick et al., 2002). La definición de CS es “la capacidad de una clase específica de suelo para funcionar, dentro de los límites del ecosistema manejado o natural, y para sostener la productividad vegetal y animal, para mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y para apoyar la salud y habitación humana” (SSSA, 1997).

La aplicación del concepto de CS en este proyecto permitirá desarrollar un marco conceptual para seleccionar e interpretar los indicadores de calidad del suelo adecuados a las condiciones edáficas, climáticas y de manejo prevalcientes en los sitios de evaluación seleccionados en el ambiente agroecológico del trópico húmedo.

### ***2.13 Indicadores de calidad de suelo***

La aplicación del concepto de CS en este proyecto permitirá desarrollar un marco conceptual para seleccionar e interpretar los indicadores de calidad del suelo adecuados a las condiciones edáficas, climáticas y de manejo prevalentes en los sitios de evaluación seleccionados en los tres ambientes agroecológicos arriba mencionados.

### ***2.14 Selección de indicadores para la evaluación***

El criterio principal para la selección de un indicador será la fuerza y consistencia de su relación con un proceso crítico, reconociendo que la importancia relativa de los diferentes procesos ecológicos la fuerza de la relación entre el indicador y los procesos varía entre suelos, posiciones en el paisaje y las regiones (Herrick et al., 2002). Los indicadores seleccionados deberán estar consistentemente correlacionados con algunas de las funciones del agroecosistema, por ejemplo, productividad vegetal, retención del suelo o agua, conservación de la biodiversidad, etc. Para que sean rentables, los indicadores deberán añadir valor al programa de monitoreo, proporcionando información acerca del funcionamiento del sistema que no puede ser derivada directamente del conocimiento del manejo del mismo (Brown et al., 1998, citados por Herrick et al., 2002). Si un indicador está consistentemente correlacionado tanto con el manejo como con una función crítica del sistema, entonces el simple conocimiento de la práctica de manejo o el sistema pueden ser usados para reemplazar el indicador a un costo mucho más bajo. Si el indicador está correlacionado con el manejo, pero no consistentemente correlacionado con una función crítica, entonces el indicador puede ser usado erróneamente para apoyar preconcepciones acerca de la superioridad de un sistema de manejo sobre otro (Herrick et al., 2002).



## 3 MATERIALES Y METODOS

### 3.1 *Área experimental*

La presente investigación se desarrolló en el Campo Experimental Cotaxtla, en la Unidad de Ingeniería y Mecanización Agrícola; perteneciente al Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); situado en el kilómetro 34 de la carretera Federal Veracruz-Córdoba, del Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México; ubicado en latitud norte de 18°55'49", 96°11'32" de longitud oeste y a 14 msnm.

El trabajo se realizó en un suelo de clasificación agronómica: migajón arenosa a 35 centímetros de profundidad con determinación de textura la cual presenta 55.20 % de arena, 15.80 % de arcilla y 29.00 % de limo, en un clima cálido Subhúmedo, con una precipitación pluvial anual de 1 400 milímetros durante el verano y con una temperatura media anual de 25.4°C.

Para aplicar la metodología del concepto de Calidad de Suelo mencionada, se deben seguir los pasos siguientes: 1. identificar los sitios y prácticas conservacionistas a evaluar, que tendrán en común que su suelo se ha manejado con labranza de conservación por al menos tres años consecutivos, y que además tengan incorporada alguna otra práctica conservacionista, como son: uso de cultivos de cobertera/abonos verdes, rotaciones, aplicaciones de fuentes de carbono (estiércoles, compostas, etc.), y cada sitio seleccionado será apareado con otro inmediatamente vecino pero manejado con prácticas de agricultura convencional. 2. Identificar los indicadores que estén consistentemente correlacionados con las funciones del suelo.

De esta forma se seleccionó un predio experimental donde se ha trabajado maíz bajo el sistema de labranza de conservación con rotación de leguminosas como abono verde, principalmente fríjol "pica-pica manza" (*Mucuna puriens*). En 2004 se estableció en dicho predio un experimento en parcelas divididas, donde la Parcela Grande fue el sistema de labranza

(Labranza Mínima LM y Labranza Cero LC), y como parcelas chicas las rotaciones maíz-maíz (MM) y frijol mucuna-maíz (FM). Para el año 2005, se incorporó, además de los sistemas de labranza mencionados, una parcela con Labranza Tradicional (LT) adyacente correspondiente a un experimento con rotación de maíz-maíz (MM) bajo manejo tradicional con similar antigüedad al experimento original, con el fin de contar con un testigo. Para el año 2006 se repitió el trabajo realizado en las parcelas bajo los tres sistemas de labranza el año anterior.

Los indicadores de suelo físicos seleccionados a evaluar fueron Densidad aparente (Da), Resistencia a la penetración, contenido de Humedad (H), capacidad de campo (CC), tasa de infiltración (T I); así también indicadores químicos como: potencial hídrico (pH), Materia Orgánica (M.O.), Nitrógeno total (N), Potasio (K), Fósforo (P), Capacidad de Intercambio Catiónico (C. I. C.) y como aspectos biológicos se observaron la mezo fauna benéfica (número de población de lombrices) y dinámica de malezas.

El criterio principal para la selección de un indicador será la fuerza y consistencia de su relación con un proceso crítico, reconociendo que la importancia relativa de los diferentes procesos ecológicos la fuerza de la relación entre el indicador y los procesos varía entre suelos, posiciones en el paisaje y las regiones (Herrick *et al.*, 2002). Los indicadores seleccionados deberán estar consistentemente correlacionados con algunas de las funciones del agro-ecosistema, por ejemplo, productividad vegetal, retención del suelo o agua, conservación de la biodiversidad, etc.

Para el establecimiento del trabajo se utilizó una sembradora fertilizadora mecánica de tres cuerpos desarrollada por la unidad de Ingeniería y Mecanización Agrícola del C. E. Cotaxtla del INIFAP, usando platos dosificadores de semilla para maíz y para frijol mucuna o “pica pica mansa”, con densidades de población para el maíz superiores a las 50 mil plantas ha<sup>-1</sup> y 30 mil plantas ha<sup>-1</sup> para el frijol mucuna. Tanto en LC y LM se aplicó el paquete tecnológico desarrollado por el C. E. Cotaxtla para labranza de conservación, la

fórmula de fertilización 184-68-32 de nitrógeno, fósforo y potasio, distribuida en dos aplicaciones, al momento de la siembra y a los 30 días después de ésta.

### **3.2 Factores físicos evaluados**

#### **➤ Densidad Aparente (Da)**

El método utilizado fue el de barrena de volumen conocido; en este método se utiliza la barrena de núcleos o de corazones que es ideal para la obtención de muestras inalteradas, considerando las condiciones naturales del suelo, como es la distribución de raicillas, la microestructura, etc.

