



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Biosistemas

TESIS
MODELACIÓN DEL BALANCE DE HUMEDAD EN EL SUELO BAJO TRES TIPOS DE LABRANZA

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de la:

Maestría en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas

Presenta:

ANTONIO VÁSQUEZ ORTEGA

Dirigido por:

Dr. JUAN ÁNGEL QUIJANO CARRANZA

SINODALES

Dr. Juan Ángel Quijano Carranza.
Presidente

Dra. Rosario Guzmán Cruz.
Secretario

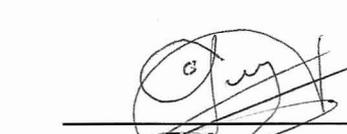
Dr. Enrique Rico García.
Vocal

M.C. Ricardo Yáñez López.
Suplente

M.C. Arturo Arana Juaristi.
Suplente



Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad



Firma



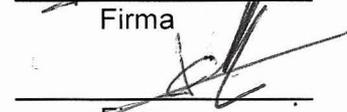
Firma



Firma



Firma



Firma



Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
mayo 2014
México

RESUMEN

El incremento en la población en el mundo fuerza a una mayor presión en la explotación de recursos utilizados para la producción agrícola como el agua y el suelo. En México más de 20 millones de hectáreas que se siembran 6,46 millones de riego y en estas recae el 57% de la producción agrícola, el resto de la superficie es de temporal siendo este muy vulnerable a los fenómenos meteorológicos de los cuales la sequía es la más importante. Del valor total de producción a nivel nacional el maíz es el producto que mayor importancia tiene con el 22% muy por encima del segundo caña de azúcar con un 6%. La falta de humedad suficiente para la producción agrícola se puede desglosar en dos componentes, por un lado la escasez y errática distribución de las lluvias y por el otro la baja capacidad de los suelos agrícolas para captar y almacenar la humedad. Diversos autores han señalado la necesidad de recuperar y conservar el recurso suelo como una estrategia para elevar la eficiencia en el aprovechamiento del temporal en México. El objetivo de este trabajo es modelar la capacidad de captación y retención de humedad en un suelo vertisol, representativo del Bajío Guanajuatense y su grado de aptitud para soportar la agricultura de temporal bajo las condiciones de labranza tradicional y con la aplicación de prácticas conservacionistas. Para ello en 2005 se inició este trabajo realizando tres tratamientos, labranza tradicional, labranza de conservación con aplicación de composta y 50% de cobertura de rastrojo y labranza de conservación sin aplicación de composta y 70% de cobertura de rastrojo. Teniendo una textura en los suelos de arcilla ligera en los resultados se muestra un cambio de textura en los tratamientos de labranza de conservación a una textura de franco teniendo un cambio importante en las propiedades hidráulicas del suelo utilizando el modelo MSPEC para hacer las simulaciones y mostrándolas en el mapa de Guanajuato aumentando considerablemente los rendimientos en algunas partes hasta el doble.

Palabras clave: Modelaje dinámico, balance de humedad, labranza de conservación

SUMMARY

The increase in the world population applies greater stress on the exploitation of the resources used for agriculture, such as: soil and water. In Mexico of more than 20 million hectares that are sown 6.46 million with irrigation and in these are 57% of the agricultural production, the rest of the surface is temporary for being this very vulnerable to weather events of which drought is the most important. Of the total value of production, at the national level, maize is the product of most importance with a 22%, well above the second, sugar cane with 6%. The lack of sufficient moisture for agricultural production, can be down to two components; on the one hand the scarcity and erratic distribution of rainfall, and the other, low capacity of agricultural soils to capture and store moisture. Several authors have pointed out the need to recover and conserve the resource, soil, as a strategy to raise the efficiency of the temporal agriculture in Mexico. The objective of this work is modeling the ability to capture and retention of moisture in a soil. Vertisol, representative of "El Bajío", Guanajuato and its degree of suitability to support agriculture in temporary agriculture under traditional plowing conditions and the implementation of conservation practices. This work was initiated for this purpose in 2005 performing three treatments, traditional tillage, conservation tillage with application of compost and 50% coverage of stubble and conservation tillage without application of compost and 70% coverage of stubble. Having a texture in the soils of light clay in the results shows a change of texture in the treatments of conservation tillage to a texture of Franco having an important change in the hydraulic properties of the soil using the MSPEC model to make the simulations and showing them on the map of Guanajuato greatly increasing yields in some parts up to the double.

Key words: Dynamic modeling, wáter balance, conservation tillage

AGRADECIMIENTOS

Agradezco Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma de Querétaro por su apoyo en la obtención del grado de maestría.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) través del Campo Experimental Bajío (CEBAJ), en especial al laboratorio de modelación por las facilidades que me brindaron para la realización de este trabajo.

INDICE

RESUMEN	ii
SUMMARY	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE	v
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2 FUNDAMENTACIÓN TEORICA	6
1.3 Objetivo General.	20
1.4 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Hipótesis	20
II METODOLOGÍA	21
2.1. Efecto de las prácticas conservacionistas en las propiedades hidráulicas de un suelo vertisol representativo del Bajío Guanajuatense.	21
2.2. Modelación de la producción de maíz de temporal en Guanajuato, en función del balance de humedad del suelo bajo dos escenarios de condición de suelo.	24
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
IV. CONCLUSIONES	36
V. BIBLIOGRAFIA	37

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Propiedades hidráulicas del suelo en función de la textura	13
2. Fracción máxima de humedad que puede ser extraída del suelo (p) como una función de la tasa de transpiración máxima, T_m para diferentes tipos de cultivos.	14
3. Valores de (T_a/T_m) de acuerdo a las diferentes condiciones que pueda presentar la humedad del suelo.	15
4. Cambio de propiedades Hidráulicas en suelo	28
5. Rendimientos en lote experimental.	29
6. Rendimientos simulados.	30
7. Rendimientos reales y simulados (labranza tradicional).....	31
8. Rendimientos reales y simulados (labranza cero).....	32

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Labranza Tradicional.	21
2. Labranza cero con aplicación de composta y 50% de cobertura de rastrojo.	22
3. Labranza cero con 70% de cobertura.	23
4. Infiltración de agua en el suelo.....	26
5. Zonas agrícolas de riego y temporal del estado de Guanajuato.....	27
6. Descripción física del estado de Guanajuato.	27
7. Correlación de datos reales contra simulados (labranza tradicional).....	31
8. Correlación de datos reales contra simulados (labranza cero).....	33
9. Mapa de simulaciones con condiciones de labranza tradicional en temporal del estado de Guanajuato.	34
10. Mapa de simulaciones con condiciones de labranza cero en temporal del estado de Guanajuato.	35

I. INTRODUCCIÓN

El agua y el suelo son los recursos naturales que atraen la mayor atención y esfuerzo por parte de los individuos, las comunidades y los gobiernos en todo el mundo, debido a la cada vez mayor presión que la creciente población humana ejerce sobre estos limitados recursos.

La disponibilidad de agua dulce para el consumo humano es un tema de preocupación para prácticamente todas las naciones del mundo, aunque la escasez de este vital líquido se concentra en aproximadamente 2.8 billones de personas (40% de la población total del mundo), en las regiones más pobres del planeta (Secretariado de la Convención en Diversidad Biológica, 2010). La falta de agua no solamente se relaciona con la escasez del recurso, sino con la dificultad para limpiarla, conducirla y distribuirla a los centros de población. En la mayor parte del mundo las campañas para la conservación y uso racional del agua se han tornado cada vez más frecuentes.

De acuerdo con el informe de FAO relativo a la Evaluación de la Degradación del Suelo en Zonas áridas, publicado en 2003, la degradación del suelo afecta al 20 por ciento de la superficie agrícola mundial y a 1.5 millones de personas, equivalente a una cuarta parte de la población de todo el planeta. Este proceso afecta a más del 20 por ciento de las tierras agrícolas, el 30 por ciento de los bosques y el 10 por ciento de los pastizales; sus principales efectos incluyen la disminución de la productividad agrícola, la migración, la inseguridad alimentaria, daños a recursos y ecosistemas básicos y la pérdida de biodiversidad debido a cambios en los hábitat de las especies.

