



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIO PARA EL DESARROLLO
INTEGRAL REGIONAL UNIDAD DURANGO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

TITULO:

**“Implementación del diseño hidrológico con líneas clave en cultivo de
frijol de temporal en Nombre de Dios, Dgo”.**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTA:

JUDITH AMADOR SIERRA

DIRIGIDO POR:

DRA. MARIA ELENA PEREZ LOPEZ

DR GUSTAVO PEREZ VERDIN

DURANGO, DGO. JUNIO 2019



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 13:00 horas del día 12 del mes de junio del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del: CIIDIR-IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

Implementación del diseño hidrológico con líneas clave en cultivo de frijol de temporal en Nombre de Dios, Dgo.

Presentada por el alumno:

AMADOR

SIERRA

JUDITH

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	1	7	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dra. María Elena Pérez López

Dr. Gustavo Pérez Verdín

Dr. Isaías Chairez Hernández

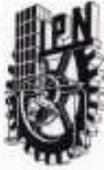
M. en C. Ma. del Carmen Ponce Rodríguez

Dra. Yolanda Lira

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-13-BIS

*ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS
Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS*

México, D.F. a 11 de junio del 2019

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-IPN Durango en su sesión extraordinaria No. 1 celebrada el día 24 del mes de mayo conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

AMADOR
Apellido paterno

SIERRA
Apellido materno

JUDITH
Nombre (s)

Con registro:

B	1	7	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:
Implementación del diseño hidrológico con líneas clave en cultivo de frijol de temporal en Nombre de Dios, Dgo.

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:
Dra. María Elena Pérez López y al Dr. Gustavo Pérez Verdín

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:
El CIIDIR-IPN Unidad Durango
que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis

Dra. María Elena Pérez López

Aspirante

Lic. en Biol. Judith Amador Sierra

Dr. Gustavo Pérez Verdín

Presidente del Colegio

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Durango, Dgo., el día 13 del mes de **junio** del año **2019**, la que suscribe **Judith Amador Sierra** alumna del Programa de **Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental**, con número de registro **B170110**, adscrita al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, CIIDIR-IPN Unidad Durango**, manifiesta que es la autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la **Dra. María Elena Pérez López** y del **Dr. Gustavo Pérez Verdin** y cede los derechos del trabajo titulado **“Implementación del diseño hidrológico con líneas clave en cultivo de frijol de temporal en Nombre de Dios, Dgo.”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de la autora y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones: Yuana_1991@hotmail.com, maelena0359@yahoo.com y guperezv@ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

JUDITH AMADOR SIERRA

LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE REALIZÓ EN EL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UNIDAD DURANGO. BAJO LA DIRECCIÓN DE LA DRA. MARIA ELENA PÉREZ LÓPEZ Y EL DR. GUSTAVO PÉREZ VERDÍN.

AGRADECIMIENTOS

A el CONACyT que financió mis estudios de maestría.

A el personal administrativo y profesores que laboran en el CIIDIR, que de alguna manera pusieron su granito de arena para que esta investigación se llevara a cabo. En especial a Ari y Gerardo que siempre estuvieron apoyando con valiosas observaciones, trabajo en campo y laboratorio.

A mis compañeros de generación con quien compartí las angustias y las alegrías que se dieron a lo largo de la elaboración nuestras investigaciones. Son los que mejor entienden todo este proceso. Angélica, Barby, Heriberto, Isela, Jaciel, Liz, muchas gracias.

A mi comité tutorial por todo su apoyo y el conocimiento compartido. A la M. C. Carmen Ponce que hace ya mucho tiempo está apoyándome y orientándome en mi vida personal y profesional. Sus consejos me han brindado mucha fortaleza en momentos difíciles. Al Dr. Verdín que siempre fue tan amable y exigente para que las cosas salieran bien. Al Dr. Isaías Chairez por sus tan acertadas aportaciones.

Muy en especial a la Dra. María Elena Pérez López por hacer de guía, amiga, enfermera y todo lo que da sin esperar nada a cambio. Su ejemplo siempre ha sido determinante para mi desempeño profesional y su amistad un valioso tesoro.

A mis queridos amigos Leslie, Sandra, Manuel, EJ, Alma y Daniel que siempre me escuchan, motivan, aconsejan y acompañan.

A mis hermanos: Esther, Rocío, Marcela, Lorena, David, Noé, Brenda y Sergio a quien quiero y admiro tanto y siempre están ahí para apoyarme.

A mis padres por haberme conducido a ser lo que soy, en especial a mi madre que es la persona que siempre está ahí incondicionalmente.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	MARCO TEÓRICO.....	3
	2.1 El suelo	3
	2.1.1 Estado de conservación del suelo.....	4
	2.1.2 Escenarios de la degradación por erosión	5
	2.1.3 Usos técnicos y tecnológicos para la gestión de suelos.....	6
	2.2 Sistemas agrícolas	7
	2.4 Factores que influyen en la productividad y manejo del suelo.....	8
	Topografía.....	9
	Precipitación.....	9
	Acidez y alcalinidad.....	9
	Salinidad	9
	Profundidad.....	9
	Materia orgánica	9
	2.3 Diseño Hidrológico con Líneas Clave (DHLC)	9
III.	JUSTIFICACIÓN	12
IV.	OBJETIVOS	14
	4.1 General	14
	4.2 Específicos	14
V.	HIPÓTESIS	14
VI.	ESTRUCTURA METODOLÓGICA.....	15
	6.1 Sistematización de la información	15
	6.2 Localización del área de estudio.....	15
	6.3 Diagnóstico del suelo.....	16

6.3.1 Humedad y Materia Orgánica	17
6.3.2 Conductividad Eléctrica y pH.	17
6.3.3 Aniones y cationes	17
6.3.4 Textura	17
6.4 Implementación del DHLC	18
6.5 Diseño experimental	19
6.5 Evaluación del modelo experimental	22
6.5.1 Caracterización físico-química	22
6.5.2 Arrastre de suelo	23
6.6 Evaluación agrícola	24
6.6.1 Registro de precipitación	26
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
7.1 Estadística descriptiva	28
7.2 Diagnóstico de suelo.....	31
7.2.1. Sección A	31
7.2.2. Sección B	32
7.2.3 Balance nutrimental.....	32
7.3 Arrastre del suelo.....	34
7.4 Evaluación del diseño hidrológico con líneas clave	35
VIII. CONCLUSIONES	39
IX. RECOMENDACIONES	40
X. BIBLIOGRAFÍA.....	41

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1 Geformas importantes para la modificación del paisaje en el DHLC. Imagen tomada de (Pavlov, 2019)	10
Figura 2. Localización del área de estudio.....	16
Figura 3. Área seleccionada para las parcelas experimentales	16
Figura 4. Levantamiento topográfico con manguera de nivel	18
Figura 5. Modificación teórica del patrón de laboreo.....	19
Figura 6. Establecimiento de las líneas clave en campo;Error! Marcador no definido.	
Figura 7. Distribución de las parcelas experimentales	21
Figura 8. Patrón de muestreo de suelo	22
Figura 9. Clavo para medir el cambio del nivel de la superficie. Imagen tomada de (FAO, 2019).	23
Figura 10. Puntos de colocación de clavos para monitoreo de arrastre de suelo	24
Figura 11. Patrón de muestreo para las plantas de frijol.....	25
Figura 12. Instalación de pluviómetro contiguo a la parcela para el registro de precipitación en el área de estudio.....	26
Figura 13 Distribución de los tratamientos por parcela. DHLC DHLC y arado Yeomans Laboreo convencional.....;Error! Marcador no definido.	
Figura 15. Cantidad de precipitación monitoreada del 24 de agosto al 26 de octubre de 2016	35

Figura 16. Promedio (n=12) de agua disponible en noviembre por tipo de siembra, donde no existe diferencia significativa ($p>.05$).	36
Figura 17. Promedio (n=12) del porcentaje de arcilla presente por tipo de siembra, donde el tratamiento convencional (T) presenta el contenido significativamente más alto ($p>.05$).	37
Figura 18. Rendimiento del frijol en t/ha por tipo de siembra	38

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 1 Técnicas de conservación de suelos (construcción propia con base en la “Guía de Conservación de Suelos y Agua”)	6
Cuadro 2 Factores importantes en la productividad y manejo del suelo (construcción propia a partir de FAO, 2000).	9
Cuadro 3 Distribución de los tratamientos, superficie y % de pendiente	20
Cuadro 4 Estadística descriptiva de las variables evaluadas en el tratamiento K	28
Cuadro 5 Estadística descriptiva de las variables evaluadas del tratamiento Y	29
Cuadro 6 Estadística descriptiva de las variables evaluadas en el tratamiento T	30
Cuadro 7 Perfil longitudinal de la parcela y su caracterización físico-química de la zona A. n=2	31
Cuadro 8 Perfil longitudinal de la parcela y caracterización físico-química de la zona B. n=2	32
Cuadro 9 Promedio (n=6), antes y después del ciclo agrícola, de los valores de aniones y cationes.	33

RESUMEN

El diseño hidrológico con líneas clave (DHLC), es una técnica innovadora que permite mejorar la aptitud del suelo, aumentar su humedad y disminuir la erosión. Este diseño conduce las escorrentías desde las vertientes hasta las laderas, reduciendo su velocidad y con ello se favorece la infiltración, al dejar el agua disponible en el terreno por más tiempo a la vez que se reduce el arrastre de suelo. Para evaluar el DHLC se utilizó un cultivo de frijol de temporal (2018), en donde se revisó el estado inicial de la parcela y los efectos posteriores a la cosecha en cuanto a la retención de agua y suelo, así como tres meses después. La evaluación del DHLC, se realizó con tres tratamientos y tres repeticiones, uno de ellos fue con el uso de arado Yeomans, otro con DHLC y labranza tradicional y el tercero con el patrón de cultivo tradicional. La parcela experimental presentó características heterogéneas en cuanto a profundidad de suelo, pendiente y textura. Donde la parcela con menores atributos para sostener el cultivo agrícola, fueron las destinadas al DHLC. El suelo retenido promedio fue de 6.5, 5.5 y 2.8 mm para DHLC, DHLC más Yeomans y el tradicional, respectivamente. El DHLC igualó el contenido de agua disponible entre la parcela testigo (en situación de ventaja) y la zona donde se implementó el modelo. El DHLC en cuanto al rendimiento del frijol, presentó mejores resultados, obteniendo 44 % más de producción.

ABSTRACT

The hydrological design with control lines (HDCL), is an innovative technique that allows to improve the capability of the soil, increasing its humidity and reducing the erosion. This design guides the surface runoff (as known as overland flow) from the pouring areas to the hillsides and reduces its speed helping the infiltration. It leaves the water available on the ground for longer time and reduces the soil degradation. In order to validate the design, it was necessary to evaluate its use during bean cultivation season (2018), where the initial state of the plot and the post-harvest effects were reviewed in terms of water and soil retention, as well as three months later. The HDCL evaluation was carried out with three treatments and three repetitions, one of them was using the Yeomans plow, the second one with HDCL and traditional tillage and the third one with the traditional cultivation pattern. The experimental plot presented heterogeneous characteristics in terms of soil depth, slope and texture. Where the plot with the least attributes to sustain the agricultural crop, were those destined to the HDCL. The average retained soil was 6.5, 5.5 and 2.8 mm for HDCL, HDCL plus Yeomans and the traditional one, respectively. The DHLC equated the water content available between the control plot (in advantage situation) and the area where the model was implemented. The HDCL in terms of bean yield, presented better results, obtaining 44% more production

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo fue desarrollado en la academia de Ciencias Ambientales en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, dependiente del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR Durango), corresponde al programa de la Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental.

La elaboración y los aportes científicos de la investigación constituyeron un complejo proceso que contempló la necesidad de contribuir a la conservación del agua y el suelo de la comunidad de Ojo de Agua, de San Juan, en Nombre de Dios, Durango.

La definición operacional en este trabajo para la gestión de suelo se aplica a los métodos, procesos y decisiones que se toman sobre su manejo y aprovechamiento (Huergo, s.f.). Para una gestión sustentable del suelo requiere que participen activamente, desde los gobiernos hasta los pequeños agricultores. Reduciendo o cambiando el tipo de labranza, usar residuos de la cosecha para cubrir el suelo; combatir el déficit de nutrientes, aplicando la rotación de cultivos y con el uso eficiente de los fertilizantes orgánicos y minerales (FAO, 2015).

Se estima que un tercio de los suelos a nivel mundial, se han degradado por una inadecuada gestión, lo cual repercute gravemente en los ecosistemas, organismos y las comunidades. (FAO 2017; Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Como alternativa para cambiar este panorama, han emergido tecnologías novedosas que permiten un mejor manejo del suelo, entre ellas el diseño hidrológico con líneas clave, la cual es una técnica innovadora que permite mejorar la aptitud del suelo, aumentar la humedad en suelo y disminuir la erosión.

En el estado de Durango, en el 2017 se destinaron alrededor de 1 millón de hectáreas para la agricultura, sin contemplar procesos de gestión. El 80% de la superficie cultivada se realizó con métodos convencionales, con la consecuente pérdida de suelo, de materia orgánica y nutrientes (Bolaños, y otros, 2016).

Obtener la información necesaria para validar técnicamente su uso (línea clave) implicó evaluar su uso, en un terreno agrícola de temporal, en donde se revisó el estado el inicial de la parcela y los efectos posteriores, en cuanto a la retención del agua y del suelo.

Como se observará en el proceso metodológico, el trabajo se realizó en tres momentos en la producción de frijol del ciclo 2018, determinando los beneficios que se pueden lograr con esta técnica (DHLC) destacando durante el proceso las variables fundamentales que le influyen y sus posibilidades de difusión.

II. MARCO TEÓRICO

El marco teórico sistematiza la bibliografía requerida para el desarrollo de la investigación. Ello se concretó al detallar los conceptos técnicos sobre; el suelo, la conservación, la gestión de los procesos de degradación y sistemas agrícolas, lo que permitiría proponer, como probable vía de solución, a la pérdida del recurso hídrico y del suelo, la implementación del diseño hidrológico con líneas clave, en cultivo de frijol de temporal en Nombre de Dios, Dgo

2.1 El suelo

El suelo es el soporte para la vida sobre la Tierra, es un cuerpo natural constituido por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, formado lentamente a través de cientos de años con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Tiene horizontes o capas que se diferencian del material inicial y además son capaces de soportar plantas en un ambiente natural (Lacasta, s.f.;FAO, 2013)

La vida en el suelo tiene lugar a través del desarrollo radicular de las plantas, mediante la retención y flujo de agua y nutrientes, gran número de animales microscópicos y millones de microorganismos, responsables de las transformaciones biogeoquímicas como la fijación del nitrógeno o la descomposición de la materia orgánica (De la Rosa, 2013; Garrido, 1994).