El procedimiento para la determinación de la densidad aparente por éste método se realizó durante la etapa vegetativa temprana del cultivo con cilindros de diferentes medidas, las cuales fueron 5 cm de altura por 5.169 cm de diámetro, 10 cm de altura por 4.8 cm de diámetro y de 15 cm de altura por 4.8 cm de diámetro; se muestrearon dos repeticiones por cada parcela de tratamiento de labranza y rotación y consistió en lo siguiente:

- a) Muestrear con la barrena de núcleos dos puntos por tratamiento de labranza a las profundidades de 0-5, 5-15, 15-25, 25-35 cm, calculando el volumen que ocupa cada muestra mediante la siguiente ecuación:

$$V = 0.7854 * d^2 * h$$

Donde:

V = Volumen de núcleos que ocupa la muestra extraída (cm<sup>3</sup>)

d = Diámetro interior del núcleo (cm)

h = Altura del núcleo (cm)

- b) A la muestra obtenida para cada profundidad por tratamiento de labranza se le determinó el contenido de humedad mediante el procedimiento conocido, con lo cual implícitamente se conoce el peso del suelo seco contenido en el volumen de la barrena y después conocer el total del peso del suelo seco mediante la conversión correspondiente.

- c) Se secaron las muestras en una estufa por 48 horas a 105°C
- d) Se procede a calcular la densidad aparente mediante la siguiente expresión:

$$Da = Pss/V$$

Donde:

Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Pss: Peso del suelo seco contenido en el núcleo (g)

#### ➤ Resistencia a la penetración

Se registró la resistencia a la penetración con el método del Penetrómetro de Golpe en dos puntos por tratamiento de labranza y rotaciones, en cuatro profundidades del suelo (0 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 - 40 cm), el lugar del muestreo fue sobre el eje de la hilera de siembra y entre plantas. La resistencia del suelo a la penetración se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$RP = (N * M * G * DG) / (A * DP)$$

Donde:

RP = Resistencia a la penetración, (Pa)

N = Número de golpes

M = Peso de masa de golpe (kg)

G = Aceleración de la gravedad (9.8 m/seg<sup>2</sup>)

DG = Distancia de golpeo

A = Área de cono (m<sup>2</sup>)

DP = Distancia a la penetración (cm)

#### ➤ Infiltración

Se determinó la velocidad de infiltración al inicio del experimento durante la etapa vegetativa temprana, (15 a 60 días después de la siembra) en dos puntos del cada lote experimental de labranza y rotación de cultivo. El método utilizado fue el de doble cilindro infiltrometro, utilizando un formato para captura durante los primeros 10 minutos se anotó la lectura de infiltración del agua

cada minuto y posteriormente se registró cada 10 minutos durante 120 minutos. La información a considerar en el análisis fue la Infiltración acumulada y tasa de infiltración, es decir la velocidad con que se infiltra el agua en milímetros por minuto.

➤ **Humedad en el suelo**

Para determinar el contenido de humedad del suelo, se aplicó el Método gravimétrico: se muestreo en dos puntos por cada tratamiento de labranza y rotación. En cada punto se extrajo una muestra de suelo a las profundidades señaladas (0 – 5, 5 – 15, 15 – 25, 25 - 35 cm.); cada muestra se depositó en botes de aluminio, se pesaron en húmedo en ese mismo día y fueron llevadas a la estufa, las cuales fueron secadas por 24 horas a 105°C, posteriormente se pesaron las muestras de suelo seco y se procedió a calcular el % H en base a la formula siguiente:

$$\%H = (Psh - Pss) / Pss * 100$$

Donde:

%H = Contenido de humedad

Psh = Peso de suelo húmedo

Pss = Peso de suelo seco

Para obtener el comportamiento de la humedad del suelo bajo cada sistema de labranza y rotación de cultivo bajo condiciones de temporal se realizaron los muestreos periódicamente, de esta forma se muestreó la humedad del suelo ocho veces, del 6 de septiembre al 27 de octubre del 2006, cabe señalar que este contenido no se muestreo el año anterior, por lo que sólo se presentan resultados del ciclo P-V 2006.

### **3.3 Factores físico-químicos**

Para obtener el comportamiento de los factores físico-químicos como son pH, porcentaje de materia orgánica, nitrógeno total, potasio, fósforo y la capacidad de intercambio catiónico, se tomaron para cada ciclo agrícola

muestras de suelo a profundidades de 0-5, 5-15, 15-25 y 25-35 cm para cada uno de los tratamientos de labranza y rotación de cultivo.

- **pH.** Para la interpretación de los resultados de pH, se tomó como base la clasificación de Letelier citado por López-Collado (1998).

**Cuadro 3.1 Clasificación de pH (potencial hidrógeno)**

Grado de acidez	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Moderadamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

- **Materia Orgánica (M.O.).** Para la determinación de la materia orgánica, se tomó como base de análisis la clasificación de Tavera citado por López-Collado (1998),

**Cuadro 3.2 Clasificación de materia orgánica**

Clase	Materia orgánica (%)
Muy pobre	< 1.0
Pobre	1.0 – 2.0
Medio	2.0 – 3.0
Rico	3.0 -5.0
Muy rico	> 5.0

- **Nitrógeno total.** En lo que corresponde a la determinación de nitrógeno total que se obtuvo bajo el método de Kjeldahlk, se tomó como clasificación para su análisis la clasificación que se describe a continuación.

**Cuadro 3.3 Clasificación de los suelos según el contenido de nitrógeno**

Niveles	% de N	Kgs/ ha de N
Extremadamente / te pobre	Menos de 0.0500	Menos de 1125
Pobre	De .050 - .099	1125 – 2227
Mediana / te pobre	De .100 - .149	2250 – 3350
Mediano	De .150 - .199	3375 – 4477
Mediana / te rico	De .200 - .249	4500 – 5602
Rico	Más de 250	Mas de 5625

- **Potasio (K).** En lo que corresponde al contenido de potasio (ppm) se consideró la clasificación de Moreno citado por López-Collado,

**Cuadro 3.4 Clasificación de el Potasio (K)**

Clasificación	K (ppm)
Baja	Menos de 50
Media	50-75
Alta	76-125
Muy alta	Más de 125

- **Fósforo (P).** Para el análisis del fósforo se tomo como punto de referencia la clasificación de Morgan adaptado por Moreno y citado por López Collado (1998).

**Cuadro 3.5 Clasificación para fósforo extraíble (P)**

Bray-1 (CSTPA, 1980)	
Clase	Fósforo extraíble (ppm)
Bajo	< 15
Medio	15 - 30
Alto	> 30

**Cuadro 3.6 Clasificación para fósforo extraíble (P)**

Clase	Fósforo extractable (ppm)
Extremadamente pobre	< 3
Pobre	3 – 5
Mediano	5 – 10
Medianamente rico	10 -20
Rico	20 -30
Extremadamente rico	> 30

**Cuadro 3.7 Índice de estratificación**

Pro. (cm)	P	K	Referencias
0 – 2.5	1.74	1.81	Fink y Wesley (1974)
0 – 2.5	2.93	1.45	Triplett <i>et al</i> (1969)
0 – 2.5	2.40		Kang Y Yunusa (1977)
0 – 5.0	2.00	0.92	Ike (1986)
0 – 5.0	1.73	1.81	Juo y Lal(1979)
0 – 5.0	2.83	1.32	Muzilli (1981)
0 – 5.0	1.26	0.80	Muzilli (1981)
2.5 – 5.0	1.13	1.40	Fink y Wesley (1974)
2.5 – 5.0	2.52	1.22	Triplett <i>et al</i> (1969)
2.5 – 5.0	2.44		Kang Y Yunusa (1977)
0 – 7.5	5.50		Hargrove (1985)
0 – 7.5	2.20	1.62	Hargrove <i>et al</i> (1985)
0 – 7.5	3.34	2.00	Mackay <i>et al</i> (1987)
5 – 7.5	0.45	1.12	Fink y Wesley (1974)
5 – 7.5	1.57	0.94	Triplett <i>et al</i> (1969)
5 – 10.0	1.77	1.30	Juo y Lal (1979)
5 – 10.0	1.75	1.23	Muzilli (1981)
5 – 10.0	1.03	0.72	Muzilli (1981)

- **Capacidad de intercambio catiónico.** Para su análisis se tomó como punto de referencia la clasificación de Cottenie 1980, que se describe a continuación.