En México, la conservación del suelo y el agua es un tema de seguridad alimentaria y tiene implicaciones sociales, económicas y ecológicas muy importantes. De acuerdo con cifras de la Comisión Nacional del Agua, (CNA), del volumen total de agua utilizado en el territorio nacional, comprendiendo la

superficial y subterránea, el 77% corresponde al uso agrícola, en el cual se incluye también a la ganadería. En este sector, (agrícola y ganadero) diversos estudios señalan que más del 50% del volumen utilizado se desperdicia por la obsolescencia de los sistemas de conducción y la mala administración del recurso Araujo y Betancourt (2002), estiman que un 40% del agua utilizada en la agricultura se extrae de pozos y que casi dos terceras partes del agua total utilizada para el riego en México se desperdician.

De las más de 20 millones de hectáreas que se siembran en el país, solamente 6.46 millones son de riego, en las cuales se produce el 57% del valor total de la producción agrícola en México que en el ciclo 2008 ascendió a 305, 950 millones de pesos, de acuerdo con cifras del Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera, (SIAP). El maíz es el producto más importante, con un 22% del total, muy por encima de la segunda especie en importancia que es la caña de azúcar que aporta el 6% del valor total de la producción nacional; por otra parte, del valor total de la producción del maíz, el 57% corresponde a la agricultura de temporal, lo cual es indicativo de que este tipo de agricultura es de gran relevancia para el país, no solo en lo social sino también en lo económico y por supuesto en lo ecológico.

Algunas naciones han emprendido estrategias de largo plazo y amplia visión para avanzar en la conservación de los recursos naturales buscando el beneficio de las generaciones actuales y futuras. El Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos de Norteamérica (NRCS), mantiene desde 1935 una estrategia nacional para la restauración y conservación de recursos como el agua y el suelo. De acuerdo con el reporte de avances del plan estratégico del NRCS, los principios que guían la actuación de esta dependencia son El servicio, La Cooperación y la Excelencia Técnica, de manera que el NRCS pone al servicio de los propietarios de la tierra en los Estados Unidos (los cuales detentan el 70% de la tierra), conocimiento e información que especialistas de diversas disciplinas

aportan para que el manejo de los recursos naturales se lleve a cabo de una manera eficiente y sostenible.

Aunque los estudios para evaluar y planificar el uso de los recursos naturales se han practicado por siglos, desde finales del siglo pasado las metodologías para obtener y analizar datos sobre la evolución de recursos como el agua y el suelo se han mejorado con rapidez, integrando herramientas de análisis como sistemas de información geográfica y modelos de simulación (Beinroth et al, 1998). La FAO publicó en 1976 un manual titulado “Marco de referencia para la evaluación de tierras”, en el cual se combinaban criterios físicos y socioeconómicos para clasificar la aptitud de la tierra, basados primordialmente en consideraciones cualitativas. En 1998, Bandibas propuso un sistema para la evaluación de la aptitud de la tierra basado en el uso de una red neuronal artificial, el conocimiento de expertos y los sistemas de información geográfica; en este sistema, la red neuronal artificial se entrenó para simular los criterios de clasificación de aptitud de la tierra de la FAO, incorporando parámetros climáticos, topográficos y características físicas y químicas del suelo como elementos para estimar erosión, retención de humedad, fertilidad del suelo y salinidad.

En los (años) 80's y 90's, surgieron una serie de modelos basados en variables físicas que integraban procesos como infiltración, escurrimiento, drenaje, evaporación y transpiración a nivel diario e incorporaban el balance de humedad a modelos de crecimiento de plantas, ejemplos de estos modelos son el CERES (Crop-Environment Resource Synthesis) de Jones and Kiniry (1986); el modelo EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) de Williams et al (1990); el modelo SUCROS (A simple and Universal Crop Growth Simulator) de Spitters et al (1989) más reciente el modelo GECROS (Genotype-by-Environment interaction on Crop Growth Simulator), de Xinjou y van Laar (2005).

En un esfuerzo por apoyar la planificación del uso de recursos, Conde y colaboradores, del Centro de Ciencias Atmosféricas de la UNAM, en 2004,

llevaron a cabo un estudio relativo al impacto del cambio climático en la agricultura de temporal, para ello utilizaron el modelo de crecimiento CERES-Maize, en el cual se incluyen un módulo para el cálculo de la tasa de crecimiento y desarrollo del cultivo y un módulo para la estimación del balance de humedad y los nutrientes nitrógeno y fósforo a nivel diario. Este modelo sirvió para estimar los rendimientos esperados de maíz bajo diferentes escenarios de cambio climático. El estudio concluye que la superficie de maíz de temporal en México probablemente se reducirá entre un 15% y un 40% por los efectos que el cambio climático generará en:

La elevación significativa de la temperatura, lo cual someterá a los cultivos a una mayor demanda evapotranspirativa.

Cambios en los patrones de precipitación que incrementarán el escurrimiento superficial y por consecuencia disminuirán la captación de humedad por los suelos y la disponibilidad para el cultivo.

El estudio no consideró ningún cambio en las propiedades del suelo por efecto de la aplicación de prácticas conservativas, lo cual sería muy deseable para inferir sobre el potencial de este tipo de medidas de mitigación o de recuperación de los recursos.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un recurso cada vez más escaso y valioso. Lo más preocupante es que aún no se acepta que las reservas de agua son finitas. No cabe duda de que la creciente escasez y mal aprovechamiento del agua dulce constituyen una grave amenaza para el desarrollo sostenible.

La competencia entre agricultura, industria y las ciudades por los limitados suministros de agua está restringiendo las actividades de desarrollo en muchos países. A medida que las poblaciones se expandan y las economías crezcan, la

competencia por este escaso recurso se intensificará, y con ella, también los conflictos entre los usuarios del agua.

Pese a la escasez de agua, su utilización errónea es un fenómeno generalizado. Pequeñas comunidades y grandes urbes, agricultores, industrias, países en desarrollo y economías industrializadas, todos están manejando mal los recursos hídricos. La calidad del agua de superficie se está deteriorando en las principales cuencas a causa de residuos urbanos e industriales. Las aguas freáticas se contaminan desde la superficie y se deterioran irreversiblemente con la intrusión de agua salada. Los acuíferos sobreexplotados están perdiendo su capacidad de contener agua, y las tierras se están hundiendo. Las ciudades no son capaces de atender debidamente las necesidades de agua potable y saneamiento. El anegamiento y la salinización están reduciendo la productividad de las tierras regadas. Con la merma de los caudales está disminuyendo la generación de energía hidroeléctrica, la asimilación de contaminación y hábitats de peces de flora y fauna silvestres.

La agricultura no sólo es el sector que consume más agua en el mundo en términos de volumen también representa, en comparación con los otros, un uso de bajo valor, poco eficiente y muy subvencionado. Estos factores están forzando a gobiernos y a los donantes a reconsiderar las repercusiones económicas, sociales y ambientales de los grandes proyectos de riego financiados y administrados por el sector público. En el pasado, el gasto interno en riego era la principal partida de presupuestos agrícolas en países de todo el mundo. Por ejemplo, desde 1940 México ha destinado el 80% de su gasto público de agricultura a proyectos de riego. En China, Indonesia y Pakistán, el riego ha absorbido más de la mitad de la inversión agrícola. En India, se ha aplicado a la irrigación alrededor del 30% de la inversión pública total.

En México, más del 70% de la superficie agrícola se cultiva bajo condiciones de temporal, aportando el 41% del valor de la producción agrícola total del país

(SIAP, 2012). La causa de esta baja aportación reside en la alta vulnerabilidad de este tipo de agricultura que está expuesta a fenómenos meteorológicos extremos, de los cuales la sequía es el más importante. La falta de humedad suficiente para la producción agrícola se puede desglosar en dos componentes, por un lado la escasez y errática distribución de las lluvias y por el otro la baja capacidad de los suelos agrícolas para captar y almacenar la humedad. Diversos autores Aguilar *et. al.* 2005 han señalado la necesidad de recuperar y conservar el recurso suelo como una estrategia para elevar la eficiencia en el aprovechamiento del temporal en México.