La naturaleza y composición de un suelo depende del clima (cantidad y tipo de precipitaciones, variaciones de temperatura), características de la roca madre que les da origen, del tipo de organismos que se desarrollan en ellas, y del tiempo transcurrido desde que empezó su proceso de formación (FAO, 2013). De las características fisicoquímicas y microbiológicas va a depender la capacidad de fertilización que posee el suelo.

Existe la necesidad de mejorar el manejo de los suelos y el agua mediante una política de uso y preservación de estos recursos que incluya el manejo preventivo y correctivo para su conservación permanente. La educación juega un papel

sumamente importante, donde es necesario que los agricultores adquieran los conocimientos para el manejo de los recursos disponibles en su entorno, haciendo que tomen conciencia de su papel en el ambiente y se responsabilicen de él (Betancourt-Yáñez Pedro & Pulido , 2006).

La conservación de la fertilidad se basa en el balance de nutrientes: presentes en el suelo, lo extraído por los cultivos y la eficiencia de absorción (Sadeghian, Rivera, & Gómez, 2000). Todas las sustancias que forman el suelo son importantes por sí mismas, pero lo fundamental es el equilibrio adecuado entre los diferentes constituyentes (FAO, 2013).

El suelo es clave para el mantenimiento de la vida sobre la tierra, es el fundamento para la vegetación que se cultiva o gestiona para producir alimentos, fibras, combustibles o productos medicinales; se calcula que el 95% de nuestros alimentos se producen directa o indirectamente en el suelo (INEGI, 2015).

Por lo antes mencionado, se considera al suelo como el principal capital natural finito no renovable, a pesar de ello, continúa degradándose a nivel mundial como consecuencia de malas prácticas y la presión demográfica que lleva a su uso intensivo y gestión inadecuada (ONU, 2017).

2.1.1 Estado de conservación del suelo

Estimaciones mundiales declaran que un tercio de todos los suelos se degradan, debido a la erosión, compactación, obturación, salinización, agotamiento de la materia orgánica y los nutrientes, acidificación, contaminación y otros procesos causados por prácticas insostenibles de gestión del suelo (FAO, 2016).

El ritmo actual de degradación de los suelos ha tenido efectos negativos como la colmatación acelerada de los arroyos, lagos y ríos, contaminación atmosférica y el empobrecimiento acelerado de los agricultores. Además, pone en riesgo la viabilidad de las actividades agropecuarias y forestales de la misma sociedad, lo cual, amenaza la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones

futuras. A menos que se revierta esta tendencia a través de un esfuerzo concertado hacia la gestión sostenible de los suelos (SAGARPA, 2012; Encina & Ibarra, s.f.).

2.1.2 Escenarios de la degradación por erosión

La erosión se define como la eliminación acelerada de la capa superior del suelo de la superficie de la tierra (FAO, 2015). Es un proceso de desprendimiento, transporte y acumulación de suelo causado por diferentes factores naturales (SAGARPA, 2012).

El proceso de erosión a nivel mundial arrastra de 25 000 a 40 000 millones de toneladas de la capa arable del suelo cada año (FAO, 2015). Siendo, la erosión hídrica el tipo más importante de degradación, afectando aproximadamente 1,093 millones de ha (56%). La erosión eólica, 548 millones de ha (28%) del área total afectada. El deterioro químico cubre cerca de 239 millones de ha (12%), mientras que el deterioro físico ocupa alrededor de 83 millones de ha (4%) (FAO, 1996).

La superficie territorial de México es de 198 millones de hectáreas, 22 millones se dedican a la agricultura. De esta superficie, 6.3 millones cuentan con infraestructura de riego y los otros 16 millones corresponden a agricultura de temporal, donde la producción es influenciada directamente por la presencia de las lluvias. Desafortunadamente, el 64% de la superficie total del territorio presenta diferente grado de deterioro (SAGARPA, 2012b).

(Gonzalez, y otros, 2016) indican que actualmente el 76% de la superficie nacional tiene algún grado de afectación por erosión hídrica, donde el 13% con un grado de erosión fuerte o extrema.

En el estado de Durango en 2017 se dedicaban a la agricultura 1 097 264.55 ha de las cuales el 84.21 por ciento fue de temporal (949 310.59. ha). Se estima que alrededor del 17 % de la superficie presenta una erosión de moderada a extrema (Bolaños, y otros, 2016).

2.1.3 Usos técnicos y tecnológicos para la gestión de suelos

La conservación y recuperación de suelos es un tema muy importante en la agricultura, debido a que puede resultar muy difícil y costosa su recuperación, además de que suele requerir varios años. Su formación natural puede llegar a tardar miles de años, mientras que su degradación, por efectos antropogénicos, puede darse en periodos relativamente cortos, y algunas veces son procesos irreversibles.

Distintos organismos se han preocupado por atender la problemática del suelo y se han propuesto diferentes medidas que ayudan a aminorar la degradación del suelo, sobre todo por erosión hídrica. El Proyecto Red SICTA, del IICA/Cooperación Suiza hizo una recopilación con base en la “Guía de Conservación de Suelos y Agua”, donde se hace un esfuerzo por recopilar diversas alternativas de conservación de suelo y agua, las cuales se mencionan en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1 Técnicas de conservación de suelos (construcción propia con base en la “Guía de Conservación de Suelos y Agua”)

Técnica	Descripción
Trazado de curvas a nivel	El agua se detiene y como no corre a lo largo de la curva porque esta es completamente plana, se infiltra a las capas inferiores del suelo, favoreciendo al cultivo con mayor humedad.
Establecimiento de barreras vivas	Hileras de plantas sembradas a poca distancia, en curvas de nivel, con el objetivo de conservar el suelo y protegerlo de la erosión.
Acequias o zanjas a nivel para captar agua	Son canales que se construyen a nivel, en dirección transversal a la pendiente, para retener, conservar y ayudar a infiltrar el agua de lluvia que cae sobre las laderas.
Acequias o zanjas a desnivel para drenar el exceso de agua de lluvia.	Zanjas o canales contruidos con un desnivel del uno por ciento en dirección transversal a la pendiente, para recibir el agua de escorrentía y drenar el exceso fuera del área de cultivo sin provocar erosión o cárcavas.
Barreras muertas de piedra para controlar la erosión	Muros relativamente bajos, que se construyen con las mismas piedras que están regadas en la parcela, siguiendo las curvas a nivel, para evitar el problema de la erosión en los suelos de ladera.
Diques de piedra y postes para eliminar cárcavas	Son muros de piedra contruidos en forma de media luna, siguiendo las curvas a nivel, para retener el agua de lluvia que forma las cárcavas.
Formación de miniterrazas para reducir la erosión	Se forman en parcelas de ladera por la acción continua de una labranza mínima en los mismos surcos, siguiendo las curvas a nivel y dejando la tierra de los lados sin tocar.
Agroforestería con regeneración natural	Asocio de cultivos como maíz y frijol con árboles maderables o forrajeros de interés específico en la finca, pero se pueden enriquecer con especies de frutales mejorados. Se recomienda para laderas muy pronunciadas y está íntimamente ligada a la no quema.

Rotación de maíz y frijol con abono verde	Se denomina abono verde al cultivo de ciertas especies de leguminosas que establecen una cobertura amplia que protege el suelo, controla la erosión, mantiene la humedad y mejora la infiltración de agua.
Obras físicas para cosechar agua de lluvia	Consiste en la construcción de infraestructura como pilas, lagunetas, embalses, etc.

2.2 Sistemas agrícolas

Un sistema es un conjunto de cosas relacionadas entre sí ordenadamente para contribuir a un determinado objetivo (RAE, 2019). Los sistemas agrícolas son conjuntos de explotación agrícola con características similares y por lo cual corresponden estrategias de desarrollo e intervención parecidas (FAO, 2019).

La agricultura es el resultado de procesos que incluyen la siembra de semillas, labores de cultivo, fertilización, cosecha, entre otros (Manzanares, 1964). Haciendo referencia a esta, el suelo representa la capa de materia fértil que recubre la superficie de la Tierra y que es explorada por las raíces de las plantas para obtener sostén, nutrientes y agua.

El método tradicional para cultivar el suelo consiste en dejar la superficie completamente descubierta, con tamaños de partícula de suelo muy pequeños y con pocos o ningún residuo de plantas; frecuentemente se usa al arado, seguido de varios pases de rastra o cultivadoras para removerlo hasta lograr el “estado deseado”; esto es, al menos un horizonte desagregado adecuadamente o “mullido”, libre de malezas y con todos los residuos presentes enterrados.

El propósito final de la preparación de los suelos es lograr una buena condición física, para realizar una adecuada siembra o plantación, generando un ambiente que favorezca la germinación o brotación, y permita una adecuada expansión radicular durante el desarrollo del vegetal. Esto se realiza frecuentemente mediante una serie de labores con mayor o menor efecto sobre el suelo (Homer & Casanova, 2014).

El método convencional es usado frecuentemente en varios sistemas de producción, no obstante, en ciertas circunstancias esta condición en lugar de otorgar

un medio adecuado de desarrollo del cultivo, puede resultar en un deterioro de su rendimiento potencial, al quedar el suelo expuesto a pérdidas de materia orgánica, a la destrucción de su estructura y a compactación, exponiéndolo consecuentemente a elevados riesgos de erosión, lo cual repercute en un mayor gasto de mano de obra y combustible. A pesar de lo anterior, para los agricultores este sistema de laboreo es “un mal necesario” (Rojas, 2001).

Cuando las prácticas agrícolas no son sustentables (mal uso suelo - agua) las tierras agrícolas se vuelven gradualmente menos productivas. Entre las principales causas de este proceso destacan las siguientes: degradación de la estructura del suelo, disminución de la materia orgánica, pérdida del suelo y pérdida de nutrientes.

Entre el 19% y el 29% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) son causadas por las actividades agrícolas y los cambios de uso de suelo. Por lo tanto, esta contribuye con el calentamiento global y el cambio climático, sin embargo, se pueden tomar medidas de mitigación que contribuyan a disminuir sus efectos (Banco Mundial, 2014).

Para lograr una Agricultura sustentable o sostenible, se debe mantener la calidad de los recursos que la determinan, en una forma económicamente viable en el largo plazo. El ideal es lograr aumentar la productividad tomando en cuenta la conservación de los recursos involucrados (Homer & Casanova, 2014).

En el intento por lograr prácticas agrícolas adecuadas se han desarrollado investigaciones en países como México, Suiza, Cuba donde se pone como objetivo desarrollar la labranza de conservación (Leyva, Masaguer, & Baldoquin, 2014; Homer & Casanova, 2014; Galeana, Trinidad, Flores, & Flores, 1999).

2.4 Factores que influyen en la productividad y manejo del suelo

Antes de realizar cualquier modificación en un suelo es importante analizar sus características y como se modificarán para mejorar sus condiciones, así como analizar los factores limitantes para llevar a cabo la actividad agrícola (Garrido,

1994). Dentro de las condiciones que se consideran como de alta influencia son las mencionadas en **Cuadro 2**.

Cuadro 2 Factores importantes en la productividad y manejo del suelo (construcción propia a partir de FAO, 2000).

Factor	Función e importancia
Topografía	La topografía es definida por la longitud y forma que tienen las pendientes, este factor influye de manera importante en la erosión del suelo y sobre la aptitud agrícola. A mayor pendiente aumenta la velocidad de la escorrentía, aunado a la longitud de esta, se intensifica la escorrentía y con ello la erosión. Una pendiente pronunciada dificulta además la labranza.
Precipitación	La lluvia es determinante para la erosión, ya que el volumen y la velocidad del escurrimiento superficial dependen de su intensidad, duración y frecuencia. Cuando la tierra no tiene cobertura vegetal las partículas del suelo son fácilmente aflojadas y transportadas por la escorrentía.
Acidez y alcalinidad	Estos factores están determinados en su mayor parte por el material de origen de formación del suelo y están asociados a la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Por ejemplo: un aumento de la acidez puede solubilizar elementos tóxicos como el aluminio y el manganeso. Un ambiente altamente alcalino puede traer deficiencias nutricionales ya que algunos nutrientes como el nitrógeno no están disponibles en estas condiciones.
Salinidad	La salinidad puede ser resultado del material parental, por irrigación con agua salada, entre otros. La alta presencia de sales induce deficiencias en los cultivos al desbalancear los nutrientes, además de aumentar la presión osmótica y causar falta de agua. Cuando un suelo es salino es necesario tomar medidas preventivas o de remediación, como la aplicación de yeso agrícola.
Profundidad	Cuando hay poca profundidad, este factor es limitante para el desarrollo de las raíces de las plantas, además de que afecta la infiltración y reduce las opciones de labranza. En ocasiones el suelo puede estar incluso sobre la roca madre, esto puede constituir una fuerte limitante en la agricultura ya que los instrumentos de labranza difícilmente pueden trabajar sobre esta.
Textura	Se refiere a la proporción de las partículas de suelo, las cuales según su diámetro se clasifican en arena, limo y arcilla. Este factor es determinante para el movimiento y disponibilidad del agua y nutrientes, aireación y resistencia a la penetración por las raíces.
Materia orgánica	Se define como el conjunto de materiales muertos de origen animal o vegetal y los productos orgánicos producidos en su transformación. El contenido de materia orgánica es útil para los cultivos, ya que su presencia favorece la presencia de microorganismos, los cuales transforman los nutrientes en sustancias inorgánicas disponibles para las plantas.

2.3 Diseño Hidrológico con Líneas Clave (DHLC)

Un diseño, se refiere al conjunto de cálculos, planes, configuración o todo el proceso que se hace para dar una idea de cómo se ha de realizar una tarea o como se ha de ejecutar un objetivo (RAE, 2019). El diseño hidrológico consiste en analizar los registros correspondientes al ciclo del agua en su fase terrestre y tomar las medidas más adecuadas para modificar la respuesta hidrológica de las áreas de interés con el objetivo de reducir velocidad del escurrimiento superficial, aumentar la infiltración

y lograr una mayor eficiencia para conducir las aguas de las tormentas (Campos-Aranda, 2019).

El DHLC-se desarrolla en los años 50 en Australia por el ingeniero Alfred Yeomans para gestionar el terreno modificando el patrón de cultivo, tiene un enfoque holístico, dirigido fundamentalmente a la cosecha de agua y la regeneración de suelos (Collins & Doherty, 2009).