**Cuadro 3.8 Clasificación de C. I. C.**

<b>CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONES (C.I.C.). (Cottenie, 1980)</b>	
<b>Clase</b>	<b>C.I.C. meq/100 g.</b>
Muy baja	< 5
Baja	5 – 15
Media	15 – 20
Alta	20 – 40
Muy alta	> 40

### **3.4 Factores biológicos**

**Medición y dinámica de la mezo fauna edáficas.** Para conocer el efecto de las prácticas conservacionistas sobre la estructura de la comunidad (mezo fauna) edáfica se efectuaron muestreos de suelo durante los ciclos del cultivo (P-V) para determinar la población de lombrices de tierra, tomando como base la superficie de dos puntos por cada tratamiento de labranza y rotación de cultivo, en cada punto se hizo un cubo de 40x40x40cm, el suelo obtenido se colocó cuidadosamente sobre un plástico negro de un metro cuadrado, para después desmenuzarlo y así obtener los organismos asociados a cada parcela.

**Dinámica de población de malezas.** Esta información se colectó únicamente en el ciclo P.V. 2006, para lo cual se muestrearon los tratamientos de LC, LM y LT contabilizando la cantidad y especie de maleza, previo a la siembra y aplicación de herbicidas (11 de julio), y se pesó las malezas el 13 de noviembre, previo a la pizca.

**Rendimiento de grano.** El rendimiento de grano se estimó al 14% de humedad expresado en ton/ha con dos cifras de decimales, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$RG = (PHC \times \%G \times \%MS \times FC) / 8600$$

Donde:

RG = Rendimiento de Grano al 14 % de humedad

PHC = Peso de mazorca en campo

%G = Porcentaje de grano

%MS = Porcentaje de materia seca

FC = Factor de Conversión a Kg/ha, ( $Fc = 10\,000 \text{ m}^2/\text{superficie de parcela útil}$ )

8600 = Es una constante, ya que es el factor de corrección al 14% de humedad en el grano.

La forma en que se determinó el %G (porcentaje de grano) fue seleccionando diez mazorcas representativas de la muestra total proveniente de la parcela útil de cada tratamiento de labranza sembrado con maíz; se obtuvo el peso total de las mazorcas, para después desgranarlas y pesar el grano y el olote por separado. El porcentaje de grano resulta de dividir el peso del grano entre el peso total y se multiplica por 100.

El porcentaje de materia seca, se obtuvo de medir el porcentaje de humedad del grano con un determinador de humedad, que reporta el % real de humedad del grano y cuya diferencia con el 100% corresponde a la materia seca.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al análisis general del mismo predio efectuado en el 2005, este correspondió a un terreno migajón arenoso, lo que sólo se puede tener como un simple reporte histórico del sitio, ya que la textura del suelo es una de las propiedades con tiempo característico de respuesta lento, es decir, los cambios esperados en esta propiedad como consecuencia del manejo del suelo sólo se registran en el largo plazo, por lo que en este trabajo no se esperan cambios en la textura del suelo en el corto plazo. No obstante, se determinó esta propiedad porque ayuda a entender otras características del suelo como, por ejemplo, la densidad aparente, la velocidad de infiltración y el contenido de nutrimentos, entre otras.

### 4.1 Resultados de los Indicadores físicos

En lo que respecta a la **Densidad Aparente**, y de acuerdo con Uribe *et al.*, (2003) el suelo estaba compactado al inicio del estudio, ya que se registraron valores de densidad aparente superiores al límite crítico, considerado por Singh *et al.* (1992), como de  $1.3 \text{ g cm}^{-3}$ , quizá como consecuencia del uso intensivo de maquinaria, piso de arado y a los altos contenidos de humedad durante las labores de cultivo, presentando un estrato a la profundidad de 15 – 25 cm. en los tres sistemas de labranza. Al analizar los resultados obtenidos para los años 2005 y 2006 (Cuadros 4.1 y 4.2), se presentan valores de densidad aparente por arriba del punto crítico señalado ( $1.3 \text{ g cm}^{-3}$ ); y a excepción algunas densidades menores, éstas se presentan principalmente en la capa superficial de 0 a 5 cm. De forma general, los sistemas de labranza LC: Labranza de conservación, LM: Labranza Mínima y LT: Labranza tradicional; Inciden en una significativa compactación, que puede ser debida a la no labranza y mínima labranza para los casos de los dos primeros y al paso constante de maquinaria en el último; y que en las capas más profundas esto tiende a agudizarse a diferencias de las capas más superficiales.

**Cuadro 4.1. Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) del suelo para los tratamientos de labranza y rotaciones en el Campo Experimental Cotaxtla durante 2005**

Tratamiento		Profundidad cm.	Da ( $\text{g cm}^{-3}$ )
Labranza	Rotación		
LC	MF	0-5	1.357
		5-15	1.352
		15-30	1.483
	MM	0-5	1.215
		5-15	1.355
		15-30	1.545
LM	MF	0-5	1.430
		5-15	1.330
		15-25	1.440
		25-35	1.395
	MM	0-5	1.420
		5-15	1.290
		15-25	1.395
		25-35	1.410
LT	MM	0-5	1.252
		5-15	1.365
		15-25	1.378
		25-35	1.283

LC: Labranza de conservación, LM: Labranza Mínima y LT: Labranza Tradicional; MF: Rotación Maíz – Frijol, MM: Rotación Maíz – Maíz.

**Cuadro 4.2. Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) del suelo para los tratamientos de labranza y rotaciones en el Campo Experimental Cotaxtla durante 2006**

Tratamiento		Profundidad cm.	Da ( $\text{g cm}^{-3}$ )
Labranza	Rotación		
LC	MF	0-5	1.248
		5-15	1.498
		15-30	1.508
	MM	0-5	1.325
		5-15	1.505
		15-30	1.520
LM	MF	0-5	1.288
		5-15	1.463
		15-25	1.538
		25-35	1.408
	MM	0-5	1.275
		5-15	1.340
		15-25	1.390
		25-35	1.370
LT	MM	0-5	1.290
		5-15	1.438
		15-25	1.327
		25-35	1.333

LC: Labranza de conservación, LM: Labranza Mínima y LT: Labranza Tradicional; MF: Rotación Maíz – Fríjol, MM: Rotación Maíz – Maíz.