Es necesario generar información sobre el efecto que tienen las diversas técnicas de manejo conservativo del suelo sobre las propiedades físicas y químicas del suelo que se relacionan con el aprovechamiento de la humedad, de manera que permita evaluar las posibilidades de este tipo de prácticas como alternativa para la producción bajo condiciones de temporal en México.

1.2 FUNDAMENTACIÓN TEORICA

El riesgo y la incertidumbre son elementos que siempre están implícitos en la agricultura en general, pero son más frecuentes en condiciones de temporal. Para mitigar el riesgo agroclimático en temporal, es conveniente enfatizar la importancia de la labranza de conservación y el aumento de materia orgánica para más del 90 % de los suelos, por que con esto se logra captar y retener tanto lluvias menores de 5mm que normalmente se evaporan como las mayores de 30mm. Logrando esto se aumenta la capacidad de campo y se ataca de manera frontal a la erosión hídrica y eólica, de manera que un periodo de cinco a siete años ya se capta más del 60 % del total de agua de lluvia, pues actualmente se capta menos de 27 % ,(Aguilar, 2001)

En la actualidad, los enfoques para hacer un uso racional del agua en la agricultura, se basan en el manejo integrado de información sobre los sistemas Suelo, Planta y Atmósfera. Particularmente, bajo condiciones de agricultura de

secano (temporal y humedad), el conocimiento integrado de esta relación es determinante para manejar el cultivo y obtener el máximo aprovechamiento del riego, la precipitación y de la humedad disponible en el suelo.

Modelo del Balance de Humedad en el suelo.

A continuación, se presentan los SUPUESTOS básicos del modelo propuesto al usar la metodología de Sistemas Dinámicos, los cuales ayudan a especificar y explicar cómo y cuándo la humedad del suelo puede considerarse un factor limitante del desarrollo vegetal.

Van Keulen & Wolf (1986) presentaron un esquema para calcular el efecto de la humedad disponible como factor limitante de la producción, en el cual la tasa de crecimiento del cultivo depende de la radiación absorbida y de la medida en que la tasa de transpiración del cultivo satisface a la demanda evaporativa del ambiente.

El rendimiento obtenido bajo estas condiciones los autores lo denominan Rendimiento Alcanzable. Las variables más importantes son los balances de humedad en la planta y el suelo. Los procesos relevantes incluyen a la transpiración y su estrecha relación con la asimilación del CO₂, así como la pérdida o ganancia de humedad en el suelo, a través de la evaporación, el drenaje y el escurrimiento. La diferencia entre el Rendimiento Potencial y el Rendimiento Alcanzable, refleja directamente la importancia de la humedad disponible sobre la producción. Se considera que el rendimiento alcanzable es también un rendimiento potencial debido a que en su estimación se mantienen los supuestos de que hay un suministro óptimo de nutrientes y no existe interferencia de plagas, enfermedades o maleza. Este es el rendimiento objetivo bajo condiciones de temporal.

Es importante resaltar aquí la estrecha relación que existe entre la tasa de crecimiento y la tasa de transpiración, cuando la transpiración actual del cultivo es

igual a la transpiración potencial entonces la fotosíntesis actual también es igual a la fotosíntesis potencial de acuerdo a la siguiente relación:

$$\frac{\text{Fotosíntesis Actual}}{\text{Fotosíntesis Potencial}} = \frac{\text{Transpiración Actual}}{\text{Transpiración Potencial}}$$

De este modo, cuando la Transpiración actual es menor que la Transpiración potencial, la Fotosíntesis actual será una fracción de la Fotosíntesis Potencial de acuerdo con:

$$\text{Fotosíntesis Actual} = \text{Fotosíntesis Potencial} * \frac{\text{Transpiración Actual}}{\text{Transpiración Potencial}}$$

De acuerdo con este esquema, el cierre parcial o total de estomas para evitar las pérdidas de vapor de agua afecta además el flujo de absorción de CO₂ reduciéndose por lo tanto la tasa de fotosíntesis.

De Witt (1958), presentó evidencias experimentales de que la producción de materia seca es una función directa de la cantidad de agua transpirada. El presenta el gasto de agua (Transpiración Actual) con la demanda evaporativa del ambiente E_o, (Transpiración Actual / E_o); utilizando el factor 1/E_o para corregir por efecto de lugar. La única diferencia entre producciones de materia seca por unidad de agua utilizada, se debe a la diferencia en eficiencia fotosintética del sorgo (C4) y del trigo (C3) (70 y 40 kg ha⁻¹ hr⁻¹ respectivamente).

Por otra parte, la humedad disponible en el suelo, definida como aquella cantidad de agua retenida en el rango entre el contenido de humedad a capacidad de campo (H_{Sc}) y el contenido de humedad en el que las plantas alcanzan la marchitez permanente (H_{Spmp}), es igualmente disponible para la planta en todo ese rango. Veihmeyer y Henrickson (1950), demostraron que entre las tensiones de 0.3 a 15 atmósferas, la humedad es igualmente disponible, y que el esfuerzo que la planta tiene que ejercer para absorber el agua entre ambos extremos, no es

significativamente diferente. Bajo condiciones de mínima transpiración y máxima densidad de raíces, el crecimiento relativo (CR) es igual a 1.0 en este rango de tensión de humedad.

Por lo tanto, la no correspondencia con el $CR = 1.0$ comúnmente observada a ciertas tensiones entre 1.0 y 15 atmósferas, no se puede explicar como falta de capacidad de la planta para ejercer tal esfuerzo, sino como una diferencia entre la tasa de transpiración y la tasa de absorción; es decir, que la velocidad con que el sistema de raíces abastece al sistema planta, es menor que la velocidad a la que se pierde el agua por transpiración. Denmead y Shaw (1962) presentaron suficiente evidencia experimental para soportar el principio de Veihmeyer.

Balance de humedad en el sistema agua-suelo-atmosfera.

Para el cálculo del balance de humedad, es necesario obtener datos del laboratorio de suelos y constantes empíricas de la literatura. Determinar la textura es uno de los pasos importantes, la cual está determinada por el porcentaje de arena, limo y arcilla.

Se parte del punto correspondiente al porcentaje de limo, trazando una línea hacia adentro dirigida a la base del triángulo. Nos cambiamos al lado correspondiente al porcentaje de arcilla, trazando una línea paralela a la base del triángulo. La clase de textura estará determinada por el segmento donde se intersecten las dos líneas.

Balance del Humedad en el Suelo en el modelo MSPEC.

En el presente modelo, el suelo es tratado como dos compartimientos; zona de raíces y zona de no raíces, para cada uno de estos se utilizó una ecuación de nivel para el balance de humedad cada compartimiento de suelo, como se muestra a continuación:

Compartimiento de suelo con raíz. (ASr) agua de suelo en la zona de raíz.

$$ASr(t + dt) = ASr + TCHSr * dt \text{ (mm)}$$

En esta ecuación se considera un valor inicial que es el 10 % de la humedad a capacidad de campo y para la Expresión de humedad actual del suelo (HS_{act}) en $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, consideramos la profundidad del suelo con raíces (PS_r),

$$HS_{act} = \left(\frac{AS_r}{PS_r} \right) (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$$

PS_r = profundidad del suelo con raíces

El cambio en la profundidad de suelo explorado por las raíces se calcula en base a una tasa de crecimiento de raíces; (T_{cr}).

$$PS_r(t + dt) = PS_r(t) + (T_{cr} * dt) (\text{mm})$$

T_{cr} = tasa de crecimiento de raíces 10 mm/día, (Maíz)

El modelo de simulación del balance del agua necesita además, conocer la cantidad de agua que hay inmediatamente después de la zona de raíces, por lo tanto, debe de conocerse el estado de la humedad del suelo en toda la profundidad del suelo fértil. Esta parte del perfil es a la que se le denomina profundidad de suelo sin raíces, (PS_{nr}).

$$PS_{nr} = (PS_{tot} - PS_r)$$

donde:

PS_{tot} Profundidad de suelo total fértil

PS_{nr} profundidad de suelo sin raíz

Compartimiento de suelo sin raíz. (AS_{nr}) agua del suelo en la zona de no raíz.

$$AS_{nr}(t + dt) = AS_{nr}(t) + (TCHS_{nr} * dt)$$

Ecuación de la Tasa de Cambio de la Humedad en el Suelo (mm día^{-1}).