Consiste en un conjunto de técnicas y herramientas que permiten coordinar planes de desarrollo rural o urbano que trasciende en la regeneración y embellecimiento de tierras y el paisaje (MacDonald, 2009). Este patrón conduce las escorrentías desde las vertientes hasta las laderas (**Figura 1**), reduciendo la concentración de agua en las vertientes, reduce la velocidad y favorece la infiltración, lo cual deja el agua disponible en el terreno por una mayor cantidad de tiempo y reduce el arrastre de suelo (Cortés, 2013).

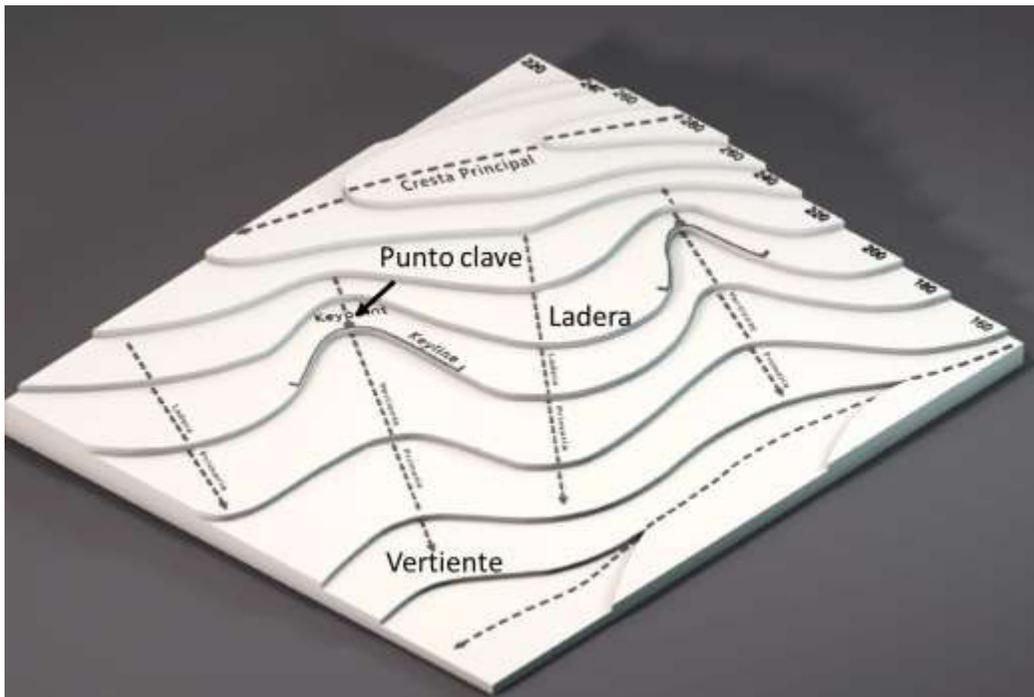


Figura 1 Geofomas importantes para la modificación del paisaje en el DHLC. Imagen tomada de (Pavlov, 2019)

Esta técnica toma en cuenta variables topográficas altimétricas como el gradiente, curvatura, aspecto, etc. de la pendiente y planimétricas como la forma, tamaño, etc. del terreno, además de variables edáficas (textura y contenido de agua).

El DHLC puede integrarse con las medidas de conservación de suelos mencionadas anteriormente en el **Cuadro 1** y así potencializar su aprovechamiento. Es importante realizar una correcta elección del equipo a utilizar y se recalca que, realizado bajo las indicaciones adecuadas el DHLC permite realizar una gestión sustentable del suelo.

La metodología surge como una necesidad de reducir la erosión, captar y almacenar el agua de lluvia en el suelo, por lo que su aplicación es ideal para zonas con problemas de erosión y/o de escasa precipitación. Es ideal para terrenos semiáridos con topografía ondulada y terrenos con pendientes menores al 8%, sin embargo, se puede utilizar en terrenos con pendientes mayores, de cualquier uso: frutícola, forestal, pecuario, etc., con superficies desde media hectárea hasta miles de kilómetros cuadrados (IMTA, 2013).

III. JUSTIFICACIÓN

México tiene descuidado el campo, el plan de desarrollo agrícola de López Obrador busca contribuir a generar empleos, incentivar la autosuficiencia alimentaria, mejorar los ingresos de los pobladores rurales y recuperar la cobertura forestal en el país. El medio por el que se logrará esto es a través de la entrega de apoyos económicos y en especie, así como el acompañamiento técnico donde se compartan conocimientos y experiencias con los campesinos y se aprenda de la sabiduría de las personas que han estado en contacto con la naturaleza y el territorio (Presidencia de la Republica, 2019).

A nivel estatal, en Durango se destaca la atención hacia el uso irracional de los recursos naturales y se asume la responsabilidad para el gobierno estatal y municipal de promover políticas de acción que protejan los territorios para el presente y las próximas generaciones. En el plan de desarrollo estatal 2016-2022 se propone la promoción de un estado saludable del suelo y el fortalecimiento de prácticas productivas y ecológicas, como la producción agrícola sustentable donde se obtengan productos sanos en equilibrio con el suelo, plantas, animales y la población de Durango (Gobierno del Estado de Durango, 2016).

El desarrollo de la agricultura puede contribuir directamente a erradicar la pobreza de las zonas rurales, ya que la mayoría de la población en esta condición vive en estas zonas y depende de la actividad agrícola como fuente de empleo y por lo tanto de ingresos. Además, puede representar un papel fundamental en el crecimiento económico en general debido a sus conexiones con los otros sectores de la economía (Alexandratos, 1995).

La agricultura sustentable es considerada como un sistema de producción que es capaz de mantener su productividad y además ser útil a largo plazo, cumpliendo con el abasto adecuado de alimentos, preservar el potencial de los recursos, con la premisa de mantener su capacidad para las generaciones presentes y futuras. Para lograr la sostenibilidad en la agricultura se han promovido tecnologías como la agricultura de conservación, manejo integrado de plagas y el uso eficiente del agua.

Con lo que se permite mantener y/o aumentar el rendimiento, disminuir el costo de producción, mantener la rentabilidad y la productividad disminuyendo el impacto sobre el ambiente (Lopez, 2016).

La agricultura ha experimentado una transformación de fondo, donde cada vez hay más mecanización, dependencia de pesticidas, fertilizantes y una desapropiación de la tierra por los productores, convirtiéndose en proletarios para servir a las transnacionales. En promedio los niveles de producción son bastante bajos, donde los campesinos obtienen ingresos por cultivos menores a los salarios mínimos de sus respectivas zonas. La situación del campo mexicano ha beneficiado a los grandes productores pero es necesario apoyar a los campesinos a que encuentren rentable la actividad agrícola y así participen activamente en el desarrollo económico del país (Soto, 2003).

En el estado de Durango en 2017 se dedicaban a la agricultura 1 097 264.55 ha de las cuales el 84.21 por ciento fue de temporal (949 310.59. ha). Donde se estima que alrededor del 17 % de la superficie del estado presenta una erosión de moderada a extrema (Bolaños, y otros, 2016).

El método convencional agrícola es el predominante en el estado, por lo que se dejan las parcelas agrícolas vulnerables al deterioro de su rendimiento potencial, al quedar el suelo expuesto a pérdidas de materia orgánica, a la destrucción de su estructura y a compactación, exponiéndolo consecuentemente a elevados riesgos de erosión, lo cual repercute en un mayor gasto de mano de obra y combustible.

El DHLC es una técnica emergente que permite promover el aumento de la productividad de los suelos favoreciendo la conservación del suelo y agua. Por lo que es necesario dar la validación

IV. OBJETIVOS

4.1 General

Innovar el proceso de producción de cultivo de frijol de temporal, en la comunidad de Ojo de Agua de San Juan, Nombre de Dios, Durango, a través del diseño hidrológico con líneas clave, como una propuesta de conservación del suelo y el agua, y posteriormente (con la difusión), favorecer un cambio en la cultura agrícola de la región.

4.2 Específicos

1. Sistematizar los conocimientos de gestión de la conservación del suelo en la agricultura y las técnicas que se emplean.
2. Diagnosticar el estado actual de las prácticas agrícolas utilizadas en la comunidad, Ojo de Agua de San Juan, Nombre de Dios, Durango.
3. Diseñar experimentalmente (como técnica de conservación de suelo y agua) la implementación de la técnica, "Línea Clave (DHLC)", en una parcela de la comunidad de Ojo de Agua de San Juan, Nombre de Dios, Durango
4. Proponer como innovación a la práctica agrícola el uso del DHLC... demostrando su ventaja sobre los sistemas tradicionales de laboreo.

V. HIPÓTESIS

Mediante la implementación del Diseño Hidrológico con Líneas Clave en parcelas agrícolas es posible retener suelo y agua, aumentar la capacidad de producción del suelo.

VI. ESTRUCTURA METODOLÓGICA

Un modelo es un esquema teórico de un sistema real que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento (RAE, 2019). En este modelo lo más importante es incorporar el DHLC para la gestión del ciclo del agua en el suelo.

El DHLC es una técnica innovadora que permite mejorar la aptitud del suelo, pero es necesario dar una validación técnica que de la información para comprobar que, en efecto, es capaz de aumentar la cantidad de agua y la productividad. Por ese motivo se evaluó el estado inicial de un terreno agrícola, donde se implementó un modelo de DHLC y se midieron la producción de frijol del ciclo 2018 y sus efectos sobre el suelo en tres momentos: antes y al finalizar el ciclo agrícola, así como tres meses después.

6.1 Sistematización de la información

La sistematización, es la conformación de diferentes partes en un todo y permite visualizar todos sus componentes de manera más sencilla. Para realizar la recopilación de los conocimientos de la gestión de la conservación del suelo se realizó un análisis y síntesis de la bibliografía, haciendo revisión en publicaciones de las instituciones operativas como la FAO, ONU, SAGARPA y artículos científicos.

Destacándose la documentación de las labores culturales agrícolas de la región, el estado de conservación y los conocimientos del productor acerca de sus tierras y su manejo.

6.2 Localización del área de estudio

La comunidad de Ojo de Agua de San Juan está ubicada en el municipio de Nombre de Dios, Dgo en las coordenadas Long: -104.267500; Lat: 23.952500. Es una comunidad rural con un grado de marginación medio y 179 pobladores distribuidos en 32 viviendas. Cuenta con un clima templado con 16° C de temperatura promedio y una precipitación media anual de 452 mm.

De esta se seleccionó una parcela agrícola de temporal para producción de frijol ubicada al norte de la comunidad.



Figura 2. Localización del área de estudio

6.3 Diagnóstico del suelo

Se determinaron las características físico-químicas del suelo con 9 muestras distribuidas en toda la parcela, además se midió su profundidad y su pendiente, con esto se estableció el diseño experimental que apoyó el primer acercamiento a una validación de la DHLC.



Figura 3. Área seleccionada para las parcelas experimentales

Para la caracterización del suelo se midieron parámetros como la humedad, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, aniones, cationes y textura, ya que estos revelan la información necesaria para las decisiones de gestión que sobre él se toman. (Garrido, 1994).

6.3.1 Humedad y Materia Orgánica

Se llevó los crisoles a peso constante y se colocó 5 g de muestra por duplicado, se dejó en la estufa tipo horno de convección Shel-Lab® 1510 por 24 horas a 105 °C, se pesó para calcular humedad y se introdujo a la mufla ThermoScientific a 550 °C por seis horas, se pesó nuevamente para inferir materia orgánica (NOM-021-RECNAT-2000).

6.3.2 Conductividad Eléctrica y pH.

Se disolvieron 5 g de muestra en 20 mL de agua destilada y se agitó por treinta minutos en la plancha termomagnética (sin calor), se centrifugó por cinco minutos a 100 revoluciones por minuto (rpm), se realizó la medición de pH con potenciómetro Metrohm® modelo 827 y para la medición de conductividad se dejó reposar la muestra por 24 horas en refrigeración a 3 °C, se utilizó un conductímetro marca ThermoScientific® modelo Orion 3 Star (NOM-021-RECNAT-2000).

6.3.3 Aniones y cationes

Una vez realizada la medición de conductividad, se filtraron dos tantos de cada muestra (una para aniones y otra para cationes), utilizando membranas de fibra de vidrio de .45 y .21 µm. Para ambos se utilizó cromatografía de iones, en el caso de los aniones fue un cromatógrafo marca ThermoScientific ICS 1100 con automuestreador ThermoScientific AS-AP; cationes se utilizó un cromatógrafo marca Metrohm 883 Basic IC Plus con un automuestreador Metrohm 863 compact.

6.3.4 Textura

Fue determinada por el método de Bouyococ. Se pesaron 50g de suelo seco, se pasó a un Erlenmeyer adicionando 10 mL de metasilicato de sodio y 10 mL de

oxalato de calcio, se dejó reposar durante 15 minutos y se agitó por 5 minutos. La suspensión del suelo se vertió en una probeta 1200 mL y se colocó el densímetro, con agua destilada se aforó a 1130 mL con el densímetro dentro, se retiró el y con una varilla se agitó durante un minuto, se colocó nuevamente el y a los cuarenta segundos se tomó la primera lectura y la temperatura, se dejó reposar el recipiente durante dos horas y se tomó nuevamente las dos lecturas.

6.4 Implementación del DHLC

Se levantaron las curvas a nivel del terreno y se registraron las coordenadas geográficas con ayuda de un navegador satelital.

Con las coordenadas del sitio y de las curvas a nivel, se analizaron las características del terreno, entradas de agua, salidas, precipitación y su topografía. Los suelos de la parcela experimental son arenosos cuya conductividad hidráulica es de 20 a 30 mm/hr y capacidad de campo de 14 a 24 %, lo cual indica que estos suelos tienen una rápida infiltración y pobre retención con pendiente de 2.3 a 4.9%.



Figura 4. Levantamiento topográfico con manguera de nivel

Una vez que se determinaron las características del terreno se procedió a realizar el diseño hidrológico localizando los puntos y líneas clave para su posterior modificación según los intereses particulares.

Por lo anterior se buscó mantener la cantidad adecuada de agua en la parcela, de tal forma que se manipuló la pendiente para que el agua saliera fuera de los surcos trazados (0.3%) y con ello la velocidad de la escorrentía superficial disminuyera, manteniendo el suelo e incluso deteniendo el que es arrastrado de las partes más altas.



Figura 5. Modificación teórica del patrón de laboreo e implementación en campo

Una vez que se estableció el diseño para los fines deseados se procedió a implementarlo en la parcela utilizando tractor. Donde, primeramente, se colocaron las señales en puntos estratégicos que se habían identificado previamente y posteriormente se realizó con el tractor un bordo, que es la que se denomina como “línea clave, sobre este se traza el surcado paralelamente, así, los surcos hacen papel de lugar de desarrollo de la planta y a la vez sirven como estructura para conducir el agua acorde al diseño.