Los resultados no muestran cambios significativos en la densidad aparente, pero en donde se muestra una alta densidad aparente es a la profundidad de 15 – 25 cm, en los tres sistemas de labranza, como resultado de el piso de arado y el paso de maquinaria.

En general se aprecia que existe una compactación mayor para los sistemas de LC y LM, en comparación con la LT que manifestó menor **resistencia a la penetración** (Cuadros 4.3 y 4.4), lo que viene a verificar los altos niveles de densidad aparente encontrados, y que se traducen en una baja porosidad del suelo, lo que afecta la penetración de las raíces principalmente en las capas de suelo de mayor profundidad, recordemos que son apenas dos primeros ciclos de evaluación de los indicadores.

**Cuadro 4.3. Resistencia a la penetración por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en Campo Experimental Cotaxtla. 2005.**

Tratamiento		Resistencia a la Penetración Kpa
Labranza	Rotación	
LC	MF	4219
	MM	3094
LM	MF	2497
	MM	3515
LT	MM	2875

**Cuadro 4.4. Resistencia a la penetración por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en Campo Experimental Cotaxtla.2006**

Tratamiento		Resistencia a la Penetración Kpa
Labranza	Rotación	
LC	MF	2964
	MM	7339
LM	MF	2790
	MM	3324
LT	MM	983

Sin embargo, para **infiltración** se manifestó en el 2005 una mejora substancial, ya que la infiltración acumulada y las tasas de infiltración de LC y LM con las rotaciones MF y MM, fueron superiores a las que presentó la LT

con la rotación MM (Cuadro 4.5). El comportamiento en el 2006 fue muy diferente (Cuadro 4,6), ya que la infiltración acumulada y la tasa de infiltración para LC con las rotaciones MF y MM fueron similares y menores a LT con rotación de MM; y la LM con las rotaciones presentaron un mayor infiltración acumulada y una mayor tasa de infiltración, lo que indica que en la labranza mínima que consistió en aplicar el cincel al suelo beneficia por lo menos en infiltración al mismo; sin embargo, no hay que olvidar, que en el presente ciclo, las precipitaciones fueron más constantes, y se prolongó el temporal, de tal forma que la siembra en el 2006 se realizó a finales de julio y hubo lluvias en octubre.

**Cuadro 4.5. Tasa de infiltración por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en el Campo Experimental Cotaxtla. 2005.**

Tratamiento		Infiltración Acumulada	Tasa de Infiltración
Labranza	Rotación	cm	mm/minuto
LC	MF	7.00	0.58333
	MM	5.05	0.42083
LM	MF	5.45	0.45416
	MM	2.55	0.21250
LT	MM	1.85	0.15416

**Cuadro 4.6. Tasa de infiltración por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en el Campo Experimental Cotaxtla. 2006.**

Tratamiento		Infiltración Acumulada	Tasa de Infiltración
Labranza	Rotación	cm	mm/minuto
LC	MF	1.575	0.13125
	MM	2.25	0.18749
LM	MF	4.00	0.33333
	MM	12.25	1.02083
LT	MM	2.25	0.18750

## **4.2 Resultados de los indicadores químicos**

Para otras características químicas del suelo que fueron estudiadas en el 2005 y 2006, como se aprecia en los Cuadros 4.7 y 4.8, en general en cuanto a **pH** y con base a la clasificación de Letelier citado por López-Collado (1998), este es moderadamente ácido para todos los sistemas de labranza, rotaciones y profundidades, pero se manifiesta una ligera tendencia hacia la neutralidad en el año 2006, ya que sus pH tienden a estar por arriba de 6.

Por lo que corresponde al contenido de materia orgánica (MO), para el año 2005 se presenta un mayor contenido en los tratamientos de labranza cero LC y mínima LM, en comparación con LT (Cuadro 4.7). Esto es más representativo sobre todo en las capas de suelo de 0 a 15 cm, lo que se puede atribuir al mantillo que se deja como cobertera. Al comparar este contenido con el antecedente que se tiene por parte de Uribe *et al*, que reporta rangos de 1.68 a 2.09% de materia orgánica; rangos ligeramente similares a maíz-maíz con LT.

Con base en la clasificación de Tavera citado por López-Collado (1998), en el 2005 se tuvieron suelos ricos en materia orgánica en las capas superficiales de los tratamientos LC y LM, no así en los de LT que fueron suelos medios. Para el año 2006, el panorama cambia (Cuadro 4.8), ya que para LC y LM con la rotación MM, presentan suelos ricos en materia orgánica en las capas superficiales; a diferencia de LC y LM con rotación MF y LT con MM que presentan niveles medios de materia orgánica. Estos cambios substanciales en el contenido de materia orgánica, nos indican que se presenta un reciclaje de nutrientes, que el propio suelo y los microorganismos demandan.

**Cuadro 4.7. Resultados de los análisis de suelo por tratamiento de labranza y rotación en el ciclo PV 2005**

Tratamiento		Prof. cm	pH	% M.O.	NT %	K ppm	P ppm	C. I. C. Meq./100g
Labranza	Rotación							
LC	MF	0-5	5.78	3.63	0.181	401	34.05	46.25
		5-15	5.95	3.21	0.160	301	29.97	72.75
		15-30	6.29	2.56	0.128	201	26.60	41.50
	MM	0-5	5.57	3.63	0.181	515	35.14	51.00
		5-15	5.88	2.88	0.144	260	28.61	48.00
		15-30	6.18	2.47	0.123	163	8.05	58.00
LM	MF	0-5	6.03	3.24	0.162	359	25.13	46.50
		5-15	6.11	2.83	0.141	266	11.20	45.85
		15-25	6.39	2.56	0.128	160	4.24	70.50
		25-35	6.30	1.89	0.095	104	12.99	59.00
	MM	0-5	5.99	3.23	0.161	494	20.13	51.50
		5-15	5.89	3.11	0.155	198	16.32	48.50
		15-25	6.29	2.81	0.140	142	17.19	47.50
		25-35	6.44	5.33	0.266	93	9.79	62.00
LT	MM	0-5	5.84	2.48	0.120	1205	105.00	24.00
		5-15	5.63	2.00	0.100	1615	110.00	22.50
		15-25	5.56	1.60	0.080	1720	102.40	20.00
		25-35	5.69	1.74	0.090	1860	60.90	18.50