La tasa de cambio en el contenido de humedad del suelo para la zona de raíces puede describirse con una ecuación de balance de agua como la siguiente:

$$TCHS = (Inf + dAR - Es - Ta - G - D)$$

dónde:

<i>Inf</i>	Tasa de infiltración; $(PP + Ir)$
<i>Pp</i>	Precipitación (mm d^{-1})
<i>Ir</i>	Tasa de riego efectiva (mm d^{-1})
<i>dAR</i>	Cambio de humedad en el suelo debida al crecimiento de raíces (mm d^{-1})
<i>Es</i>	Tasa de evaporación actual (mm d^{-1})
<i>Ta</i>	Tasa de transpiración actual del cultivo (mm d^{-1})
<i>G</i>	Tasa de salida de agua gravitacional (mm d^{-1})
<i>D</i>	Tasa de flujo neto de agua en la frontera inferior del suelo con raíz, drenaje. (mm día^{-1})

Para el perfil de suelo que aún no ha sido explorado por raíces la tasa de cambio de humedad de suelo, TCH_{nr} estará dada por la ecuación:

$$TCH_{nr} = dHR + D - \text{Percolación}$$

Tasa de infiltración.

La infiltración en la frontera superior del suelo depende de la precipitación y del riego. Bajo condiciones de temporal, la infiltración (*Inf*) es una función de la

precipitación, de un factor de escurrimiento (pendiente, cobertura vegetal y textura) y de la condición de humedad de la superficie del suelo, la cual determina una infiltración máxima, (I_{max}).

NOTA: Bajo condiciones de riego $I_{nf} = I_r$, o tasa de riego efectiva.

$$I_{nf} = P_p * FESC \text{ (mm d}^{-1}\text{)}$$

dónde:

P_p Precipitación Pluvial (mm de agua d^{-1})

$FESC$ Factor de Escurrimiento de 0.2 – 0.9

Los datos de precipitación entran en el modelo, entran como variables exógenas, y son valores que el modelo considera a nivel diario. El factor de escurrimiento variará de acuerdo a la pendiente del terreno y este será entre 0.2 a 0.9.

$$I_{max} = A_0 + \left\{ S_0 * \left(1 - \left(\frac{HS_{act}}{HS_0} \right) \right) * 0.204 \right\}$$

dónde:

A_0 Conductividad hidráulica en la frontera entre suelo húmedo y suelo seco S_0 sortividad o fuerza con que el suelo seco absorbe agua y aumenta la velocidad de infiltración.

La tasa de infiltración máxima está determinada por la fuerza mátrica y gravitacional. La influencia de la fuerza mátrica es expresada en la "sortividad" del material ($cm \text{ día}^{-0.5}$). Este valor indica la tasa a que un suelo absorbe agua si la succión mátrica fuera únicamente la fuerza conductora. Este valor varía de acuerdo con el tipo de suelo y se presentan los valores en el Cuadro 1. La tasa de infiltración máxima es finalmente limitada por un valor dictado por la conductividad eléctrica (A_0), valor que es postulado para cada tipo de clase de textura del suelo, como se presenta en el Cuadro 1.

Cuando la infiltración (Inf) es mayor que I_{max}, se usa I_{max} como tasa de infiltración y el resto se suma directamente al escurrimiento. Esto cuando no se modela el almacenamiento temporal de agua en la superficie del suelo.

Cuadro 1. Propiedades hidráulicas del suelo en función de la textura.

CONSTANTE	Hso	lambda	Ten max	Ko	a	alfa	So	Ao	hsc	hspmp
MIG ARC	0.5	0.01	300	1	1.7	0	4.7	0.76	0.37	0.26
MIG ARE	0.5	0.02	290	12	27	0	17.6	9.36	0.26	0.07
MIG ARC ARE	0.4	0.01	200	24	34	0	19.1	16.5	0.33	0.18
ARC LIG	0.5	0.01	300	3.5	56	0	10.7	2.94	0.34	0.21
ARC PES	0.5	0	80	0.2	4.9	0	1.93	0.15	0.5	0.37
FRANCO	0.5	0.02	300	5	14	0	11.7	3.97	0.28	0.1

(Fuente: Rijtema, 1969, adaptado)

Con base en la estimación de la humedad del suelo a punto crítico y del contenido de humedad actual, se determina el factor de corrección por déficit de humedad (T_a/T_m), en el modelo, el cual afectará la Producción Potencial.

El valor de (T_a/T_m) se calcula de acuerdo a la relación entre la Humedad de suelo actual en la zona de raíces, la humedad de suelo a Punto Crítico y los límites H_{sc} y H_{spmp} como sigue:

H_{sc}; es el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo, momento en que termina de drenar el agua gravitacional, quedando la humedad a una tensión entre 50 y 300 milibares o cm. de columna de agua, según la textura del suelo. El tiempo que tarda en drenar el agua gravitacional depende de la textura; sin embargo, a nivel regional, para estandarizar la manera de obtener el dato de campo, se toma el acuerdo de medirla a las 48 ó 72 horas, cuidando con cobertura de plástico que no ocurra evaporación.

HSpmp; es el contenido de humedad del suelo a punto de marchitez permanente (PMP), contenido en que una planta con amplio crecimiento de raíces, después de manifestar síntomas de marchitez, no recupera la turgencia después de la aplicación de un riego, la tensión de humedad del suelo es 15,000 milibares, ó 15 atmósferas.

HSpc; es el contenido de humedad del suelo a punto crítico, último punto en que la transpiración actual es igual a la transpiración potencial.

P; es la fracción máxima de humedad del suelo que puede ser extraída por el sistema de raíces de un determinado cultivo en función de la Transpiración máxima (Tm) esperada. Los valores para determinar el grado en que el Déficit de Humedad (0 a 1) afecta a la tasa de asimilación ese día, ó (Ta/Tm), estos valores se presentan el cuadro 3.

Cuadro 2. Fracción máxima de humedad que puede ser extraída del suelo (p) como una función de la tasa de transpiración máxima, Tm para diferentes tipos de cultivos.)

GRUPO DE CULTIVOS	Tm en cm día ⁻¹								
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	0.45	0.38	0.30	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15
2	0.6	0.5	0.43	0.35	0.30	0.28	0.25	0.23	0.20
3	0.75	0.65	0.55	0.45	0.40	0.38	0.33	0.30	0.25
4	0.85	0.75	0.65	0.55	0.50	0.48	0.43	0.38	0.35
5	0.92	0.85	0.75	0.65	0.60	0.55	0.50	0.48	0.45

Fuente: Doorenbos et al., 1978

Grupo de Cultivos	Cultivos
1,00	Vegetales de hoja, fresa
1-2	Col, cebolla
2,00	Trebol, zanahoria
2-3	Plátano, pimienta
3,00	Uva, chícharo, papa
3-4	Frijol, girasol, tomate, melón, pasto
4,00	Cítricos, piña
4-5	Alfalfa, algodón, tabaco, cassava, papa dulce y la mayoría de las gramínea
5,00	Olivo, cártamo, sorgo, soya, caña de azúcar.

Los valores de Ta/Tm nos indican qué tanto se va a castigar la producción potencial de materia seca por déficit de humedad o déficit de oxígeno. El valor de Ta que se obtiene en la fórmula de (Ta) se usa directamente como la tasa de transpiración de ese día.

$$Ta = (Ta/Tm)Tm$$

Cuadro 3. Valores de (Ta/Tm) de acuerdo a las diferentes condiciones que pueda presentar la humedad del suelo.

Valor de (Ta/Tm)	CONDICION
0	$HSact > (HSsat-0.05)$
$((HSsat-0.05)-HSact)/(HSsat-0.05)-HScc)$	$(HSsat-0.05) \geq HSact \geq HScc$
1,00	$HScc > HSact > HSpc$
$(HSact-HSpmp)/(HSpc-HSpmp)$	$HSpc > HSact > HSpmp$
0,00	$HSpmp > HSact$

HSsat, es la humedad del suelo a saturación

HSact, es la humedad actual del suelo

Tasa de cambio del agua gravitacional, G.