6.5 Diseño experimental

Para evaluar el efecto del DHLC en la parcela se dividió el terreno en dos, donde por asignación del propietario se seleccionó el de mayor pendiente para su implementación; otro de los factores determinantes para esta decisión fue el hecho de que el campesino había abandonado esta sección del terreno porque los daños

por erosión causaban pérdidas importantes en la cosecha y el uso de implementos agrícolas era complicado por las cárcavas ya formadas.

La distribución de las parcelas fue determinada según quedó el acomodo de las líneas clave, obteniendo superficies que fueron desde las 0.446 a 1.135 ha, al igual que las pendientes, que fueron desde 1.14 hasta 4.91, quedando la pendiente más pronunciada en el área del DHLC (**Cuadro 3**).

La evaluación del DHLC, se complementó además con el uso de arado Yeomans, de modo que se asignaron 3 parcelas con DHLC y labranza tradicional, 3 parcelas con DHLC y arado Yeomans y finalmente, 3 parcelas con labranza y patrón de cultivo tradicional.

Cuadro 3 Distribución de los tratamientos, superficie y % de pendiente

Tratamiento	Patrón de cultivo	Parcela	Superficie (ha)	% Pendiente
K 	DHLC	1	0.446	3.08
		3	1.135	3.77
		5	1.007	4.53
Y 	DHLC y Arado Yeomans	2	0.622	3.81
		4	0.964	4.91
		6	0.394	3.51
T 	Tradicional	7	0.678	2.28
		8	0.829	1.14
		9	0.874	2.57

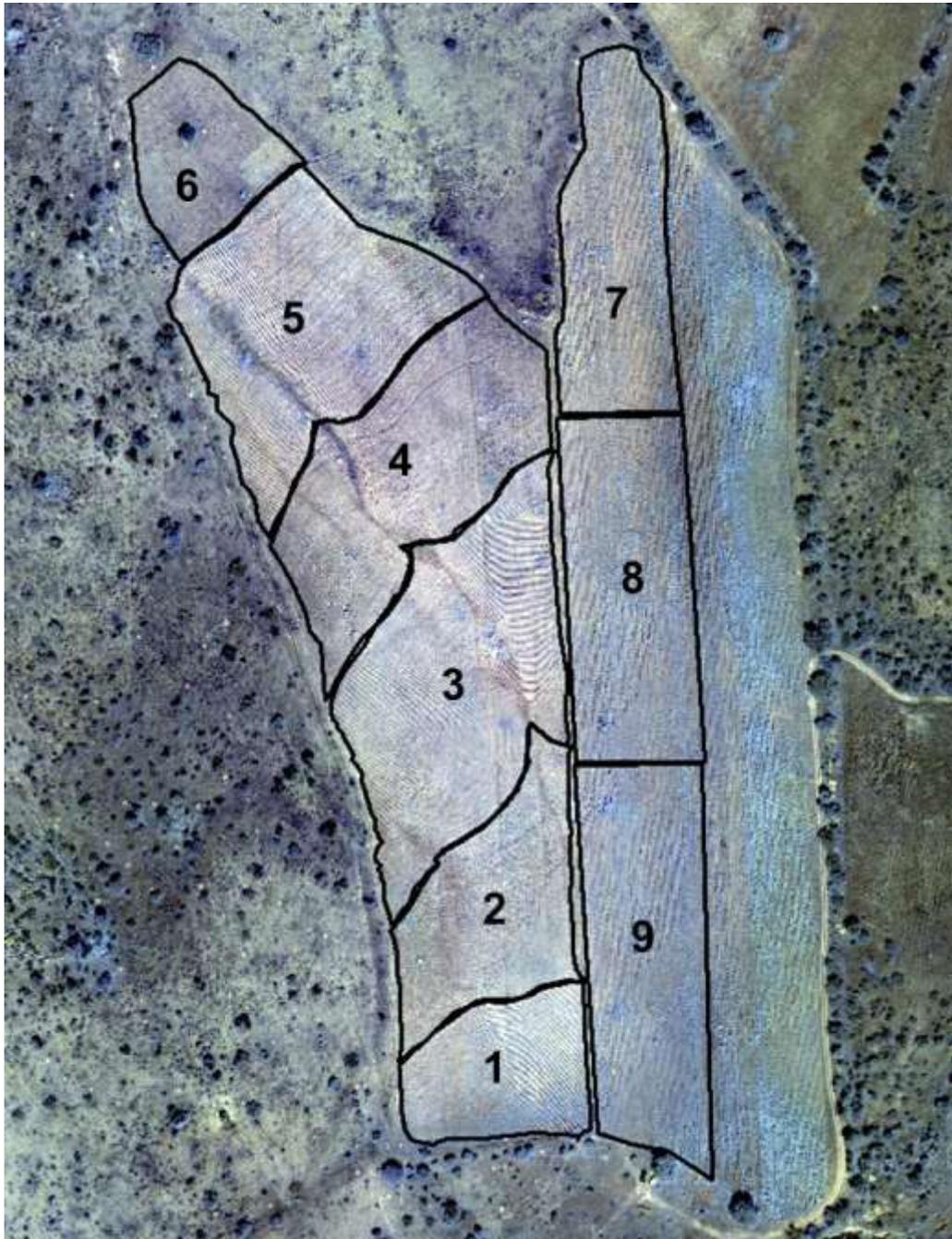


Figura 6. Distribución de las parcelas experimentales

6.5 Evaluación del modelo experimental

Se tomaron 2 muestras de cada parcela 20 metros arriba de la línea divisoria horizontal de cada parcela, estas se tomaron de los 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad según procediera en cada sitio (**figura 8**).

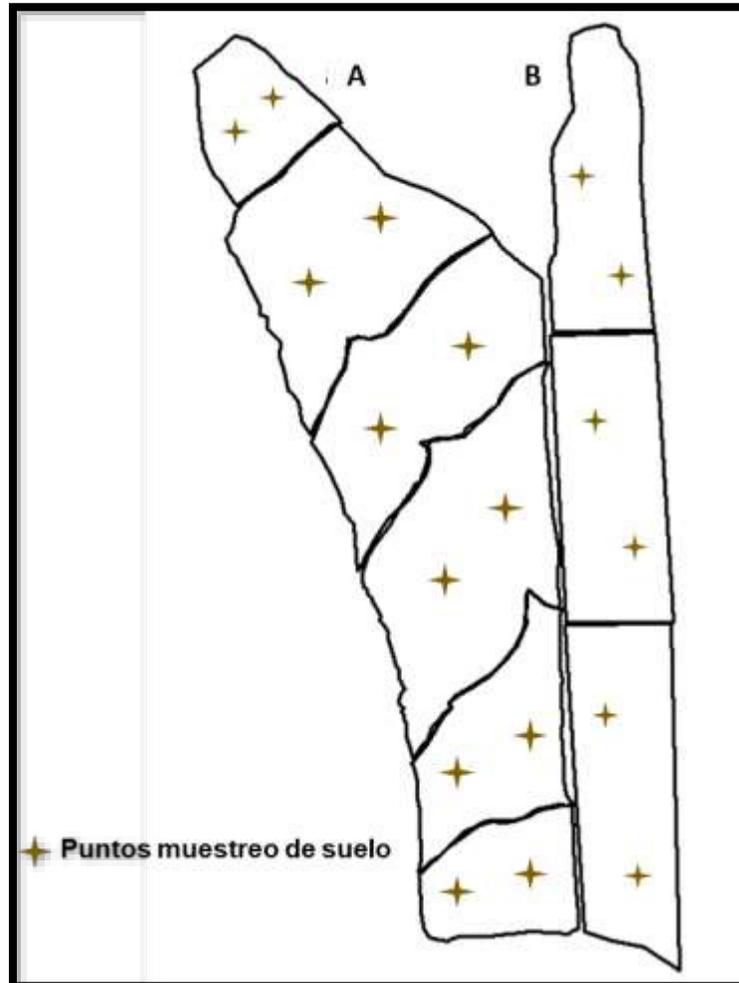


Figura 7. Distribución de puntos de muestreo para caracterización del suelo

6.5.1 Caracterización físico-química

Para la caracterización físicoquímica se realizaron los procedimientos mencionados para el diagnóstico inicial de la parcela, en la primera semana de noviembre de 2018

solamente los físicos y nuevamente en la primera semana de febrero de 2019, pero esta vez todos los análisis.

6.5.2 Arrastre de suelo

Además, se midió el suelo retenido y arrastrado mediante la instalación de 10 clavos (como el que se muestra en la figura 9; la arandela es colocada al ras del suelo y después de un tiempo, se registra el aumento o disminución del suelo sobre ésta) sobre la línea clave, procurando dejarlo en zonas donde no intervinieran en área de cultivo; en el caso del laboreo tradicional, se colocaron sobre las líneas horizontales divisorias.

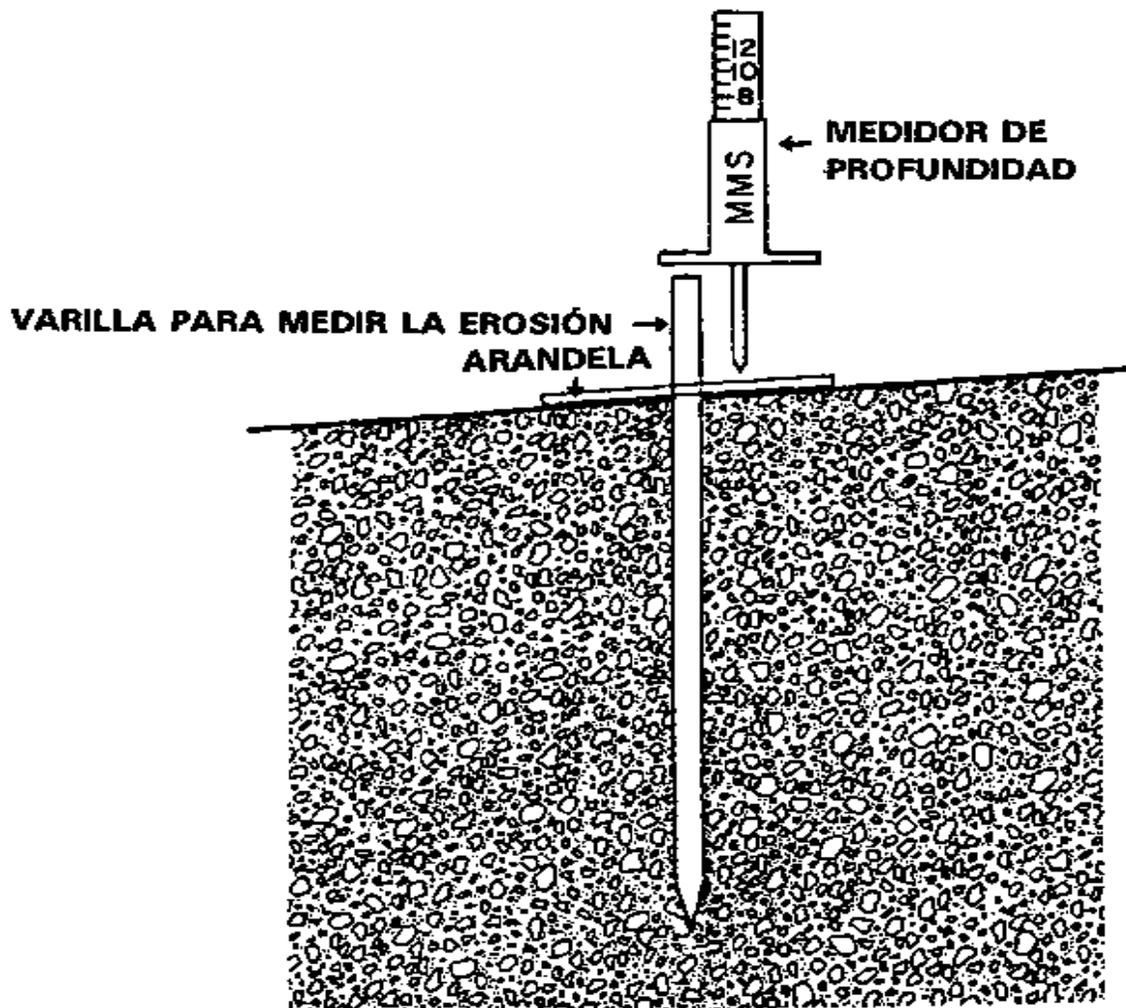


Figura 8. Clavo para medir el cambio del nivel de la superficie. Imagen tomada de (FAO, 2019).

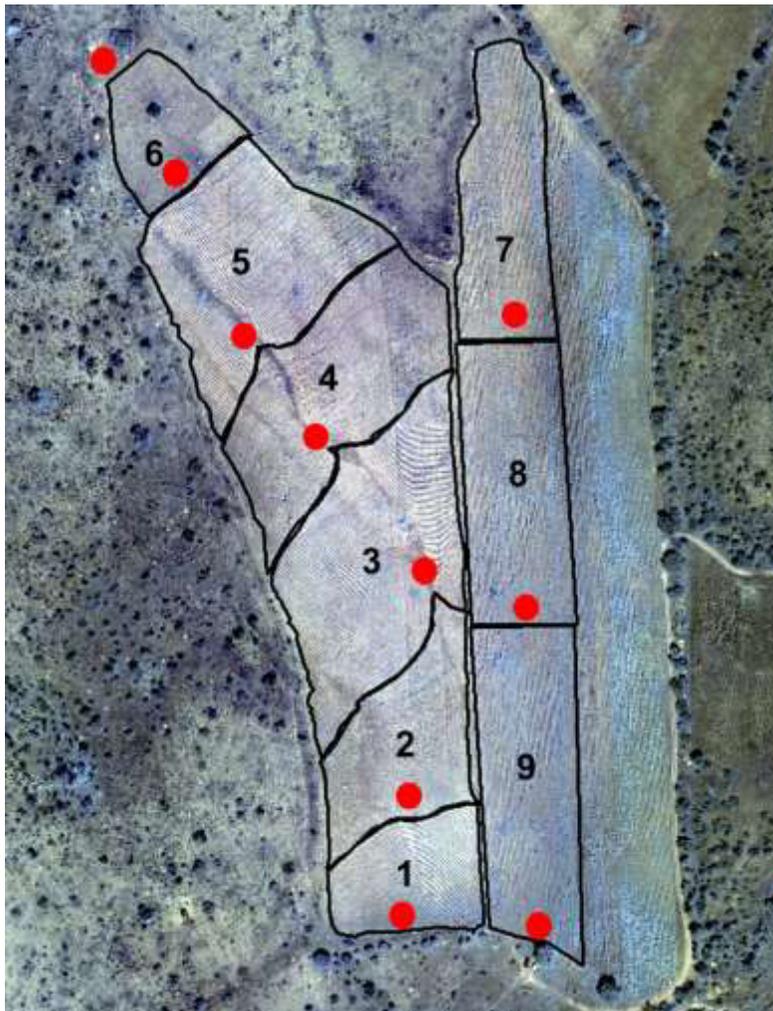


Figura 9. Puntos de colocación de clavos para monitoreo de arrastre de suelo

6.6 Evaluación agrícola

Se realizó la experimentación agrícola, utilizando frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) pinto saltillo en condiciones de temporal de agosto a noviembre en el ciclo 2018, con el arreglo mencionado en la tabla 2 con una densidad de siembra de 35 kg/ha.