**Cuadro 4.8. Resultados de los análisis de suelo por tratamiento de labranza y rotación en el ciclo PV 2006**

Tratamiento		Prof. cm	pH	% M.O.	NT %	K ppm	P ppm	C. I. C. Meq./100g
Labranza	Rotación							
LC	MF	0-5	6.08	2.61	0.130	545	179.05	99.13
		5-15	6.16	2.00	0.100	476	329.65	66.13
		15-25	6.07	1.83	0.090	490	291.20	75.25
		25-35	6.37	1.32	0.065	366	223.20	97.63
	MM	0-5	5.98	3.51	0.180	587	307.30	101.00
		5-15	6.33	2.23	0.110	490	270.40	90.75
		15-25	6.44	1.76	0.090	493	104.50	67.50
		25-35	6.57	1.08	0.050	382	375.80	86.75
LM	MF	0-5	5.93	2.17	0.110	400	83.20	60.25
		5-15	6.15	2.03	0.105	559	40.70	69.00
		15-25	6.34	1.63	0.080	361	150.90	54.88
		25-35	6.54	1.09	0.055	371	35.65	24.75
	MM	0-5	5.62	3.11	0.160	518	56.30	57.50
		5-15	6.05	2.44	0.120	365	26.30	54.00
		15-25	6.06	1.76	0.090	256	30.40	69.25
		25-35	6.16	1.22	0.060	256	153.40	50.00
LT	MM	0-5	5.99	1.90	0.100	354	223.30	61.25
		5-15	6.10	2.03	0.100	418	165.30	75.00
		15-25	6.40	1.76	0.090	339	109.80	62.50
		25-35	6.28	1.49	0.070	299	2.50	49.00

Del nitrógeno total (NT) el contenido de éste se manifestó en el 2005 como medianamente pobre de acuerdo a la clasificación de Kjeldahlk, en todos los sistemas de labranza y rotaciones de cultivo, sólo en las capas más



superficiales de LC o LM con la rotación MF y MM, presentaron rangos superiores que los ubican en un nivel mediano de N. Para el caso del año 2006, su expresión fue del nivel de suelo pobre a medianamente pobre, lo que indica una disponibilidad limitada de este elemento en el suelo para todos los sistemas de labranza, a excepción de LC y LM con la rotación MM, que presenta nivel de nitrógeno mediano; cabe mencionar que los tratamientos que presentaron un nivel medio en su contenido de Nitrógeno Total, también presentan suelos ricos en su nivel de contenido de materia orgánica, lo que se puede explicar por el mantillo proporcionado a través del tiempo y el incremento correspondiente de la materia orgánica.

Para el potasio (K) y de acuerdo a la clasificación de Moreno citado por López-Collado, los niveles presentados en el 2005 resultaron muy altos, sobre todo para la LT con la rotación MM, cuyos rangos estuvieron entre las 1200 y 1800 ppm, lo que se puede explicar por la aplicación de este nutriente dentro del manejo de maíz bajo labranza tradicional. Sin embargo para el año 2006 todos los sistemas de labranza manifestaron un alto contenido de K, pero con valores más conservadores que los del año anterior, pero dentro de la clasificación de muy altos niveles.

Por lo que respecta al fósforo, en el 2005 se presentaron una mayor concentración en LT con MM, es decir de acuerdo a la Morgan adaptado por Moreno y citado por López Collado (1998), el fósforo extraíble que se presentó fluctuó de bajo a medio para los sistemas de LC y LM en rotaciones de MF y MM; sin embargo se manifestó un alto contenido de fósforo de entre 60 a más de 100 ppm para el sistema de LT con la rotación de MM, lo que se puede explicar por la adición de este nutrimento al cultivo; el panorama para el 2006 fue diferente, ya que LC con rotaciones de MF y MM, presentaron altos niveles de fósforo, siendo muy contrastante, ya que fluctuaron sus valores desde 104 hasta 375 ppm; para LM con sus rotaciones sus valores fueron mas conservadores desde 26 hasta 153 ppm. Para el caso de LT con la rotación MM, el nivel fue alto, aunque en la mayor profundidad se presentó un nivel bajo.

Lo que puede explicarse por el manejo del predio con adición de potasio y fósforo, o una mayor inmovilidad por el manejo del suelo, menor aprovechamiento por la planta, por lo que hay una mayor cantidad de estos elementos en el suelo.

En cuanto a la Capacidad de Intercambio Catiónico para el año 2005 en LC y LM con sus rotaciones de MF y MM, se presenta muy alta; en comparación con la de LT y su rotación MM; lo que indica que hay una mayor actividad en el suelo con los dos sistemas de LC y LM que cuando se trabaja con labranza tradicional. Para el año 2006, el panorama presenta un nivel muy alto de actividad en todos los sistemas de labranza y rotaciones, lo que se puede explicar debido a el trabajo usual con la adición al suelo de fertilizantes químicos y a la época de desarrollo de las plantas.

### 4.3 Factores biológicos

Por lo que toca a la mesofauna del suelo, se determinó la población de lombrices de tierra registrada en cada una de las parcelas experimentales, tanto en el 2005 como en el 2006, como se observa en los Cuadros 4.9 y 4.10. En ambos años, los promedios más altos de lombrices fueron para LC y LM pero con la rotación MF, para MM en cualquier sistema de labranza las poblaciones fueron menores.

**Cuadro 4.9. Población de lombrices (*Polypheretina elongata*) por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en Campo Experimental Cotaxtla. 2005.**

Tratamiento		Número promedio de lombrices
Labranza	Rotación	
LC	MF	6
	MM	1
LM	MF	4
	MM	1
LT	MM	2

P = Profundidad; 1 = 0 - 40 cm.

**Cuadro 4.10. Población de lombrices (*Polypheretina elongata*) por tratamiento de labranza y rotación de cultivo en Campo Experimental Cotaxtla. 2006**

Tratamiento		Número promedio de lombrices
Labranza	Rotación	
LC	MF	10
	MM	3
LM	MF	4
	MM	2
LT	MM	3

P = Profundidad; 1 = 0-40 cm.

En la **dinámica de malezas**, y previo el uso de herbicidas, la población total de plantas fue de 2 072,000 plantas para labranza cero LC donde predominaron el género *Cynodon* de hoja angosta y el género *Euphorbia* de hoja ancha. Para LM la población total de maleza fue de 1'320,000 plantas, lo géneros predominantes fueron *Ixophorus* y *Langascea*. Finalmente la LT tuvo una población total de 972,000 plantas por ha, siendo el género *Ixophorus* el predominante. En cuanto al peso fresco de la maleza, para LC fue de 25,200 kg/ha precisamente del género *Cynodon*; por su parte la LM obtuvo 4,000 Kg/ha de maleza de hoja ancha y 1,840 kg/ha de gramíneas y ciperaceas; y finalmente en LT se obtuvieron 4,040 Kg/ha de maleza de hoja ancha y 7,680 de gramíneas y ciperaceas. Lo importante aquí, es señalar que en LC hay una dominancia de hoja angosta, mientras que en LM se presenta un poco más de hoja ancha y en LT se puede decir que dominan las de hoja angosta; aunque en volumen o biomasa, es sin duda la LC la que aporta más por unidad de superficie.

Finalmente los rendimientos de maíz obtenidos en promedio con cada uno de los tratamientos, adicionando los resultados obtenidos durante 2004, y los que se obtuvieron en 2005 y 2006 se presentan en el Cuadro 4.11. Este dato se toma como referencia.