Durante la ocurrencia de una lluvia fuerte o un riego, el contenido de humedad del suelo puede sobrepasar el punto de la humedad del suelo a capacidad de campo (Hscc), cuando esto ocurre, debe de calcularse la tasa de agua gravitacional. Dado que más del 80% del agua del suelo que esta a tensión inferior a capacidad de campo se pierde ese mismo día, se trabaja bajo el supuesto de que en un día termina de drenarse el 95% de esta agua.

Bajo este punto de vista, lo primero que hay que conocer es el agua que cabe en el suelo, desde el contenido de humedad actual hasta la humedad de suelo a capacidad de campo multiplicada por 1.05, para que quede en función de esta cantidad, distribuir la Infiltración del día.

$$\text{Acabe}(r) = ((\text{Hscc} \times 1.05) - \text{HSact}) \times \text{Psr}$$

$$\text{Agrav}(r) = \text{Inf} - \text{Acabe}$$

donde:

Acabe(r) = Lámina de agua que cabe en el compartimiento del suelo con raíz (cm)

HSact = Humedad de suelo actual en el compartimiento del suelo con raíz ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Psr = Profundidad del suelo con raíz.(mm)

Agrav(r) = Lámina de agua gravitacional, es decir aquélla retenida a tensiones inferiores a un tercio de atmósfera (cm).

Inf = Infiltración real (cm dia^{-1})

De la misma manera, si la zona de no raíces esta a capacidad de campo, el agua gravitacional tendrá que salir de la profundidad del suelo total (PStot), como percolación. O bien si esta zona del suelo esta seca, este se recarga con el agua gravitacional del suelo de la capa superior (PSr).

$$\text{Acabe(nr)} = ((\text{Hscc} \times 1.05) - \text{hsnr}) \times \text{Psnr}$$

$$\text{Arecarg(nr)} = \text{Agrav(r)}$$

Acabe(nr) = Lámina de agua que cabe en el compartimiento del suelo sin raíz (cm)

hsnr = Humedad de suelo en el compartimiento del suelo sin raíz ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Psnr = Profundidad del suelo sin raíz.(mm)

Arecarg(nr) = Lámina de agua que recarga el compartimiento de no raíz ($i > 1$), con agua gravitacional desde el nivel superior (cm).

Si la lámina de agua que recarga el compartimiento de suelo de no raíz ésta será menor que la lámina de agua que cabe en el comportamiento del suelo de no raíz (Acabe(nr)).

$$\text{Arecarg(nr)} = \text{Agrav(r)} - \text{Acabe(nr)}$$

Si la lámina de agua que recarga el compartimiento de la no raíz (Arecarg(nr)) es mayor, entonces, el agua de percolación es automáticamente es (Arecarg(nr)).

$$\text{Apercol} = \text{Agrav(r)} - \text{Acabe(nr)}$$

Tasa de agua de drenaje.

La velocidad con que se mueve el agua de drenaje depende en primer lugar de la textura y del contenido de humedad del suelo expresado a la tensión a la que está

retenida esta humedad. A la velocidad con que se mueve el agua de drenaje se denomina, conductividad hidráulica a flujo no saturado, y como ya se dijo, está en función de la tensión con que esta retenida la humedad del suelo. El drenaje y la dirección de este, dependen además del gradiente hidráulico, de acuerdo con la ley de Darcy:

$$D = K_i \times \text{GraH}$$

$$\text{GraH} = dH/dL$$

$$dH = (TENr - Zr) - (TENnr - Znr) / (Zr - Znr)$$

donde:

dH = diferencia entre la carga hidráulica de dos puntos Zi

dL = distancia entre la cual esta se ejerce.

Para conocer la tensión se usa la misma ecuación que se utilizó para conocer la H_{sc} y H_{smp} en base a los datos de tensión máxima para una textura dada para capacidad de campo y 15,000 cm de tensión para punto de marchitamiento permanente.

$TENr = \exp(\sqrt{-\log_n(HSact/HSO)/\lambda})$ para la zona de raíces,

$TENnr = \exp(\sqrt{-\log_n(HSnr/HSO)/\lambda})$ para la zona no raíces.

El gradiente hidráulico se estimará entre los dos puntos medios de del perfil bajo estudio;

$Z_r = P_{sr}/2$ punto medio de la zona de raíces.

$Z_{nr} = P_{sr} + (P_{snr}/2)$ punto medio de la zona de no raíces

El valor de conductividad hidráulica a flujo no saturado, K_i depende de la tensión de humedad del suelo. Los diferentes valores que esta adquiere están determinados por los puntos:

TEN = Tensión a la que esta retenida la humedad en el iésimo compartimiento (cm de columna de agua). (10, es el punto a donde deja de ser flujo saturado)

TENmax = tensión a capacidad de campo o capacidad de retención de humedad debido al arreglo de los macro y microporos capilares.

TENpmp = tensión a pmp, en la que desde un punto de vista, práctico, puede decirse que el agua ya no se mueve; ejemplo, velocidades de un cm en 100 días.

Los valores de K_i son entonces:

$K_i = K_o$ cuando la tensión es menor de 10 cm.o milibars

K_o = conductividad hidráulica a flujo saturado, (cuadro 2)

$K_i = K_o \times \exp(-\alpha \times TEN_r)$ si $TEN_{max} > TEN_r$

$K_i = a \times TEN_r^{-1.4}$ si $TEN_{max} < TEN_r < 15000$

Dado que cada día se calculan los valores de TEN_r , TEN_{nr} , Z_r , Z_{nr} y K_i , el valor y la dirección de la tasa de drenaje D se estima y en la ecuación de TCHSr este se suma o se resta automáticamente.

Dado que se está modelando el balance de la humedad del suelo bajo el supuesto de que no existe manto friático, en el modelo debe asegurarse de que la tasa de drenaje de la zona no raíces, (D_{nr}) al subsuelo, tenga siempre un valor negativo.

1.3 Objetivo General.

Modelar la capacidad de captación y retención de humedad en un suelo vertisol, representativo del Bajío Guanajuatense y su grado de aptitud para soportar la agricultura de temporal bajo las condiciones de labranza tradicional y con la aplicación de prácticas conservacionistas.

1.4 Objetivos Específicos.

Obtener experimentalmente los parámetros que regulan el movimiento de la humedad en un suelo vertisol representativo del Bajío Guanajuatense, bajo dos condiciones: Manejo de la labranza tradicional y con la aplicación de prácticas conservacionistas.

Modelar la disponibilidad de humedad para un cultivo de maíz bajo condiciones de temporal en un suelo vertisol en Guanajuato con y sin el efecto de la aplicación de prácticas conservacionistas.

1.5 Hipótesis

Las prácticas conservacionistas, como la incorporación de materia orgánica, el manejo de coberturas con residuos de cosechas y la supresión del laboreo, inducen cambios en la capacidad del suelo para captar y retener humedad, estos cambios mejoran la capacidad productiva de los suelos y pueden representarse cuantitativamente en un modelo dinámico del balance de humedad.

II METODOLOGÍA

Este trabajo se elaboró en el Campo Experimental Bajío del INIFAP (CEBAJ-INIFAP) en el lote 18, contando con un historial de trabajo de 7 años. La estrategia para alcanzar los objetivos planteados contempla dos etapas:

1. Determinar el efecto de las prácticas conservacionistas en las propiedades hidráulicas de un suelo vertisol representativo del Bajío Guanajuatense.
2. Modelar el balance de humedad del suelo bajo la modalidad de temporal en Guanajuato comparando la condición actual de los suelos con un escenario de mejoramiento de sus características físicas a través de prácticas conservacionistas.

2.1. Efecto de las prácticas conservacionistas en las propiedades hidráulicas de un suelo vertisol representativo del Bajío Guanajuatense.

Esta etapa constituye la parte experimental de la investigación y se desarrolló en el Campo Experimental Bajío del INIFAP durante 7 años, en los cuales se evaluaron los siguientes tratamientos:



Figura 1. Labranza Tradicional.

Descripción de labranza tradicional. Bajo este esquema se llevan a cabo las labores tradicionales de preparación del terreno y de cultivo como son el

barbecho, rastra, siembra, y dos escardas, así como la fertilización que se hace normalmente para el maíz de temporal con 46 unidades de nitrógeno, divididas en dos aplicaciones (23 a la primera escarda y el resto en la segunda escarda a reserva de que exista humedad suficiente).