EL frijol es el cuarto cultivo más importante en México, según la superficie destinada para su producción. Para el 2015 se cosecharon 1.56 millones de hectáreas, de las cuales 90 % fueron de temporal. (FIRA, 2016). Al ser un cultivo tan importante, fue elegido para evaluar los efectos del DHLC sobre su rendimiento.

Para el muestreo, se dividió cada parcela en cuatro partes y se seleccionó el punto central de cada cuadrante donde se registró el número de plantas por m² y m lineal, además se colectaron tres individuos a los que se les cuantificó número de vainas por planta, el número de semillas por vaina, peso de las semillas por planta, con lo cual se calculó el rendimiento en t/ha.

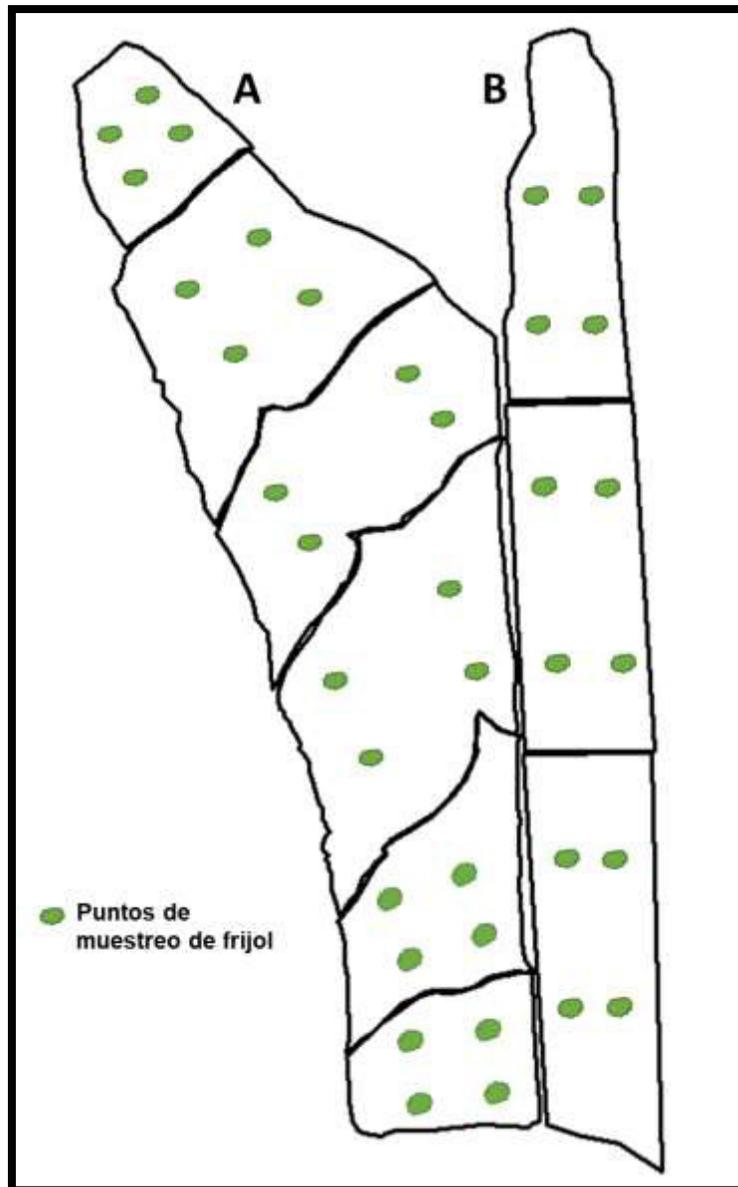


Figura 10. Patrón de muestreo para las plantas de frijol

6.6.1 Registro de precipitación

Se instaló un pluviómetro elaborado con un contenedor de agua 20 L con una superficie de captación de 572.55 cm². Se colocó en la parte próxima la parcela y se estuvo monitoreando del 24 de agosto al 26 de octubre de 2018.



Figura 11. Instalación de pluviómetro contiguo a la parcela para el registro de precipitación en el área de estudio.

6.7 Análisis de datos

Se utilizó el programa Excel para la organización de la información, la base de datos se transformó a valores de Z, para validar diferencias entre los tratamientos y las variables usadas se usaron ANOVAS de bloques al azar con 3 repeticiones, se aplicaron pruebas de Fisher para comparar las medias ($p < 0.05$) y determinar grupos estadísticos similares. El análisis de los datos fue realizado con el programa STATISTICA versión 7 (Stat Soft Inc. 2004)

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para valoración del DHLC, se realizaron 72 análisis de suelos en los 3 tratamientos, con tres repeticiones, las parcelas experimentales variaron de 0.5 a 1.1 ha, donde se observó que el diseño logra igualar el contenido de agua de un suelo arenoso con respecto a un arcilloso, en cuanto a rendimiento del cultivo el DHLC, logró un 44% más en su producción.

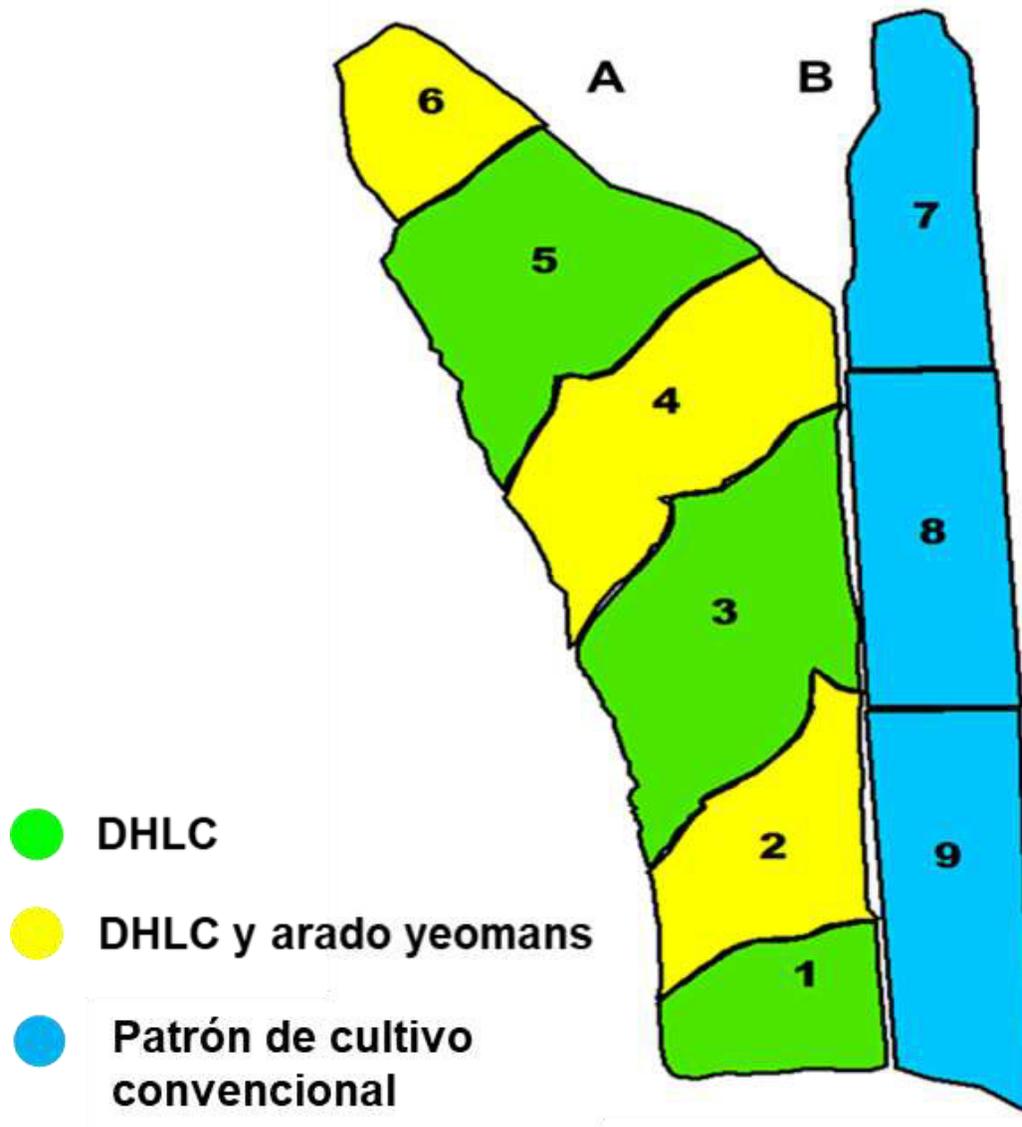


Figura 12. Distribución de los tratamientos por parcela.

7.1 Estadística descriptiva

Se realizaron análisis para conocer las características del suelo antes de la siembra, después de ésta y 3 meses después, además de medir las características agronómicas con el cultivo de frijol, otro factor muy importante fue el de la humedad. La descripción estadística de ellos se presenta por tratamiento en los **Cuadros 4, 5 y 6**.

Los indicadores agronómicos (Vainas, promedio de vainas por planta, semillas por planta, plantas por m², semilla buena y rendimiento) obtuvieron los valores máximos mas altos fueron los que se presentaron en el tratamiento con DHLC (K).

Los promedios del arrastre retenido del suelo fueron mas altos en el area de DHLC y DHLC con arado yeomans, el arrastre en el tratamiento testigo fue menor, un resultado esperable dada la menor inclinación

Cuadro 4 Estadística descriptiva de las variables evaluadas en el tratamiento K

Variable	Estadística descriptiva							
	N	Media	Suma	Mínimo	Máximo	Varianza	Desviación estándar	Error estándar
Vainas	6	10.69444	64.1667	6.83333	17.8333	13.971	3.73782	1.52596
Promedio de vainas por planta	6	3.38887	20.3332	2.97121	4.2190	0.221	0.46986	0.19182
Numero de semillas por planta	6	36.09663	216.5798	22.09444	58.3541	158.806	12.60182	5.14467
Plantas por metro lineal	6	7.58333	45.5000	5.00000	10.5000	4.042	2.01039	0.82074
Plantas por m2	6	14.91667	89.5000	10.00000	21.0000	14.142	3.76054	1.53523
Semilla buena	6	8.97139	53.8283	5.60333	14.4633	9.777	3.12677	1.27650
Semilla mala	6	1.87694	11.2617	0.20500	5.7550	3.875	1.96862	0.80369
Peso total semilla	6	10.84833	65.0900	7.66167	15.9933	8.718	2.95265	1.20541
Rendimiento ton/ha	6	1.26338	7.5803	0.77331	2.0424	0.195	0.44106	0.18006
Arrastre	6	5.55300	33.3180	2.11400	10.3360	14.604	3.82153	1.56013
AD julio	6	-2.10998	-12.6599	-4.80613	0.9577	6.174	2.48480	1.01441
AD nov	6	6.66148	39.9689	3.81870	10.1591	4.407	2.09926	0.85702
AD feb	6	1.13548	6.8129	0.40198	2.1397	0.366	0.60465	0.24685
NO2 FEB	6	0.86077	5.1646	0.61480	1.0429	0.025	0.15923	0.06501
NO3 feb	6	4.11785	24.7071	2.29900	6.7097	3.310	1.81934	0.74274
SO4 feb	6	7.00805	42.0483	3.26460	11.3617	11.533	3.39601	1.38642
Na feb	6	6.86217	41.1730	3.79000	10.9660	8.274	2.87651	1.17433
NH3/NH4	6	1.31950	7.9170	0.98300	1.8330	0.133	0.36529	0.14913
K feb	6	10.25183	61.5110	4.95200	15.7720	17.287	4.15781	1.69742
Ca feb	6	7.07017	42.4210	3.41400	13.9400	13.572	3.68402	1.50399
Mg feb	6	1.15467	6.9280	0.15800	3.4100	1.477	1.21551	0.49623
N total feb	6	1.95559	11.7335	1.35793	2.7029	0.254	0.50386	0.20570
S total feb	6	2.33599	14.0160	1.08819	3.7872	1.281	1.13199	0.46213
pH julio	6	7.24717	43.4830	6.62500	7.7190	0.201	0.44816	0.18296
CE julio	6	77.33667	464.0200	41.95000	134.4600	1992.459	44.63696	18.22296
pH feb	6	6.65083	39.9050	6.60333	6.7433	0.004	0.06441	0.02630
CE feb	6	33.21778	199.3067	21.95000	55.7000	179.263	13.38892	5.46601
Na julio	6	8.64193	51.8516	6.15200	10.4220	2.676	1.63599	0.66789
NH3/ NH4 julio	6	6.44440	27.8664	4.02520	6.9040	1.265	1.12451	0.45908
K julio	6	7.18460	43.1076	4.51700	10.2740	4.371	2.09058	0.85348
Ca julio	6	17.90620	107.4372	9.91900	26.8000	60.314	7.76619	3.17053
Mg julio	6	1.75887	10.5532	0.99800	2.3420	0.292	0.53991	0.22042
NO2 julio	6	1.96270	11.7762	0.76480	3.0273	0.810	0.90024	0.36752
NO3 julio	6	9.44851	56.6910	5.88530	13.2842	10.781	3.28346	1.34047
SO4 julio	6	12.65095	75.9057	7.60290	19.5443	30.862	5.55532	2.26795
N total julio	6	5.73458	34.4075	4.60831	7.5590	1.192	1.09170	0.44568
S total julio	6	4.21694	25.3017	2.53427	6.5147	3.429	1.85176	0.75598