**Cuadro 4.11. Rendimiento de grano de maíz VS-536 por tratamiento de labranza y rotación de cultivos (Kg. ha<sup>-1</sup>) C. E. Cotaxtla.**

Tratamientos*		Ciclo	Ciclo	Ciclo
Labranza	Rotación	PV 2004	PV 2005	PV 2006
LC	MM	4,177	4,980	4,568
LM	MM	3,987	5,140	4,256
LT	MM	ND	5,503**	6,548**

\*LC = Labranza Cero, LM = Labranza Mínima, LT = Labranza Tradicional; MF = Maíz-Frijol Mucuna, MM = Maíz-Maíz

\*\* Tomado de parcelas maíz del CIMMYT como testigo.

## 5 CONCLUSIONES

La densidad aparente del suelo a la profundidad de 15 – 30 cm; para el sistema de Labranza Cero se mantenido alta, esto significa que es una capa compactado que ha estado presente desde en inicio de implementación del sistema y no ha presentado cambios de disminución de densidad, las raíces aun no penetrado esa capa significativamente, las lombrices tampoco han penetrado a esa profundidad como para provocar un disminución de la densidad; así mismo este problema esta presente en los sistemas de LM y LT. El efecto de compactación que se muestra a esta profundidad es debido a piso de arado, así como el paso se maquinaria utilizado para la Labranza Cero. La factible solución a este problema de alta densidad es romper esa capa con un cinceleo superior a una profundidad de trabajo de 30 cm.

Para el sistema en Labranza de Cero (LC) el pH, y Labranza Minima (LM) y Labranza Tradicional (LT), durante el ciclo P-V del 2005 y en el ciclo P-V 2006 se mantuvo Moderadamente ácido de acuerdo a la clasificación de Leterlir, 1969; citado por López-Collado (1998). No sufriendo cambios significativos en el pH de un año a otro. Viéndolo desde en punto de vista Calidad de Suelos (CS) los predios evaluados no has sufrido cambios significativos en comparación de el sistema de Labranza de conservación. Provocando una sostenibilida pero no una sustentabilidad.

La Materia Orgánica ( M. O.) en Labranza de Cero (LC) y Labranza Minima (LM) se mantuvo moderadamente rico, dentro de la calificación de Moreno 1978, y citada por López-Collado (1998). En los dos años de cultivo del ciclo P-V del 2005 al 2006; a diferencia de que en el sistema de Labranza Tradicional (LT) fue mediano en los dos años. Si de igual manera lo vemos del punto de vista Calidad de Suelos la Labranza Tradicional si a afectado la Materia Orgánica degradándola y haciéndola menos sostenible y sustentable.

El Potasio (K) en los LC, LM y LT en el ciclo P-V del 2005 presento niveles muy altos de acuerdo a la clasificación que cita López Collado (1998) manteniendo los niveles mas altos en el sistema de Labranza Tradicional; el ciclo P-V 2006 se mantuvieron con tendencia baja pero aun dentro de la clasificación de Muy altos, determinado que las tendencias en niveles de K van a la baja de un año a otro en los sistemas de Labranza.

El Fósforo (P) debido a que presento mayores cantidades en la LT, de acuerdo a Morgan, citado por López Collado (1998) y para los sistemas de LC y LM presento niveles bajos en el 2005 y presentado un contraste para el 2006 en LC, haciendo sostenible los tres sistemas de labranza, y solo sustentable la labranza Cero.

El comportamiento del Nitrógeno presento de acuerdo a la clasificación de Kjeldahlk, medianamente pobre en el ciclo del año 2005, presentando solo en la cama de siembra niveles de rango mediano en los sistemas de LC y LM, en tanto que para el año 2006 presento clasificaciones de pobre en LT y Presentado niveles de Mediano en los sistemas de LC y L M.

Tomando en cuenta que el nitrógeno es el elemento mas importante para el cultivo hace mas sostenible y sustentable los sistemas cuando se hacen rotaciones con leguminosas en este caso Mucuna que es un fijador de nitrógeno.

Para el caso de la C.I.C en el año 2005 en los sistemas de LC y LM se presenta muy alta a diferencia de LT, confirmando un mayor actividad en el suelo por presencia de lombrices que ayudan a que se incremente la Capacidad de Intercambio Cationico, encontrando mas lombrices en los sistemas de LC y LM que en LT donde carece de la presencia de lombrices.

Mas sin embargo los resultados de rendimiento van en aumento en LC, así mismo en LM y en LT, siendo superiores los rendimientos de LT en cada ciclo de cultivo, que en este caso fue el de P-V; presentando se altas y bajas en los indicadores evaluados en los tres sistemas de Labranza y teniendo una alta

resistencia a la penetración el LC y LM a comparación de LT que se mostró menos compactada en los dos años de evaluación.

Los indicadores evaluados vistos desde el punto de vista de Calidad de Suelos nos dan idea de las tendencias de pérdida y/o aumento en los tres sistemas de labranza; hasta esta evaluación no se registran variaciones significativas en las propiedades físicas del suelo que son utilizadas como indicadores de su mejoría o degradación.

## 6 BIBLIOGRAFIA

Adams, W. E., H. D. Morris, J. Giddens, R. N. Dawson and G. W. Langdale. 1973. Tillage and fertilization of corn grown on lespedeza sod. *Agron. J.* 65:653-655.

Alexander, M. 1961. *Introduction to soil microbiology.* John Wiley and sons, Inc. New York. pp:139-149.

Allmaras, R. R., P. W. Unger and D. E. Wilkins. 1985. Conservation tillage systems and soil productivity. *In: R. F. Follet and B. A. Stewart (Eds.). Soil erosion and crop productivity.* Am. Soc. Agron. Madison Wi. Pp. 357-412.

Anomino. 1999. *Memorias de Resumen. Simposio Nacional sobre Labranza de Conservación, 21-23 Octubre de 1999.* Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

ASAE. 1982. *Terminology and definitions for soil tillage and soil-tool relationships.* ASAE Engineering Practice: ASAE EP291.1. Agricultural Engineers Yearbook. St. Joseph, MI pp. 258-260.

Aulakh, M. S., D. A. Rennie and E. A. Paul. 1984. Gaseous nitrogen losses under zero till as compared with conventional till management systems. *J. Environ. Qual.* 13:130-136.

Bandel, V. A., F. R. Mulford and H. J. Bauer. 1984. Influence of fertilizer source and placement on no-tillage corn. *Fertilizer issues.* 2:38-43.

Bandel, V. A., S. Dzienia, G. Standford and J. O. Legg. 1975. Nitrogen behavior under no-till vs conventional corn culture. I. First year results using unlabeled N



fertilizer. Agron. J. 67:782-786.

Barber, R. B. 1998. Potencialidad de los sistemas de labranza conservacionista y los resultados vegetales para lograr condiciones edafológicas favorables In: Claverán A. R. y F. O. Rulfo V. (eds.) Memorias de la IV Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista. Morelia. Michoacán. México. CENAPROS. INIFAP. SAGAR. Pp 1-25.

Belcher, C. R. and J. L. Ragland. 1972. Phosphorus absorption by sod-planted com (*Zea maíz* L) from surface-applied phosphorus. Agron. J. 64:754-756.

Blevins, R. L., G. W. Thomas, M. S. Smith, W. W. Frye and P. L. Cornelius. 1983. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventional tilled com. Soil and Tillage Research.3:135-146.