Labranza de conservación con manejo de cobertura de rastrojo de maíz



Figura 2. Labranza cero con aplicación de composta y 50% de cobertura de rastrojo.

Labranza de conservación con manejo de cobertura de rastrojo de maíz. En este tratamiento, la única labor que se realiza es la siembra, posteriormente el suelo ya no se mueve y el residuo de la cosecha del año anterior se deja en el suelo como cobertura sin ninguna aplicación de fertilizante químico. La siembra se realiza con una sembradora de labranza cero.

Labranza de conservación con manejo de rastrojo de maíz como cobertura y aplicación de composta.



Figura 3. Labranza cero con 70% de cobertura. .

Labranza de conservación con manejo de rastrojo de maíz como cobertura y la aplicación de composta. En este tratamiento se realizan las mismas labores que en el anterior, adicionando una aplicación de fertilizante orgánico tipo composta, el cual se distribuye uniformemente en el suelo. La cantidad de composta oscila alrededor de las 2 t/h anuales.

Cada uno de los tratamientos ocupa una superficie de aproximadamente media hectárea (180 x 27).

En los tres tratamientos se siembran en seco ya que las sembradoras de labranza cero no funcionan del todo bien con el suelo húmedo revisando pronósticos de precipitación para sembrar antes de alguna precipitación de igual forma las aplicaciones de herbicida se hacen por igual aplicando Nicosulfuron y 2-4D amina o deshierbes manuales (cuando los necesite), Cada año antes del inicio de estación de crecimiento se hacen muestreos de los tratamientos para hacer una verificación la profundidad en que se encuentra la humedad en el suelo y ver cuánto tiempo tarda en juntarse la humedad del año actual y la humedad del año anterior. Los datos de infiltración de humedad, se miden después de cada precipitación en el periodo de lluvia y se mide a que profundidad va cada tratamiento haciendo muestreos aleatorios dejando de medir la profundidad de humedad hasta que se juntan las dos humedades.

2.2. Modelación de la producción de maíz de temporal en Guanajuato, en función del balance de humedad del suelo bajo dos escenarios de condición de suelo.

Los datos sobre crecimiento y producción de maíz se construirán utilizando el Modelo de Simulación del Potencial Ecológico de los Cultivos, MSPEC (Quijano et al., 1998; Quijano et al., 2001). Este modelo cuenta con cuatro módulos principales: a) Edad Fisiológica del Cultivo; b) Asimilación del CO₂; c) Infiltración y Escurrimiento y d) Balance de Humedad en el sistema suelo-planta-atmósfera.

Aplicación de la Metodología Propuesta para el cálculo de la producción de maíz.

Asumiendo, con base en la explicación anterior, que el MSPEC representa satisfactoriamente el efecto de la humedad disponible sobre la producción de los cultivos, el procedimiento para el cálculo de la función de vulnerabilidad contempla las siguientes etapas:

Preparación de una base de datos meteorológicos al nivel diario, considerando las variables Temperatura máxima (T_{max}), Temperatura mínima (T_{min}) y Precipitación (PP). La fuente de estos datos es la red de estaciones convencionales de CONAGUA.

Configuración del modelo MSPEC con los parámetros fisiológicos necesarios para representar el comportamiento del cultivo de Maíz bajo condiciones de temporal en el estado de Guanajuato.

Configuración del modelo MSPEC con los parámetros experimentales al inicio de experimento y hasta los resultados obtenidos al 2012.

Simulaciones definitivas para generar las series de rendimiento por año.

Proyecciones en mapa de la zona de estudio (suelo vertisol representativo del Bajío Guanajuatense)

La estimación de la producción del cultivo de maíz se realiza acoplando el modelo de balance de humedad a un modelo dinámico de crecimiento de biomasa. El enfoque de cálculo de la producción de maíz está basado en procesos de retroalimentación de información al nivel diario, los cuales se dan simultáneamente en los sistemas Suelo-Planta-Atmósfera. El enfoque de modelación se basa en el concepto de variables de estado, en el cual el comportamiento futuro del sistema está fuertemente determinado por el estado inicial del mismo, y como en éste método, el estado inicial se actualiza (corrige lo predicho) en cada período de estudio fijado o diferencial de tiempo (dt), los errores de predicción son menos significativos que cuando se pretende predecir el comportamiento para el ciclo total del cultivo.

El modelo de crecimiento del cultivo estima diariamente el valor de la producción de materia seca (MS) en función de la radiación solar y la temperatura. Este valor corresponde a la producción potencial, el cual se multiplica por el factor de corrección por déficit de humedad (T_a/T_m), para estimar la producción actual del período. Es decir, que sólo cuando no hay déficit de humedad ($T_a/T_m = 1$), se obtiene la producción potencial.

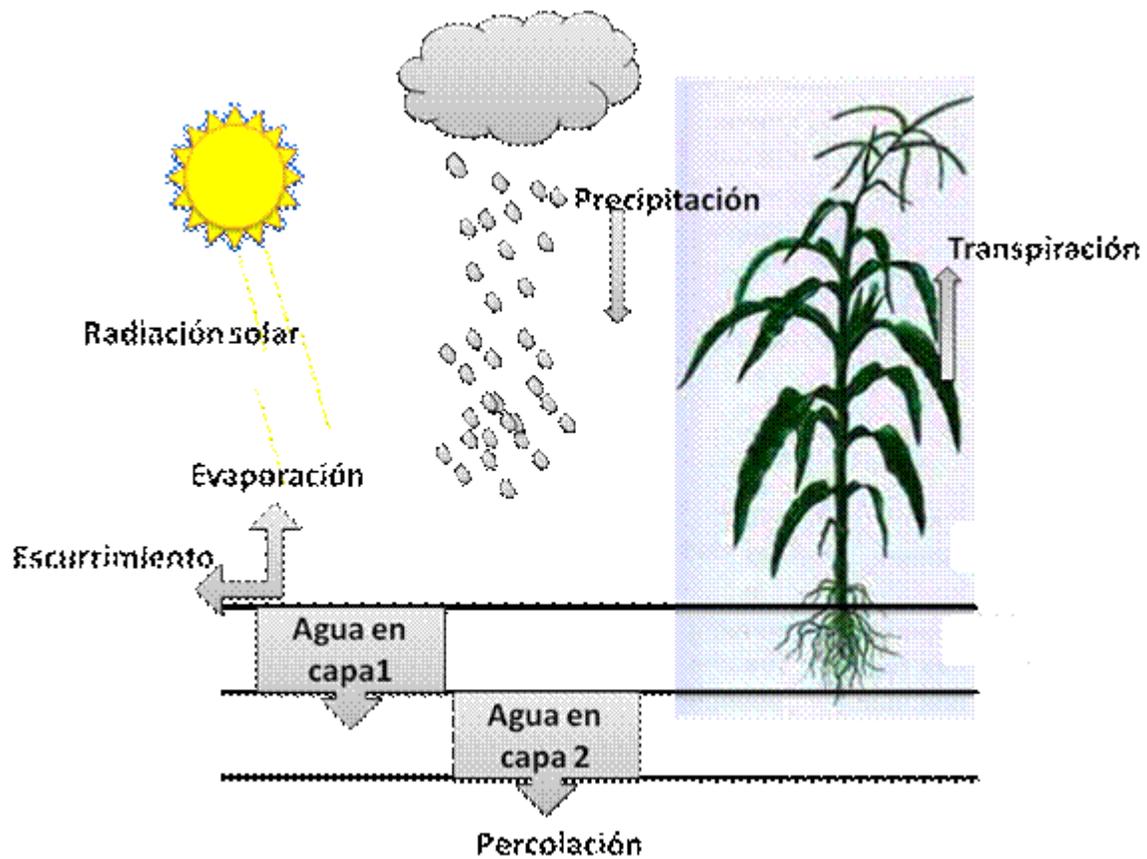


Figura 4. Infiltración de agua en el suelo.