Cuadro 5 Estadística descriptiva de las variables evaluadas del tratamiento Y

Variable	Descriptive Statistics (17-06-19)							
	N	Media	Sumatoria	Mínimo	Máximo	Varianza	Desviación estándar	Error estándar
Vainas	6	3.47222	20.8333	1.16667	5.66667	2.9935	1.73018	0.706343
Promedio de vainas por planta	6	2.54091	15.2454	1.41667	3.34405	0.4373	0.66127	0.269963
Numero de semillas por planta	6	9.39847	56.3908	1.65278	15.81944	31.9174	5.64955	2.306420
Plantas por metro lineal	6	4.75000	28.5000	4.00000	6.00000	0.6750	0.82158	0.335410
Plantas por m2	6	7.91667	47.5000	4.50000	10.50000	5.3417	2.31120	0.943545
Semilla buena	6	1.53722	9.2233	0.04500	2.72667	1.0945	1.04617	0.427097
Semilla mala	6	0.64278	3.8567	0.21833	1.21667	0.1130	0.33615	0.137234
Peso total semilla	6	2.18000	13.0800	0.62667	3.34667	1.5089	1.22839	0.501487
Rendimiento ton/ha	6	0.32895	1.9737	0.05785	0.55368	0.0391	0.19773	0.080725
Arrastre	6	6.14867	36.8920	0.80300	11.92100	24.8312	4.98309	2.034339
AD julio	6	-1.61687	-9.7012	-2.54441	-0.48434	1.0646	1.03182	0.421237
AD nov	6	4.36017	26.1610	-2.34793	8.00579	15.1553	3.89298	1.589302
AD feb	6	0.93126	5.5876	-2.10458	3.81206	7.2042	2.68407	1.095768
NO2 FEB	6	1.29590	7.7754	0.60480	2.04100	0.3322	0.57634	0.235291
NO3 feb	6	3.04230	18.2538	2.08100	3.87420	0.5307	0.72850	0.297410
SO4 feb	6	9.28945	55.7367	5.06420	13.71090	13.2128	3.63494	1.483957
Na feb	6	7.40633	44.4380	5.47600	9.15900	2.3734	1.54059	0.628941
NH3/NH4	6	1.53033	9.1820	0.93100	2.24600	0.2833	0.53230	0.217310
K feb	6	13.00100	78.0060	6.58400	18.69800	26.1526	5.11397	2.087768
Ca feb	6	6.92000	41.5200	3.42900	9.78500	5.2027	2.28093	0.931188
Mg feb	6	1.57300	9.4380	0.51000	2.94800	0.6827	0.82628	0.337326
N total feb	6	1.87663	11.2598	1.21959	2.49540	0.2825	0.53149	0.216979
S total feb	6	3.09645	18.5787	1.68805	4.57025	1.4681	1.21163	0.494648
pH julio	6	7.09924	42.5954	6.83071	7.36200	0.0565	0.23766	0.097025
CE julio	6	64.59952	387.5971	41.63357	86.40000	492.6111	22.19484	9.061007
pH feb	6	6.75983	40.5590	6.61500	6.94200	0.0187	0.13689	0.055884
CE feb	6	46.80867	280.8520	30.23000	67.88000	259.2550	16.10140	6.573368
Na julio	6	9.14145	54.8487	8.21900	9.47214	0.2237	0.47301	0.193106
NH3/ NH4 julio	6	5.15890	30.9534	3.71600	7.44100	1.4970	1.22352	0.499500
K julio	6	8.57295	51.4377	7.99800	10.69000	1.1069	1.05210	0.429518
Ca julio	6	15.68761	94.1257	11.77843	22.30200	17.6502	4.20122	1.715140
Mg julio	6	1.92057	11.5234	1.69171	2.17900	0.0554	0.23539	0.096096
NO2 julio	6	2.61428	15.6857	1.43357	4.71320	1.4664	1.21097	0.494375
NO3 julio	6	7.57412	45.4447	6.53513	8.57260	0.7166	0.84652	0.345588
SO4 julio	6	14.31098	85.8659	8.97734	19.30170	23.4869	4.84633	1.978506
N total julio	6	5.71319	34.2792	4.81594	7.60421	0.9327	0.96579	0.394282
S total julio	6	4.77028	28.6217	2.99242	6.43384	2.6096	1.61543	0.659495

Cuadro 6 Estadística descriptiva de las variables evaluadas en el tratamiento T

Variable	Estadística descriptiva							
	N	Media	Sumatoria	Mínimo	Máximo	Varianza	Desviación estándar	Error estándar
Vainas	6	8.2452	49.4712	7.0000	9.1176	0.571	0.75544	0.30841
Promedio de vainas por planta	6	3.2425	19.4550	2.9987	3.4679	0.035	0.18634	0.07607
Numero de semillas por planta	6	26.7140	160.2839	23.0461	30.4039	7.168	2.67735	1.09302
Plantas por metro lineal	6	5.9083	35.4500	5.0000	7.3333	0.705	0.83956	0.34275
Plantas por m2	6	10.8083	64.8500	9.5000	12.3333	1.362	1.16685	0.47636
Semilla buena	6	6.0032	36.0195	4.70187	7.2791	0.843	0.91829	0.37489
Semilla mala	6	0.8837	5.3022	0.75273	1.1361	0.020	0.14062	0.05741
Peso total semilla	6	6.8869	41.3216	5.62062	8.0318	0.868	0.93173	0.38038
Rendimiento ton/ha	6	0.9350	5.6099	0.80662	1.0641	0.009	0.09371	0.03826
Arrastre	6	2.8057	16.8340	1.76100	4.4390	1.642	1.28150	0.52317
AD julio	6	-2.1677	-13.0063	-8.36430	3.3872	17.802	4.21924	1.72250
AD nov	6	4.9645	29.7872	0.68180	9.5452	13.732	3.70569	1.51284
AD feb	6	1.8094	10.8563	-0.05457	6.2589	5.078	2.25352	0.91999
NO2 FEB	6	1.2464	7.4785	0.63910	2.0068	0.282	0.53094	0.21676
NO3 feb	6	6.4757	38.8542	2.81200	11.3052	13.840	3.72018	1.51876
SO4 feb	6	7.7039	46.2234	5.59850	9.1365	2.069	1.43845	0.58725
Na feb	6	6.9385	41.6310	5.57000	8.8990	1.230	1.10918	0.45282
NH3/NH4	6	0.8615	5.1690	0.66800	1.1200	0.031	0.17486	0.07139
K feb	6	7.7052	46.2310	4.08200	10.6280	6.791	2.60596	1.06388
Ca feb	6	9.0493	54.2960	4.70000	14.4460	12.228	3.49687	1.42759
Mg feb	6	1.7012	10.2070	0.34500	3.1840	1.207	1.09875	0.44856
N total feb	6	2.1319	12.7917	1.38833	3.0720	0.609	0.78044	0.31861
S total feb	6	2.5679	15.4076	1.86615	3.0455	0.230	0.47948	0.19575
pH julio	6	7.4575	44.7450	6.81000	8.0950	0.320	0.56581	0.23099
CE julio	6	137.9250	827.5500	87.00000	187.9000	1513.877	38.90858	15.88436
pH feb	6	6.8797	41.2783	6.55000	7.2167	0.059	0.24225	0.09890
CE feb	6	41.7399	250.4392	27.45250	73.3167	319.566	17.87641	7.29801
Na julio	6	11.5663	69.3975	5.42000	19.5820	21.175	4.60164	1.87861
NH3/ NH4 julio	6	3.5560	21.3360	1.85500	4.9010	1.011	1.00544	0.41047
K julio	6	7.4858	44.9145	4.08200	11.5350	7.946	2.81885	1.15079
Ca julio	6	30.8980	185.3880	21.60600	46.8970	82.696	9.09373	3.71250
Mg julio	6	2.5530	15.3180	1.49300	4.0810	0.716	0.84645	0.34556
NO2 julio	6	1.8542	11.1254	0.78610	3.8806	1.254	1.11998	0.45723
NO3 julio	6	12.9677	77.8065	2.85090	39.6417	190.444	13.80016	5.63389
SO4 julio	6	17.2177	103.3065	10.55700	24.8960	21.286	4.61371	1.88354
N total julio	6	5.6796	34.0775	2.67762	12.7215	13.420	3.66331	1.49554
S total julio	6	5.7392	34.4352	3.51896	8.2986	2.365	1.53789	0.62784

7.2 Diagnóstico de suelo

Se tomaron muestras de cada zona y se realizaron análisis fisicoquímicos, para el reporte de resultados se dividió el terreno en sección **A** y **B** que son desglosados en la tabla 3 y 4.

7.2.1. Sección A

La profundidad mínima fue de 15 cm y hasta 60 cm como máximo. La pendiente va 3.08 a 4.91 %. Predomina la textura franco arenosa, con contenidos de arena de hasta el 87.87 %. El porcentaje de capacidad de campo es menor al 25% en todos los casos, ver **Cuadro 7**.

Cuadro 7 Perfil longitudinal de la parcela y su caracterización físico-química de la zona A. n=2



Se contrastaron los resultados obtenidos con la NOM 021 RECNAT, de donde se usó su clasificación para determinar el tipo de suelo, ahí establece que este sitio es considerado muy bajo, neutro y ligeramente alcalino, en acuerdo a su contenido en MO y pH respectivamente, con una salinidad despreciable, con suelos arenosos cuya conductividad hidráulica es de 20 a 30 mm/hr y capacidad de campo de 14 a 24 %.

Esta sección fue usada para implementar los tratamientos de DHLC, dando lugar a 6 parcelas de 0.5 a 1.1 ha, donde se aplicaron dos tipos de labranza, el arado Yeomans y la labranza convencional, siguiendo ambas la línea clave.

7.2.2. Sección B

Aquí se encontraron profundidades de hasta 70 cm, con pendientes debajo del 3%, la textura es franco arenoso con porcentajes máximos de arena de 74.78, la capacidad campo es ligeramente más alta que en la sección a, el porcentaje de materia orgánica es de bajo a medio. El pH es ligeramente alcalino y la CE presenta efectos despreciables de salinidad (**Cuadro 8**).

Cuadro 8 Perfil longitudinal de la parcela y caracterización físico-química de la zona B. n=2



Esta sección fue tomada como testigo y dividida en tres parcelas que fueron usadas bajo la labranza convencional (surcos rectos y en ocasiones a favor de la pendiente).

7.2.3 Balance nutrimental

Como se mencionó los suelos son ligeramente alcalinos, muy bajos en materia orgánica y algunos son franco arenoso, lo cual indica que son suelos que no pueden mantener muchos nutrientes, una alternativa es apoyarlos con agroquímicos aplicados por vía foliar. En este caso, se utilizó el biofertilizante Supermagro cuyas características se mencionan en el **Cuadro 9**.

Las características nutrimentales de estos suelos fueron bajas con respecto a los requerimientos que la FAO menciona que el frijol necesita para su desarrollo (**Cuadro 9**). La aplicación del fertilizante fue un paliativo considerando que el frijol es una leguminosa y es capaz de tomar el nitrógeno atmosférico.

Cuadro 9 Promedio (n=6), antes y después del ciclo agrícola, de los valores de aniones y cationes.

Nutriente kg/ha	Mes	Tratamiento			Adicionado con el Supermagro	Requerimiento kg/ha (FAO, 2019)
		K	Y	T		
K⁺¹	Jul	15.8	18.9	16.5	0.013	93
	Feb	16.7	20.9	32.3		
Ca⁺²	Jul	39.4	34.5	68.0	0.005	54
	Feb	12.1	13.7	22.2		
Mg⁺²	Jul	3.9	4.2	5.6	0.006	18
	Feb	1.2	2.2	5.3		
N total (N-NH₃/NH₄, N-NO₃)	Jul	12.6	12.6	12.5	0.0042	97
	Feb	3.5	3.4	4.8		
S total	Jul	9.3	10.5	12.6	0.006	25
	Feb	4.2	4.7	6.5		

7.3 Arrastre del suelo

Se realizó la medición de la acumulación o pérdida de suelo sobre los clavos que se instalaron en las parcelas antes del inicio de la temporada de lluvias. Encontrando que en las parcelas 1 a la 6 (donde se realizaron los trabajos del DHLC) retuvieron hasta 11.92 mm de suelo.

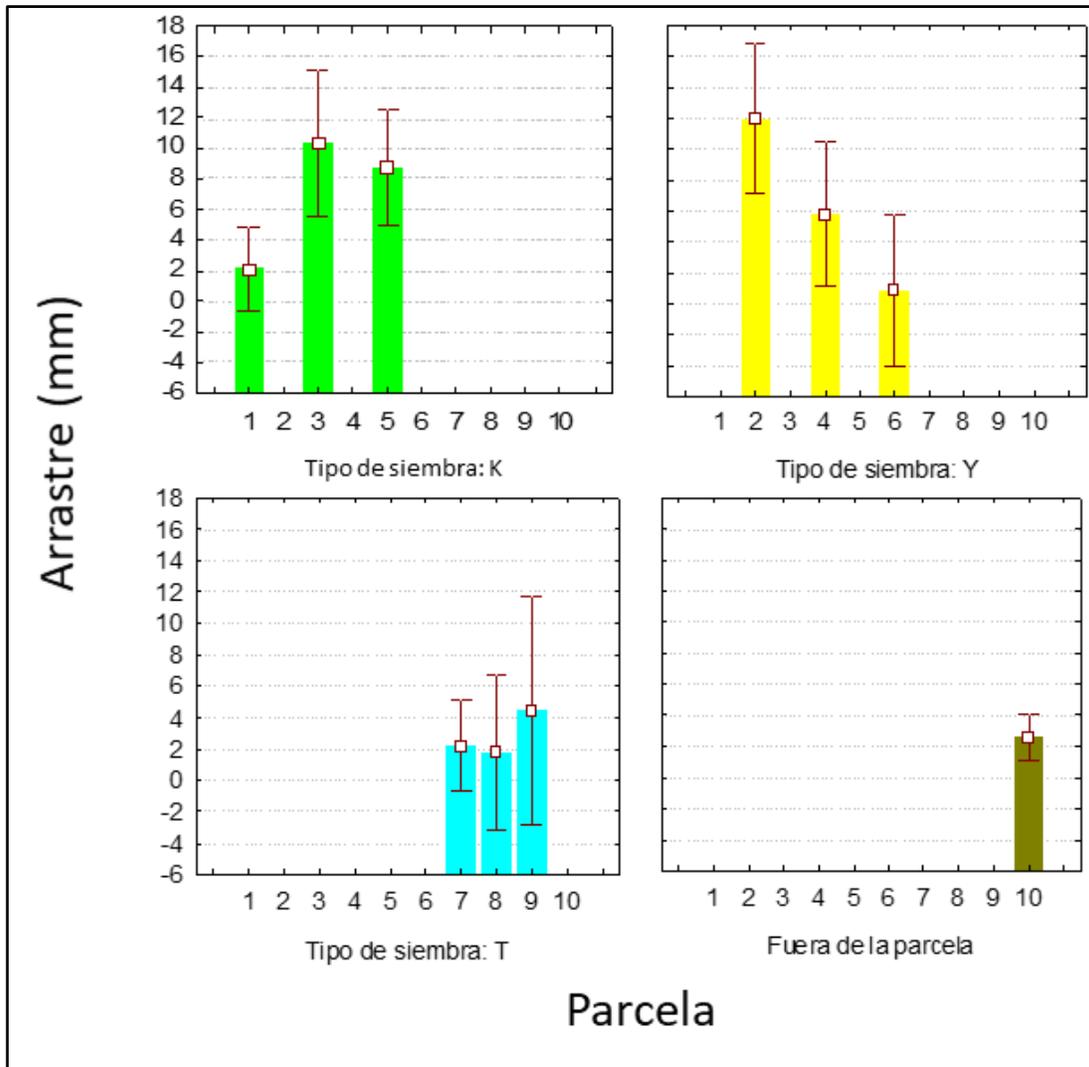


Figura 13. Promedios (n=10) de la cantidad de suelo retenida por parcela y tipo de siembra. $p > .05$.