Boletín de Suelos de la FAO 78. Roma, Italia.

Braunack, M. V. and A. R. Dexter. 1989. Soil aggregation in the seedbed: A review 11. Effect of the aggregate sizes on plant growth. Soil Tillage Res. 14:281-298.

Buckles, D. y O. Erenstein. 1996. intensificación de los sistemas de cultivos básicos en la sierra de Santa Marta, Veracruz NRG 96-Es. Mexico, D. F.: CIMMYT. 62p.

Campos, M. S. G. (1998). Desarrollo de Equipos Modernos de Siembra para Labranza de Conservación Acoplados a Equipos Mutiusos de Traccion Animal. Informe final sin publicar del proyecto Conacyt-SIGOLFO 96-05-015-V. INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz.

Campos, S. M. 1996. Desarrollo de una sembradora de labranza de conservación para dosificar mecánicamente IX Reunión Científica y Tecnológica Forestal y Agropecuaria de Veracruz. INIFAP- CIRGOC. Pp. 124 - 131.

Campos, S. M. 1997 Force measurement and recording data análisis system for tillage tools. Agriculture Mechanization for Asia, Africa, and America 28:19-25.

Campos, S. M. 1999. Desarrollo de equipos de siembra para labranza de conservación acoplaos a equipos multiusos de tracción animal IX Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola 80-87.

CENAPROS. 1999. Programa Nacional de Agricultura Sostenible (Labranza de Conservación). Centro Nacional de Investigación para producción Sostenible, INIFAP.

Chapman, H. D. y Pratt. 1976. Método de análisis para suelos, plantas y agua. Ed. Trillas, México.

Claverán, A. R., J. Velásquez G., J. A. Muños V., M. Tiscareño L., J. L. Salinas G. M. B. Nájera R. 1997. Introducción. *In: Claverán et al. (ades.) Avances de investigación en: Labranza de conservación I. Avances de Investigación para producción sostenible. CENAPROS. INIFAP. Libro tecnico No. 1 pp 1-2.*

Claverán, Alonso, R. y F. O. Rulfo Vilchis (ed.). 2001. Productividad y Conservación Suelo y Agua. Avances de Investigación en Agricultura de Conservación II. Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible. Libro Técnico 2. INIFAP.

Claverán, Alonso, R., J. Velázquez García, J.A. Muñoz Villalobos, M. Tiscareño López, J. R. Salinas García, M. B. Nájera Rincón. 1997. Avances de Investigación en labranza de conservación I. SAGAR-INIFAP-CENAPROS.

Conservation Tillage Information Center. 1984. National Survey (of) Conservation Tillage Practices. CTIC. Fortwayne, IN. 137 p.

Cruz, L. A. 1997. Y sigue la yunta andando. Universidad Autónoma de Chapingo 173 p.

Derpsch, R. 1999. Expansión mundial de la siembra directa y avances tecnológicos. Memoria de la V Reunion RELACO. Florianópolis, Brasil.

Dick, W. A. 1983. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. Soil Sci. Am. J. 47:102-107.

Doran, J. W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:765-771.

Dowdell, R. J., R. Crees and R. O. Cannell. 1983. A field study 01 contrasting methods of cultivation on soil nitrate content during autumn, winter and spring. J. Soil Sci. 34:367-379.

Eckert, D. J., W. A. Dick and J. W. Johnson. 1986. Response of no-tillage corn grown *In com* and soybean residues to several nitrogen fertilizer sources. Agron. J. 78:231-235.

Erenstein, O. C. A. y P. I. Cadena 1997. la adopción de labranza de conservación en un sistema de cultivo en ladera en Motozintla, Chiapas. NRG 97-01 Es. México, D. F.: CIMMYT. 54 p.

Esqueda Esquivel, V. A. 1990. Control de la maleza en el entresurco de maíz de temporal con herbicidas no selectivos, P. 110. En: Memorias Tercera Reunión Anual del Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del Estado de Veracruz. Veracruz, Ver., 6 al 7 de diciembre de 1990.

Esqueda Esquivel, V. A. y F. A. Rodrigues Montalvo. 1991. Evaluación de herbicidas preemergentes en maíz de temporal. P. 26. En: Memorias XII Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. Acapulco, Gro. 6 al 8 de noviembre de 1991.

F.A.O. 2002. Agricultura de conservación: Estudio de casos en América Latina.

Fenn, L. B. and S. Miyamoto. 1981. Ammonia loss and associated reactions of urea in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am . J. 45:537-540.

Figuroa S., B. 1975. Pérdidas de suelo y nutrientes y su relación con el suelo del uso en la cuenca del río Texcoco. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de posgraduados-ENA. Chapingo, México. 209 p.

Figuroa S., B. 1982 La investigación de labranza en México. Memorias del XV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Mexico, D. F p 34

Figuroa, B. S. y F. J. R. Morales. 1992. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de postgraduados. SAHR. 273p.

FIRA. 1996. Centro de Desarrollo Tecnológico Villadiego. Día Demostrativo Anual, Valle de Santiago, Guanajuato, México.

Fussell, B. 1992 The store of corn. Alfred A. Knoff 356p.

González, L. L. R. 1990 labranza de conservación una alternativa para aumentar la producción y productividad del ago mexicano. FIRA boletín informativo 222, 44p.

Groffman, P. M. 1984. Nitrification and denitrification in conventional no-tillage soils. Soil Sci. Soc Am. J. 49:329-334.

Harding, R. B., T. W. Embleton, W. W. Jones and T. M. Ryan. 1963. Leaching and gaseous losses of nitrogen from some non-tilled California soils. Agron. J. 55:515-518.

Hargrove, W. L. 1985. Influence of tillage on nutrient uptake and yield of corn. Agron. J. 77:763-768.

Hargrove, W. L., J. T. Reid, J. T. Touchton and R. N. Gallaher. 1982. Influence of tillage practices on the fertility status of an acid soil double-cropped to wheat and soybean. Agron. J. 74:684-687.

Hoyt, J. D., R. L. Fodd, y R. A Leonard. 1980. Nitrogen cycling in conventional and no-tillage systems in the southeastem coastal plains. Agron. Abstr. p. 154.

Ike, I. F. 1986. Soil and crop responses to different tillage practices in a ferruginous soil in the Nigerian savanna. *Soil and Tillage Research*. 6:261-272.

INEGI, 1991. VII Censo Agrícola-Ganadero. INEGI. Aguascalientes, Ags., México. 2 volúmenes. (857 p., y 796 p.)

INEGI, 1998. Estadísticas del medio ambiente. México. INEGI. SEMARNAP. 461 p.

INEGI. (1995). Sector Agropecuario. Resultados Definitivos, Censos Agrícola, Ganadero y Ejidal, 1991. INEGI.

Jackson, M. L. 1976 Análisis químico de suelos. Ed. Amega, S. A. Barcelona.