Para la visualización de los resultados se utilizó las capas de información geográfica, los puntos de las estaciones climáticas de CNA, clasificación de suelos en base a su tipo, el uso de suelo y vegetación, división municipal. Todo del estado de Guanajuato, utilizando el sistema de información geográfico en la sobre posición de mapas para la visualización de la zonas de estudio.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En base a los resultados obtenidos en los muestreos de suelo los cambios de las propiedades hidráulicas se basan el cambio de textura pasando de arcilla ligera y a una textura de un suelo franco. Y a su vez incrementado la materia orgánica.

Cuadro 4. Cambio de propiedades Hidráulicas en suelo

CONSTANTE	ARC LIG	FRANCO
Porosidad total (cm³/cm³)	0.453	0.503
Succión matrica(1/cm)	0.009	0.018
Ko (cm/día)	3.5	5
Ao(cm/día)	2.94	3.97
HSc_c (cm³/cm³)	0.344	0.28
HSp_{mp}(cm³/cm³)	0.206	0.095
Lámina en 30 cm (mm)	41.14	55.45
Materia orgánica	1.68	2.85

Con estos pares de datos se hacen las simulaciones de rendimiento comparándolos con los resultados obtenidos en los muestreos presentando los datos reales contra los simulados con el suelo de inicio (año 2005) y con las condiciones finales (año 2012).

Cuadro 5. Rendimientos en lote experimental.

			Datos de rendimiento (ton/ha)		
Año	Fecha de siembra	Lluvia	Labranza cero con aplicación de composta y 50 % de cobertura	Labranza cero y 70 % de cobertura	Labranza Tradicional
2005	11 de julio	142.4	0	0	0
2006	24 de julio	662.4	1.2	1.35	1.7
2007	19 de junio	532	1.27	1.4	1.78
2008	6 de junio	618.4	1.36	1.1	2.26
2009	24 de junio	395.4	1.99	1.46	1.29
2010	21 de junio	461.6	4.09	3.8	2.3
2011	19 de julio	89	0	0	0
2012	27 de junio	248	1.697	1.802	0

Los tratamientos de labranza de conservación en los primeros cuatro años no mostraban una mejoría aunque hubo buenas condiciones de lluvia pero a partir del 5to, los tratamientos de labranza cero fueron superando al de labranza tradicional en cuanto a rendimiento, los años que no mostraron rendimiento fue por la poca disponibilidad de lluvia excepto en el 2012 que por tener una cambio de suelo arcilla ligera a un suelo franco y una cobertura de paja de 50 y 70 sucesivamente hubo un mayor aprovechamiento del agua en estos tratamientos logrando tener una rendimiento de 1.697 toneladas por hectárea y en la labranza de conservación con un 70 por ciento de cobertura hasta 1.802 toneladas por hectárea mientras que en el de labranza tradicional hubo perdida no logrando cosecha de este tratamiento.

Para hacer una representación del estado de Guanajuato se utilizaron dos series de datos simulados una donde la primera muestra los parámetros de suelo Arcilla ligera y otros donde se muestran los parámetros logrados en el tratamiento de labranza de conservación (suelo franco)

Cuadro 6. Rendimientos simulados.

			Datos Simulados (ton/ha)	
Año	Fecha de siembra	Lluvia	Condiciones actuales	Condiciones experimentales
2005	11 de julio	142.4	0	
2006	24 de julio	662.4	3.7	
2007	19 de junio	532	2.1	
2008	6 de junio	618.4	3.4	
2009	24 de junio	395.4	1.39	2.04
2010	21 de junio	461.6	2.6	4.18
2011	19 de julio	89	0	0
2012	27 de junio	248	0.7	2.2

Los datos de 2005 a 2008 no se simularon ya que hasta 2009 las propiedades hidráulicas del suelo pasaron a un suelo franco y se tuvo por completo el cambio de suelo arcilla ligera a suelo de textura franco.

Cuadro 7. Rendimientos reales y simulados (labranza tradicional)

			Datos Observados (ton/ha)	Datos Simulados (ton/ha)
Año	Fecha de siembra	Lluvia	Labranza Tradicional	Condiciones actuales
2005	11 de julio	142.4	0	0
2006	24 de julio	662.4	1.7	3.7
2007	19 de junio	532	1.78	2.1
2008	6 de junio	618.4	2.26	3.4
2009	24 de junio	395.4	1.29	1.39
2010	21 de junio	461.6	2.3	2.6
2011	19 de julio	89	0	0
2012	27 de junio	248	0	0.7

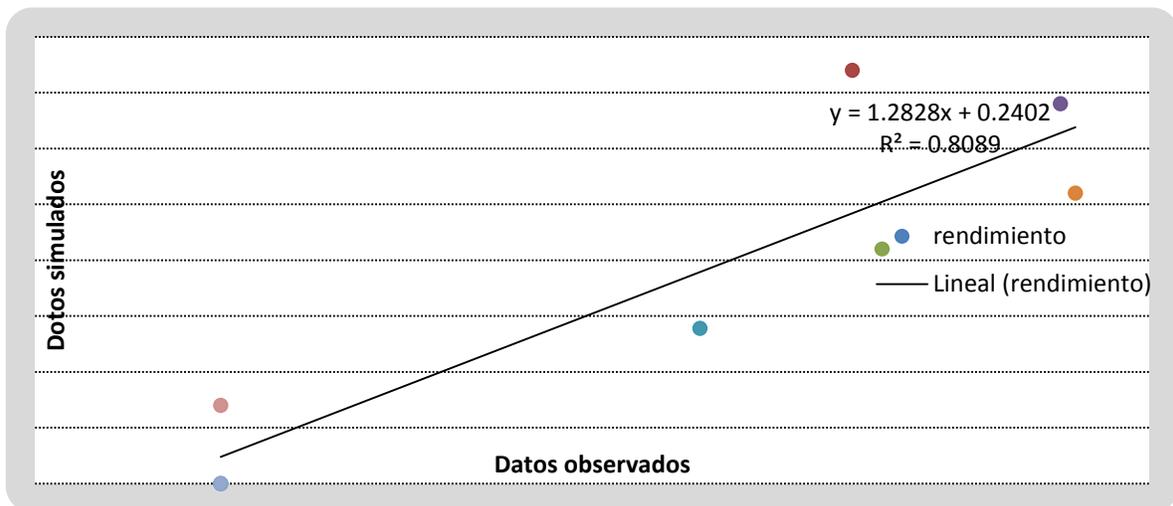


Figura 7. Correlación de datos reales contra simulados (labranza tradicional)

Cuadro 8. Rendimientos reales y simulados (labranza cero)

			Datos Observados (ton/ha)	Datos Simulados (ton/ha)
Año	Fecha de siembra	Lluvia	Labranza cero con aplicación de composta y 50 % de cobertura	Condiciones experimentales
2005	11 de julio	142.4	0	
2006	24 de julio	662.4	1.2	
2007	19 de junio	532	1.27	
2008	6 de junio	618.4	1.36	
2009	24 de junio	395.4	1.99	2.04
2010	21 de junio	461.6	4.09	4.18
2011	19 de julio	89	0	0
2012	27 de junio	248	1.697	2.2

Los datos de simulación se muestran a partir de 2009 por que en los años anteriores aún no se tenía registro del cambio de suelo de arcilla ligera a un tipo franco.