7.4 Evaluación del diseño hidrológico con líneas clave

Uno de los principales beneficios que tiene el DHLC es la retención de humedad, por lo que se comparó del contenido de agua disponible después del periodo de lluvias de cada uno de los tratamientos.

Se realizó un monitoreo del agua que precipitó en el periodo de estudio, teniendo un total de 328.5 mm, con la mayor cantidad de lluvia registrada en el mes de septiembre.

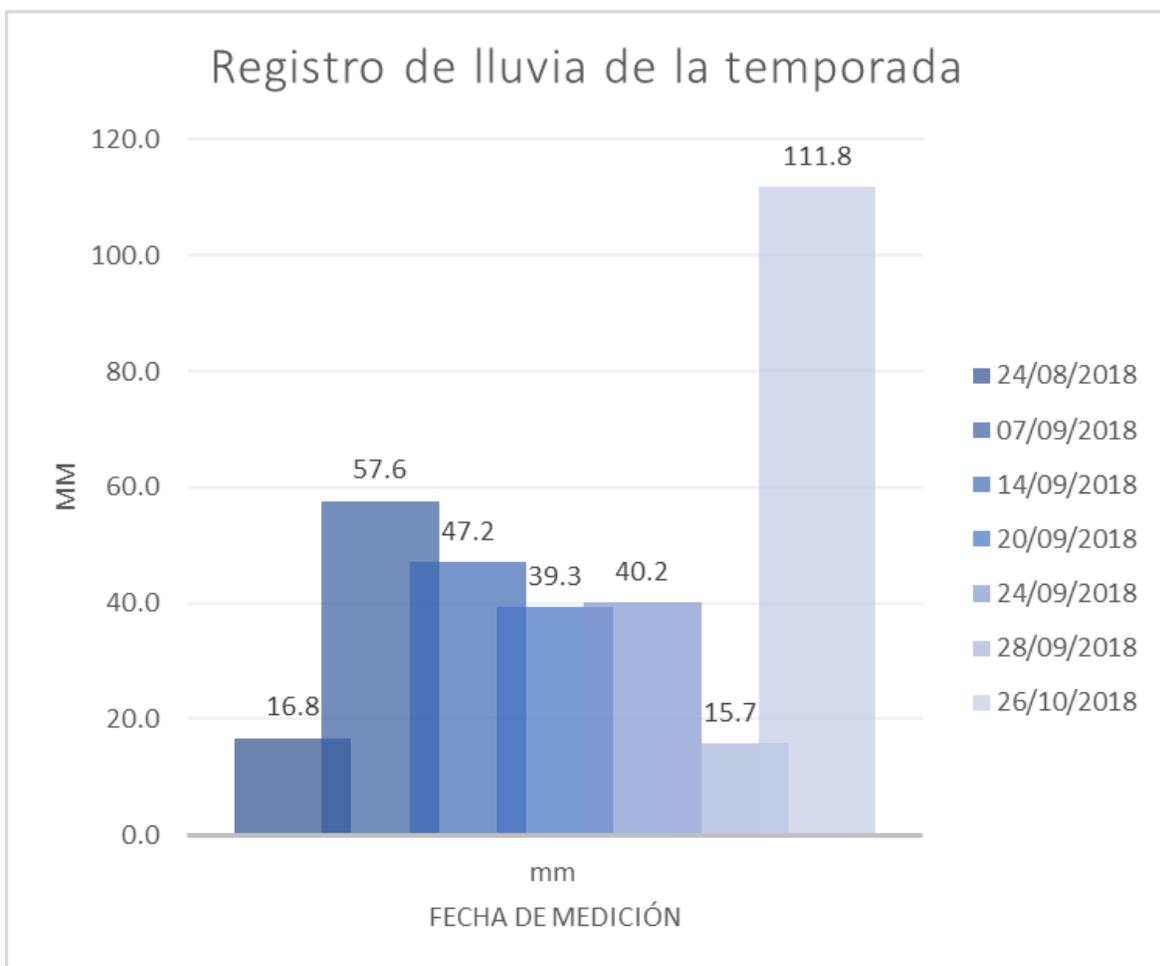


Figura 14. Cantidad de precipitación monitoreada del 24 de agosto al 26 de octubre de 2016

Se observó que el laboreo tradicional y las parcelas tratadas con DHLC y DHLC mas arado Yeomans presentaron contenidos estadísticamente similares de agua disponible en el mes de noviembre (**Figura 15**)

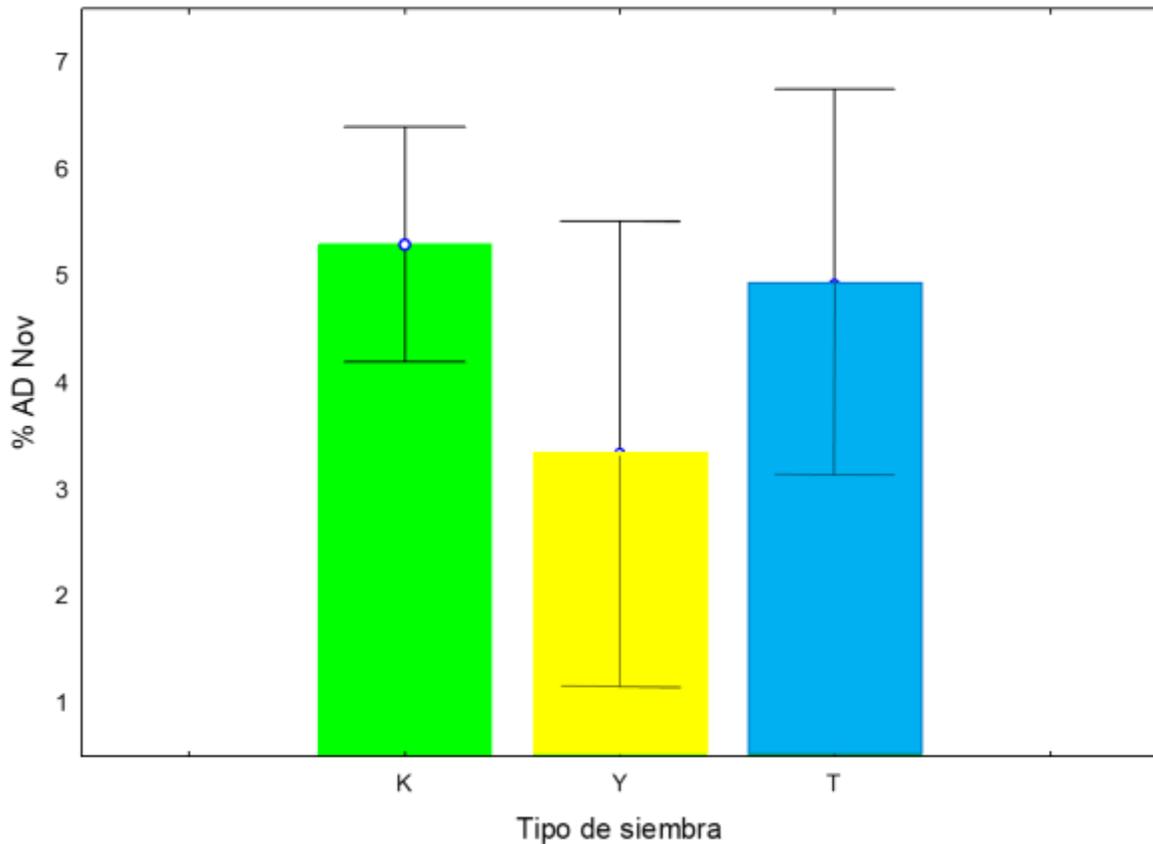


Figura 15. Promedio (n=12) de agua disponible en noviembre por tipo de siembra, donde no existe diferencia significativa ($p > .05$).

Las arcillas son las partículas de suelo que retienen mayor cantidad de agua y también las que presentan una mayor cantidad de agua disponible para las plantas (Ibañez, 2006). El contenido de arcillas es mayor en toda la sección B de las parcelas experimentales, correspondiente al tratamiento con el laboreo tradicional. Se destaca que, aunque la pendiente es mayor en el Sección A y el contenido de arcillas menor (**Figura 16**), se tuvo la misma cantidad de agua disponible que en la sección B.

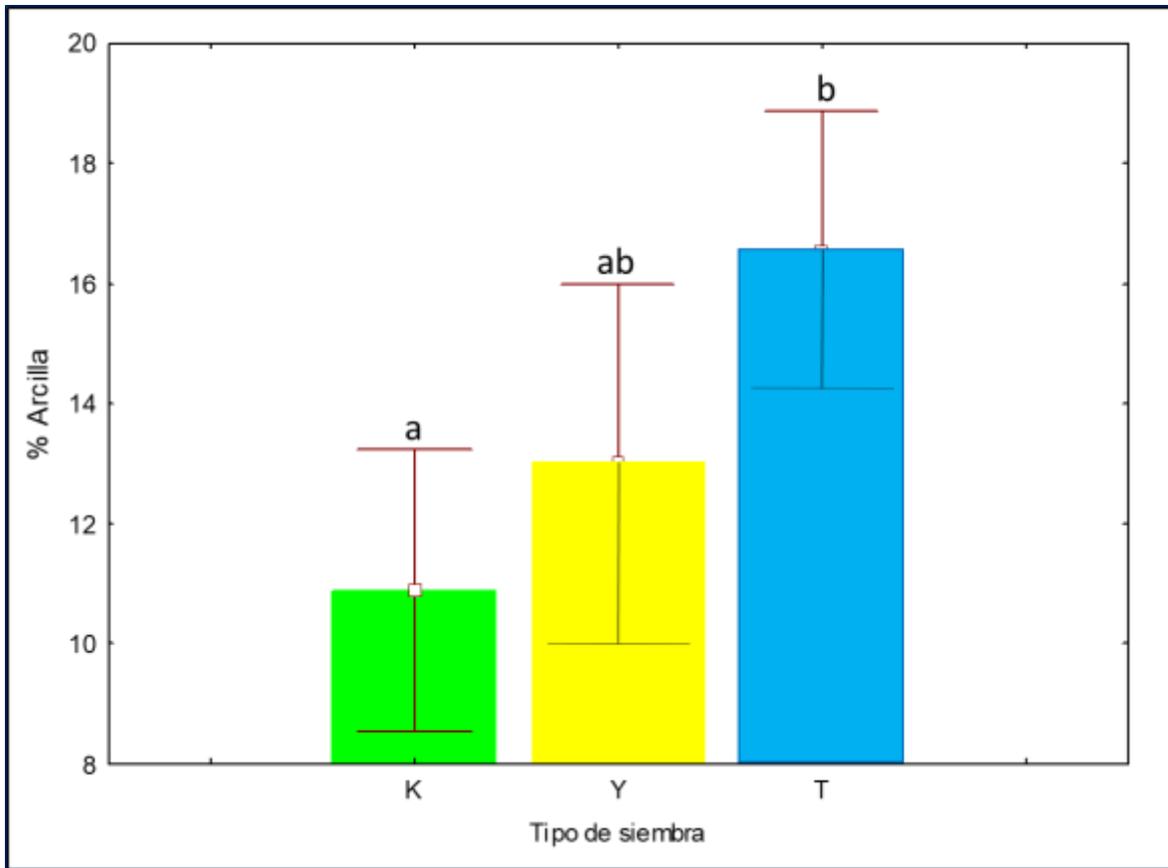


Figura 16. Promedio (n=12) del porcentaje de arcilla presente por tipo de siembra, donde el tratamiento convencional (T) presenta el contenido significativamente más alto ($p < .05$).

Se observó un rendimiento por t/ha 44% mayor en el frijol cultivado con el DHLC con respecto al patrón de cultivo tradicional (**Figura 17**). Es importante mencionar que el cultivo de frijol requiere que el suelo donde se cultiva no sea compacto, por lo que la escarda se vuelve sumamente importante para promover su desarrollo; con la aplicación del arado Yeomans no es posible realizar más movimiento de la tierra después de la siembra, de manera que, en las parcelas trabajadas con este arado no se realizó la evaluación agrícola.