Kang, B. T. and A. D. Messan. 1983. Fertilizer management for no-tillage crop production. *In: No-tillage crop production in the tropics. Proceeding of West African and International Weed Science Society. International Plant Protection Center. Oregon State University. ORo pp 111-118.*

Kang, B. T. and M. Yunusa. 1977. Effect of tillage methods and phosphorus fertilization on maize in the humid tropics. *Agron. J.* 69:291-294

Keller, G. D. and D. B. Mengel. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1060-1063.

Keller, G. D. and D. B. Mengel. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1060-1063.

Kitur, B. K., M. S. Smith, R. L. Blevins and W. W. Frye. 1984. Fate of <sup>15</sup>N-

depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn  
Agron. J. 76:240-242.

Lal, R. 1979. importance of tillage systems in soil and water management in the tropics. *In*: Lal (ed.) Soil tillage and crop production. Proceeding series No. 2. IITA. Ibadan, Nigeria. pp. 25-35.

Legg, J. O., G. Standford y O. L. Bennett. 1979. Utilization of labeled-N fertilizer by silage corn under conventional and no-till culture. Agron. J. 71:1009-1015.

López-Collado C. J. 1998. Interpretación de los Resultados de los Análisis Químicos de Suelos Agrícolas. Colegio de Posgraduados. Instituto de Fitosanidad. Campus Veracruz, Opo. De Manlio F. Altamirano, Veracruz. México. 45 p.

Mannering J., V. and C. R. Fenster. 1983. what is conservation tillage?. J. Soil Water Cons. 38:141-143.

McInnes, K. J., R. B. Ferguson, D. E. Kissel and E. T. Kanemasu. 1986. Field measurement of ammonia loss from surface applications of urea solution to bare soils. Agron. J. 78:192-196.

Medina G. G., J. A. C. Ruiz, y R. A. P. Martínez 1998 Los climas de México SAGAR, INIFAP, CIRPAC 101p.

Mengel, D. B., D. W. Nelson and D. M. Huber. 1982. Placement of nitrogen fertilizer for no-till and conventional till corn. Agron. J. 74:515-518.

Montaner y Simon, S. A; Barcelona.

Moschler, W. W. and D. C. Martens. 1975. Nitrogen, phosphorus and potassium requirements in no-tillage and conventionally tilled corn, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39:886-891.

Narro, E. 1994. Composición del suelo. In: Física de suelos con enfoque agrícola. Ed Trillas Mexico, D. F pp 26-27, 41, 101, 111.

Nelson, D. W. 1982. Gaseous losses of nitrogen other than through denitrification. *In*: J. Stevenson (ed.) Nitrogen in agricultural soils. Agronomy. pp 327-363.

Ochoa, G. 1999. (FIRA) Comunicación personal

Parker, D. T., W. E. Larson and W. V. Bartholomew. 1957. Studies on nitrogen tieup as influenced by location of plant residues in soils. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 21:608-612.

Phillips, R. E., R. L. Blevins, G. W. Thomas, W. W. Frye and S. H. Phillips. 1980. No-tillage agriculture. Science 208:1108-1113.

Pimentel D. and M. Burgess. 1980. Energy inputs in corn production. *In*: Pimentel D. (ed.) 1980. Handbook of energy utilization in Agriculture. CRC Press Inc. Boca Ratón, FLA. Pp 67-84.

Pinck, L. A., F. E. Allison and V. L. Gaddy. 1946. The nitrogen requirement in the utilization of carbonaceous residues in soil. Amer. Soc Agron, J. 38:410-420.



Power, J. F., J. W. Doran and W. W. Wilhelm. 1986. Uptake of nitrogen from soil, fertilizer, and crop residues by no-till corn and soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:137-142.

Reeves, D. W. and J. T. Touchton. 1986. Subsoiling for nitrogen applications to corn grown in a conservation tillage system. *Agron. J.* 78:921-926.

Rice, C. W. and M. S. Smith. 1983. Nitrification of fertilizer and mineralized ammonium in no-till and plowed soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:1125-1129.

Rice, C. W., M. S. Smith and R. L. Blevins. 1986. Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1206-1210.

Rice, C. W., M. S. Smith and J. H. Grove. 1981. Microbial transformations of nitrogen as affected by tillage. *Agron. Abstr.* P. 169.

Scopel, E. (Ed) 1997. Memoria del taller de transferencia de labranza de conservación para maíz de temporal en el Estado de Jalisco Mexico, D. F.: CIMMYT, INIFAP, CIRAD, SDR. 83p.

Shear, G. M. and W. W. Moschler. 1969. Continuous corn by the no-tillage and conventional tillage methods. A six-year comparison. *Agron. J.* 61:524-526.

Shenk, M. D., J. Saunders y G. Escobar. 1983. Labranza mínima y no labranza en sistemas de producción de maíz (*Zea maíz*) para áreas tropicales húmedas de Costa Rica. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 29.

Singh, T. A., G. W. Thomas, W. W. Moschler and D. C. Martens. 1966. Phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.) under no-tillage and conventional practices. *Agron. J.* 58:147-148.

Soule, M. J. 1997. farmer assesment velvetbean as a green manure in Veracruz, Mexico: Experimentation and expected profits. NRG paper 97-02 Mexico, D. F.: CIMMYT 21p.

Steiner. J. L., H. H. Schomberg and J. E. Morrison Jr. 1994. Residue decomposition and redistribution. *In: Crop residue management in the Southern Great Plains U. S. Dept. Agrc. Conservation Research report Number 34. Beltsville. MD USA.*

Thomas, G. W. and W. W. Frye. 1984. Fertilization and liming. *In: R. E. Phillips and S. H. Phillips (eds.) No-tillage agriculture. Principles and practices. Van Nostrand Reinhold Co. New York. pp. 87-126.*

Thompson, L. M. 1966. *El suelo y su fertilidad.* Ed. Rever, Barcelona.

Tisdale, S. L. y W. L. Nelson. 1977. *Fertilidad de los suelos y fertilizantes.*

Triplett, G. B. Jr. and D. M. Van Doren, Jr. 1969. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization of non-tilled maize. *Agron. J.* 61:637-639.

Uresti G., J. y M. Cadena Z., 1992. Efecto de la cobertura vegetal sobre la perdida se suelo bajo dos sistemas de labranza en condiciones tropicales. En: *Memoria del XXV Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.*

Uribe G., S., N. Francisco N. Y A. Turrent F. 1999. Pérdida de suelo y nutrimentos en un Entisol con diferente manejo del suelo en Los Tuxtlas,

Veracruz. En Memoria del Simposio Nacional sobre Labranza de Conservación.  
Pp: 26-27. Montecillo, Edo. de México.

Van Nieuwkoop, M., W. B. Walter, A. M. Zamarripa, R. C. de la piedra, F.U.C.  
Cruz, R. G. Camas, J. L. Martínez 1994. La adopción de tecnologías de  
labranza de conservación. La Fraylesca, Chiapas. CIMMYT-INIFAP. 93 p.

Ventura R. E. Jr. Y B. Figueroa S. 1991. Información disponible en el  
CREZAS-CP.

Wells, K. L. 1984. Nitrogen management in the no-till system. *In*: R. S. Hauck  
(ed.) Nitrogen in crop production. American Society of Agronomy. Madison, WI.  
pp. 535-550.