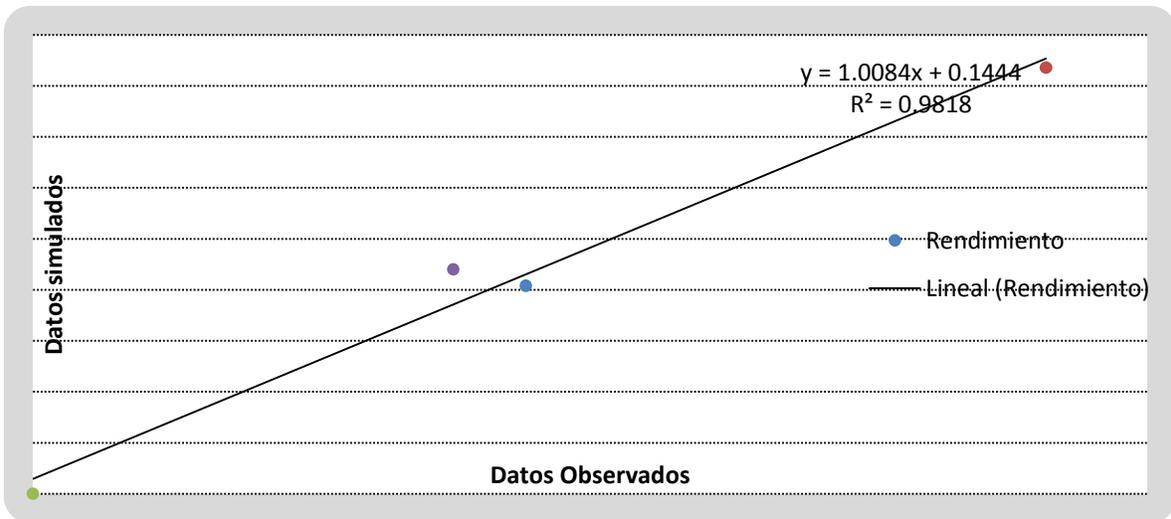


Figura 8. Correlación de datos reales contra simulados (labranza cero)

Las simulaciones se hicieron en todo en territorio agrícola del estado de Guanajuato simulando la condición labranza tradicional mostrando resultados de 2000 hasta 4000 kilogramos por hectárea, estando en rojo las condiciones de 0 hasta 2000 kilogramos.

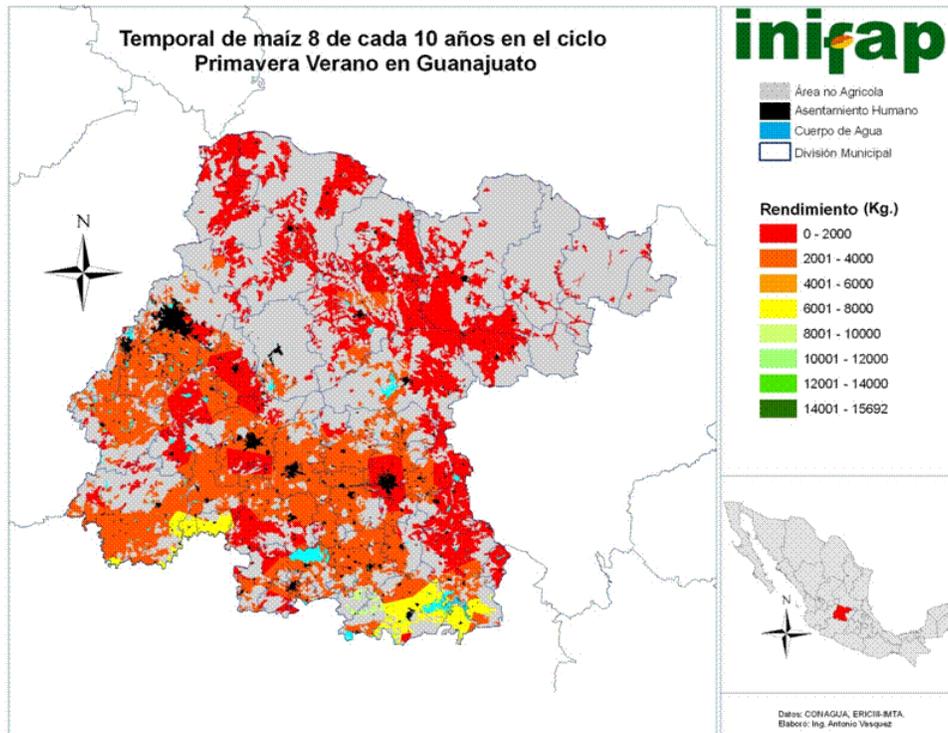


Figura 9. Mapa de simulaciones con condiciones de labranza tradicional en temporal del estado de Guanajuato.

Teniendo las condiciones de suelo del tratamiento de labranza cero tendríamos en la mayor parte del bajío rendimientos de 6000 hasta 8000 kilogramos y en una zona reducida del bajío de 4000 a 6000 kilogramos por hectárea reduciendo la zona de desastre por sequía casi por completo.

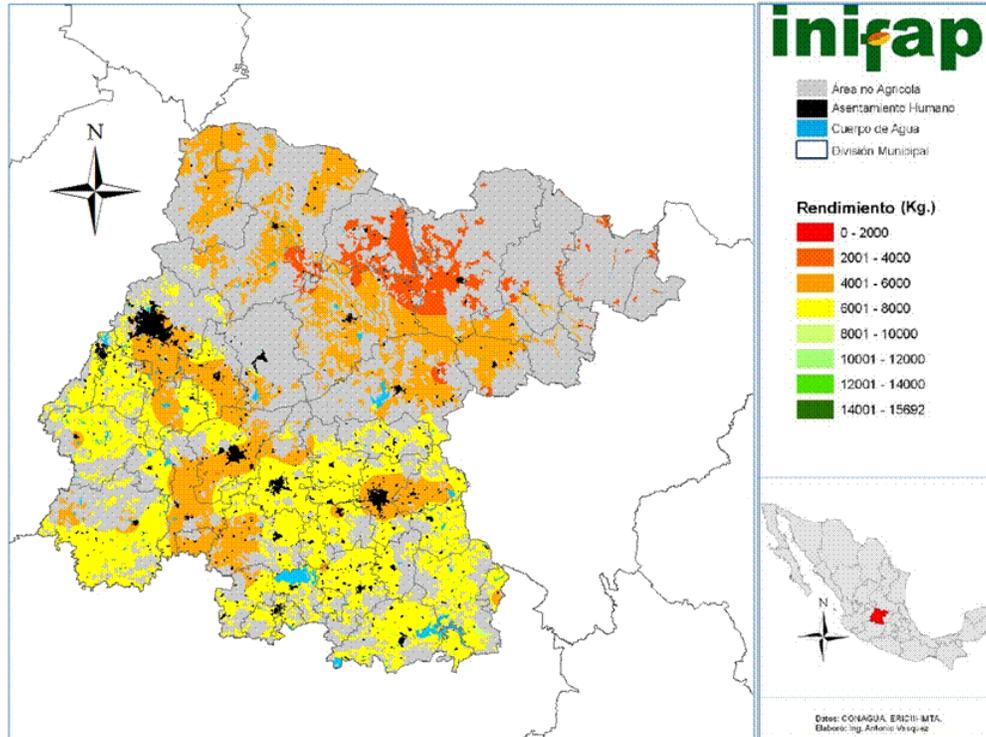


Figura 10. Mapa de simulaciones con condiciones de labranza cero en temporal del estado de Guanajuato.

Mapa con simulaciones mostrando las condiciones del experimento.

Conde y colaboradores, del Centro de Ciencias Atmosféricas de la UNAM, en 2004, muestran un futuro desalentador para la agricultura de temporal a consecuencia del cambio climático, en el cual se toma como ejemplo la labranza tradicional. En este estudio se muestra una alternativa para amortiguar los cambios climáticos y mantener por más tiempo este tipo de agricultura.

IV. CONCLUSIONES.

Las practicas conservacionistas, inducen cambios significativo en la capacidad del suelo para captar y retener humedad, llagando a modificar su textura, estos cambios mejoran la capacidad productiva de los suelos y a través de la modelación se pueden representar cuantitativamente haciendo simulaciones regionales para ver el comportamiento en otros lugares con el mismo tipo de suelo pero con diferentes condiciones climáticas.

V. BIBLIOGRAFIA

FAO. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. Boletín de suelos de la FAO. Num. 79.

Quijano, C.J.A., J.A. Aguirre G. y E. Villarreal F. 1992. Un modelo de simulación de la producción de maíz de temporal. Memoria del Coloquio mesoamericano de Sistemas de Producción. Montecillos, México.

Quijano, C. J.A. y E. Villarreal F. 1998. MSPEC.IM Modelo de simulación del potencial ecológico de producción de los cultivos. Memoria del XVII Congreso Nal. De Fitogenética.

Ramón Aguilar García, María de Lourdes García Leños, Roberto Paredes Melesio, Juan Ángel Quijano Carranza, José Alfonso Aguirre Febronio Días Espino, Alfredo Arévalo Valenzuela. Efecto de las practicas conservacionistas sobre la humedad disponible en el suelo y producción de maíz en Guanajuato, Avances de investigación en agricultura sustentable III, Libro técnico No. 3 2005