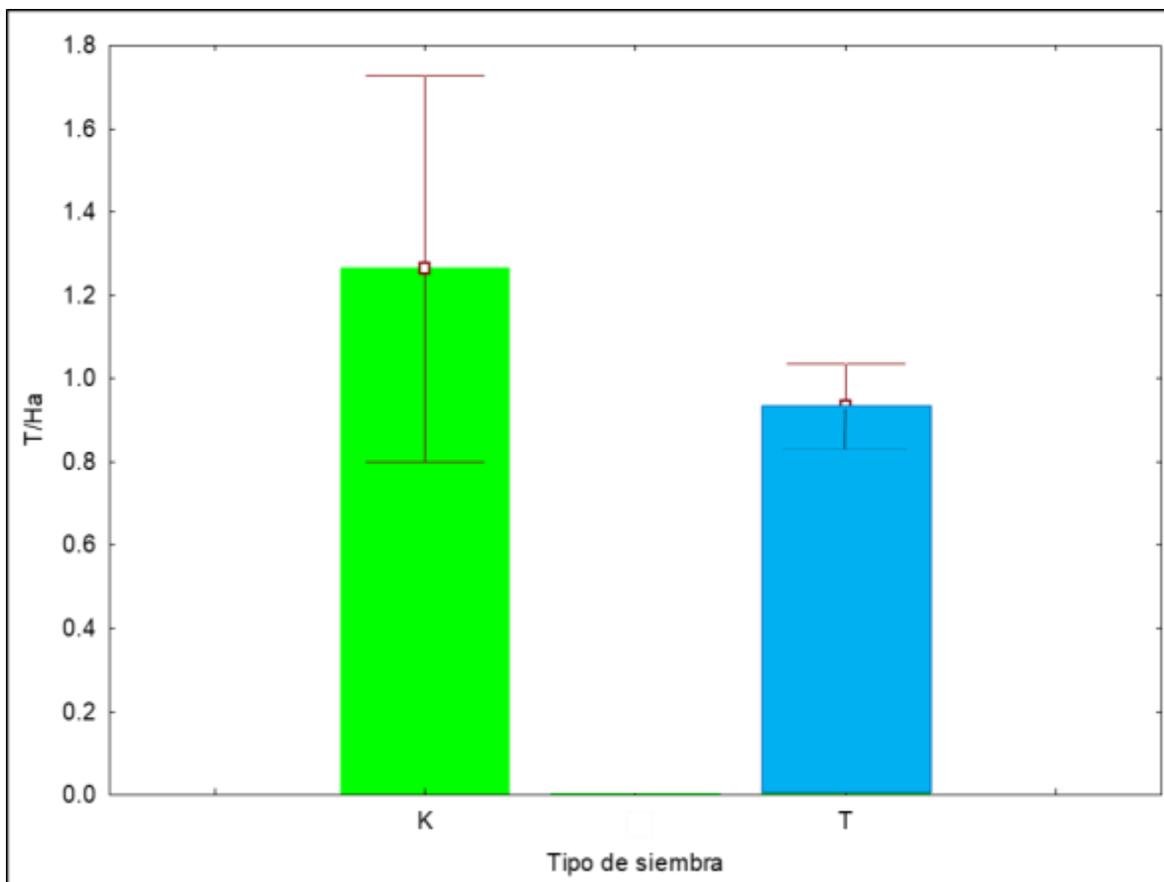


Figura 17. Rendimiento del frijol en t/ha por tipo de siembra

El rendimiento del frijol bajo el DHLC fue 1236 kg/ha. En el 2012 Osuna *et al* obtuvo 1762.3 kg/ha utilizando un cultivo de frijol de temporal bajo un sistema conservacionista de productividad sustentable y concluyó que con este se pueden mejorar las ganancias de los productores y reducir la erosión en las zonas frijoleras del Altiplano Semiárido del Centro-Norte de México (Osuna-Ceja, Reyes-Muro, Padilla-Ramírez, & Martínez-Gamiño, 2012).

En el 2005 Sancho & Villatoro realizaron un trabajo donde compararon la productividad del maíz en diferentes inclinaciones del terreno, encontrando que las zonas con mayor pendiente tenían menor productividad. Asumiendo que esta misma propiciaba la erosión y con ello, cambios en la textura, retención de humedad y algunas propiedades químicas.

VIII. CONCLUSIONES

Se revisaron los sistemas de laboreo agrícola en la comunidad Ojo de Agua de San Juan, encontrando que se practica el sistema convencional, donde el suelo es removido constantemente y con patrones de cultivo rectos y paralelos a favor de las pendientes. Aunque existen técnicas alternativas, no son del conocimiento o del interés de los productores, aun cuando el daño a sus terrenos es cada vez más evidente.

El ejidatario gestiona de manera empírica su terreno y aplica las técnicas convencionales, que consisten en arar la tierra en sentido recto, ya sea a favor de la pendiente o perpendicular a ella

La parcela experimental tiene características heterogéneas en cuanto a profundidad de suelo, pendiente y textura. Donde la parcela con menores atributos para sostener el cultivo agrícola, fueron las destinadas al DHLC. El suelo retenido fue de 6.5, 5.5 y 2.8 mm para DHLC, DHLC y Yeomans, patrón de cultivo tradicional.

El DHLC igualó el contenido de agua disponible entre la parcela testigo (en situación de ventaja) y la zona donde se implementó el modelo.

El DHLC en cuanto al rendimiento del frijol, presentó mejores resultados, obteniendo 44 % más de producción.

Uno de los beneficios del DHLC es el aumento de la humedad del suelo, lo cual fue significativo, porque un suelo de tipo arenoso, mantiene no más de 10 días agua disponible, contra un arcilloso que puede retener agua hasta tres veces ese tiempo.

Al analizar los datos de este parámetro, se obtuvo que fue estadísticamente similar en los tres tipos de siembra, aun cuando la capacidad de almacenar agua de la textura del suelo presentaba desventajas para el laboreo con DHLC.

IX. RECOMENDACIONES

- El presente trabajo permitió sentar las bases que permitirán realizar evaluaciones cada vez más finas con respecto al DHLC, donde los parámetros principales a considerar para desarrollar un modelo hidrológico serían la pendiente, textura, tipo de cultivo, eventos de precipitación.
- La correcta determinación de las cambiantes propiedades físicas del suelo son la pieza clave para llegar a comprender y estimar los procesos lluvia-escorrentia a nivel cuenca (Moral & Giraldez, 1995).
- Para que los campesinos logren apropiarse de las nuevas técnicas y en específico del DHLC, depende en gran parte de que ellos vean sus resultados positivos y con ello tomen la decisión de cambiar la manera en que gestionan sus terrenos, por lo que es vital que se le de la difusión adecuada a trabajos de este tipo, donde se utilice una parcela modelo y ellos puedan ver *in situ* las mejorías.

X. BIBLIOGRAFÍA

Alexandratos, N. (1995). *Agricultura Mundial: Hacia el año 2010. Estudio de la FAO*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Banco Mundial. (Abril de 2014). Obtenido de Banco Mundial: <http://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview>

Betancourt-Yáñez Pedro, P., & Pulido, P. (13 de Junio de 2006). *Actitud de los agricultores hacia el manejo y conservación del suelo y agua en dos comunidades rurales del Estado Lara, Venezuela*. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612006000300004&lng=es&tlng=es.v:
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612006000300004&lng=es&tlng=es.

Bolaños, M., Paz, F., Cruz, C., Argumedo, J., Romero, V., & Cruz, J. (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el. *Terra Latinoamericana*, 271-288.

Campos-Aranda, D. (5 de Junio de 2019). *Rainfall Maximum Intensities for Urban Hydrological Design in Mexican Republic. Ingeniería, investigación y tecnología*. Obtenido de Rainfall Maximum Intensities for Urban Hydrological Design in Mexican Republic. Ingeniería, investigación y tecnología: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000200005&lng=es&tlng=en.

Collins, D., & Doherty, a. (2009). *A Keyline Primer Building Soils*. Obtenido de [pp.http://practicalpermaculture.com/handouts/OwensBroadAcrePermaculture/KeylineDesign/AKeylinePrimer.DD&AC.pdf](http://practicalpermaculture.com/handouts/OwensBroadAcrePermaculture/KeylineDesign/AKeylinePrimer.DD&AC.pdf).

Cortés, H. (2013). *Manual técnico. Diseño Hidrológico del terreno (sistema keyline) en parcelas agrícolas con precipitación limitada*. Jiutepec, Morelos: IMTA.

- Cotler, H., López, C. A., & Martínez-Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación Ambiental*, 3(2), 31-43.
- Damian-Huato, M., Cruz-Leon, A., Ramirez-Valverde, B., Romero-Arenas, O., Moreno-Limon, S., & Reyes-Muro, L. (2013). Maíz, alimentación y productividad: modelo tecnológico para productores de temporal de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*.
- De la Rosa, D. (2013). Una agricultura a la medida de cada suelo: desde el conocimiento científico y la experiencia práctica de los sistemas de ayuda a la decisión. *Acta de recepción como académico numerario*. Sevilla: Real Academia Sevillana de Ciencias.
- Demuner-Molina, G., Cadena-Zapata, M., Campos-Magaña, S., Zermeño-Gonzalez, A., & Sánchez-Pérez, F. (2014). Efectos de labranza y mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular. *Tecnología y ciencias del agua*, 123-130.
- FAO. (1996). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de El proyecto GLASOD- SOTER. Depósito de Documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s05.htm>
- FAO. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de Suelos*. *Boletín de tierras y aguas de la FAO*. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>
- FAO. (2000). *Manual on integrated soil management and conservation practices*. Obtenido de Manual on integrated soil management and conservation practices: <http://www.fao.org/3/x4799e/x4799e.pdf>
- FAO. (2013). *Depósito de documentos de la FAO*. Recuperado el 16 de Octubre de 2017, de Depósito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s04.htm>

- FAO. (2015). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2017, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- FAO. (5 de Diciembre de 2017). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/livestock-environment/es/>
- FAO. (26 de mayo de 2019). *Manejo agronómico*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a1359s/a1359s03.pdf>
- FAO. (3 de junio de 2019). *Métodos de reconocimiento*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/T0848S/t0848s04.htm>
- FAO. (6 de junio de 2019). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: http://www.fao.org/farmingsystems/description_es.htm
- FIRA. (2016). *Panorama Agroalimentario. Frijol 2016*. FIRA.
- Garrido, M. S. (1994). Interpretación de análisis de suelo. (p. y. Ministerio de agricultura, Ed.) *Hojas Divulgadoras*.
- Gobierno del Estado de Durango. (5 de Mayo de 2016). *Plan de desarrollo estatal 2016-2024*. Obtenido de <http://www.durango.gob.mx/plan-16-22/>
- Gonzalez, M., Pellat, F., Gaistardo, C., Espinoza, J., Benitez, V., & M. R. , J. (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Revista Tierra Latinoamericana*, 271-288.

Homer, I., & Casanova, M. (2014). Labranza de conservación en laderas. *Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo* (págs. 1-12). Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos.

Huergo, J. (s.f.). *Los procesos de gestión*. Obtenido de <http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/>

Ibañez, J. (27 de mayo de 2019 de julio de 2006). *Los suelos y la vida*. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887>

IMTA. (2013). *Diseño Hidrológico del terreno (keyline), en parcelas agrícolas de precipitación limitada*. Obtenido de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/disenio-hidrologico-del-terre

INEGI. (2015). *Sala de prensa INEGI*. Recuperado el 16 de Octubre de 2017, de Sala de prensa INEGI: <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2015/suelo0.pdf>

INEGI. (s.f.). *Cuéntame...Economía. INEGI*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2017, de Cuéntame INEGI: <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/forestal/default.aspx?tema=E>

Lacasta, C. M. (s.f.). *Lo que debe saber un agricultor para manejar el suelo y*. Toledo: CSIC Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Leal, J. (2010). *Planeación y gestión sostenible de los recursos ambientales y naturales*. Cartagena de las Indias, Colombia.

Lopez, L. (6 de junio de 2016). *CIMMYT. Agricultura sustentable: buenas prácticas agrícolas*. Obtenido de <http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/hubs/1993-agricultura-sustentable-buenas-practicas-agricolas>

MacDonald, H. (2009). *The geographical and topographical basis of keyline*. Obtenido de Dean of the faculty Geography, University of Sidney Source: <http://www.yeomansplow.com.au/basis-of-keyline.htm>

Manzanares, E. G. (1964). Funciones de producción en la agricultura. *Revista de estudios agro-sociales*, 13, 35-130.

Martinez, S., Oropeza, J., Martinez, M., Santoyo, V., & Ramirez, M. (2000). Evaluación económica del proyecto de rehabilitación de suelos en la cuenca del río Texcoco. *Agrociencia*, 509-521.

MasHumus. (2013). *De la permacultura a la agricultura orgánica*. Obtenido de <http://www.mashumus.com/index.php/component/content/article/13-interesante2/52-de-la-permacultura-a-la-agricultura>

Moral, F., & Giraldez, V. (1995). Influencia de la variabilidad del suelo en la hidrología superficial de una cuenca. *Ingeniería del Agua*, 51-60.

ONU. (2017). *Naciones Unidas*. Obtenido de Naciones Unidas : <http://www.un.org/es/events/soilday/>

Osuna-Ceja, E., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J., & Martínez-Gamiño, M. (2012). Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1389-1400.

Pagiola, S., Bidhop, J., & Landell-Mills, N. (2002). *La venta de servicios ambientales forestales*. Earthscan Publications Ltd.

Pavlov, G. (4 de Abril de 2019). *Entendiendo la aplicación de la geometría Keyline (Línea Clave)*. Obtenido de <http://www.permaculturaibera.org/wp-content/uploads/2018/09/Entendiendo-la-Aplicacio%CC%81n-de-la-Geometri%CC%81a-Keyline-SPANISH.pdf>

Presidencia de la Republica. (7 de mayo de 2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. Obtenido de <https://lopezobrador.org.mx/wp->

content/uploads/2019/05/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2019-2024.pdf

RAE. (7 de junio de 2019). *Real Academia Española*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/?id=Y2AFX5s>

Rojas, L. (2001). La labranza mínima como práctica de producción sostenible en granos básicos. . *Agronomía mesoamericana*, 209-212.

Rojas, L., Mora, A., & Rodriguez, H. (2002). Efecto de la labranza mínima y la convencional en arroz (*Oriza sativa* L.) en la región Huetar Norte de Costa Rica . *Agronomía Mesoamericana*, 111-116.

Sadeghian, S., Rivera, J., & Gómez, M. E. (2000). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. *conferencia electrónica de la FAO: agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*.

SAGARPA. (2012). *Programa sectorial de desarrollo agropecuario y pesquero*. Obtenido de Programa sectorial de desarrollo agropecuario y pesquero: <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Doctorado%20UJED/Seminario%20I/Citados/SAGARPA%20prog%20Sectorial.pdf>

SAGARPA. (2012b). *El suelo y la producción agropecuaria*. . Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/DesarrolloRural/Documents/El%20suelo%20y%20la%20produccion%20agropecuaria.pdf>

Sancho, F., & Villatoro, M. (2005). Efecto de la posición en la pendiente sobre la productividad de tres secuencias de suelos en ambientes ústicos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 159-174.

Sostenible, M. d. (2016). *Política para la gestión sostenible del suelo*. Bogotá Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Soto, C. (2003). La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola. *Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM*, 173-195.

Stuart, B. (2002). *Yeomans keyline design for sustainable soil, water agroecosystem an biodiversity Conservation: a personal Social Ecology Analysis University of Western Sydney, Richmond, NSW*. . Obtenido de http://www.academia.edu/26823321/Yeomans_Keyline_design_for_sustainable_soil_water_agroecosystem_and_biodiversity_conservation_a_personal_social_ecology_analysis-